



不同干预时机冷水浸泡和全身冷冻疗法对运动表现影响的综述

李男,檀志宗

摘要:近年来,冷水浸泡(CWI)和全身冷冻疗法(WBC)在运动领域的应用越来越多。它们被认为起到促进运动能力恢复、减少运动损伤发生、抑制运动中核心温度过快增加等作用。然而,这2种方式对运动能力的影响尚存争议。根据冷冻疗法的干预时机可以分为:运动前(预冷)、运动中或间歇、运动后。查阅近年来关于CWI和WBC对运动能力影响的相关研究,通过文献综述总结了在不同时机下2种身体冷却方法对运动能力的影响。

关键词:冷水浸泡;全身冷冻疗法;运动表现;干预时机

中图分类号:G804 文献标志码:A 文章编号:1006-1207(2021)04-0034-08

DOI:10.12064/ssr.20210406

Review on Effects of Cold Water Immersion and Whole Body Cryotherapy at Different Intervention Timings on Athletic Ability

LI Nan, TAN Zhizong

(Shanghai Research Institute of Sport Science & Shanghai Anti-Doping Agency, Shanghai 200030, China)

Abstract: Recently, cold water immersion (CWI) and whole body cryotherapy (WBC) are more used in sports field. It is believed that they can promote recovery of athletic ability, decrease sports injury rate, inhibit rapid increase of core temperature during sports. However, there's still debate about their effects on athletic ability. According to intervention timing of cryotherapy, it could be divided into three conditions: before exercise (pre-cooling), during exercise or interval of exercise and after exercise. By searching recent researches on effects of CWI and WBC on athletic ability, it summarized the effects of two body cryotherapy on athletic ability at different timings.

Key Words: cold water immersion(CWI); whole body cryotherapy(WBC); sport performance; intervention timing

在运动的不同时机使用冷水浸泡(Cold Water Immersion, CWI)和全身冷冻疗法(Whole Body Cryotherapy, WBC)作为预防运动能力衰减、减缓疲劳和加速恢复手段的应用越来越多。CWI通常是指在低于体温的水中进行局部或全身浸泡,使用温度依据使用目的而有所不同,如预冷常用23~24℃,而作为恢复手段采用10~15℃。WBC通常是短时间暴露在低于-110℃的环境,对全身进行冷刺激。WBC最早应用于临床上类风湿等相关疾病的治疗,起到减少疼痛、肿胀和炎症以及放松肌肉、增加活动范围的作用^[1]。近年来,CWI和WBC开始应用到体育领

域,用来避免损伤、改善运动能力及促进运动能力恢复。CWI和WBC被认为是通过降低组织温度减缓核心温度升高,进一步改善中枢神经系统功能、减少心血管应激、清除聚集的代谢产物、改善自主神经系统功能、促进运动能力的恢复、减少运动引起的肌肉损伤的手段^[2]。另外,不同干预时间对机体的作用机制不同,对运动表现的影响各异。

本文将阐述不同环境下,在运动前、运动中以及运动间歇、运动后使用CWI和WBC对运动能力的影响,以期为该技术在运动领域的应用提供理论依据。

收稿日期:2020-07-13

基金项目:上海市科学技术委员会科研计划项目(19dz1200700)。

第一作者简介:李男,女,硕士,助理研究员。主要研究方向:运动人体科学。E-mail:linan1118316@163.com。

作者单位:上海体育科学研究所(上海市反兴奋剂中心),上海200030。



1 运动前 CWI 和 WBC 对运动能力的影响

1.1 运动前 CWI 对运动能力的影响

在不可代偿的热应激下(产热速度大于散热速度),过度的热量聚集会影响运动能力和运动表现,情况严重时甚至会损害运动员的健康。一些内部和外部的因素可以用来作为预冷的手段,通过降低机体核心温度缓解心血管压力,并保持内环境稳态,可以有效、合理提高运动员在高温环境中表现^[3]。CWI 是其中比较常用的预冷方法。CWI 有多种方案,但作为预冷选择在 22~30 ℃(常用 23~24 ℃)水温中全身浸泡 30 min,或肢体节段(如腿部)在更低的水温(10~18 ℃)中浸泡。较低体温可能有益于热环境中的持久运动(例如长距离自行车、网球和团队项目),这些项目的热应激水平更高。Stevens 等^[4]比较了 CWI(23~24 ℃, 30 min)作为预冷手段对于高温环境(33 ℃)中 5 km 跑的影响,结果发现 CWI 作为预冷手段,可以提高跑步运动表现。Maia-Lima 等^[5]比较了高温(35 ℃)和常温(24 ℃)环境下,预冷 CWI(24 ℃,至核心温度下降)和未预冷对 30 km 自行车运动表现的影响,发现预冷可以减少高温环境下运动表现的下降,但是不能完全逆转温度过高对运动能力的影响。Choo 等^[6]利用 Meta 分析,发现 CWI 可改善运动表现的热敏感性,但是没有改变运动结束时的核心温度和皮肤温度。基于机能增进和体温调节的观点,研究者认为 CWI 可能作为预冷的手段更有效,其可以通过降低机体温度来提升运动能力。

对于常温环境中进行爆发力项目(例如冲刺、跳跃、投掷)来说,CWI 等降温策略可能无法提高运动表现,甚至有可能影响运动能力。这可能是由于末梢血管收缩,肌肉温度下降,神经传导速度减弱,最大自主等长肌力以及本体感觉下降,动态控制能力下降等因素造成^[7-9]。Deshmukh 等^[10]证实 CWI(15 ℃, 20 min)可能引起静态控制能力下降以及踝关节跖屈背屈、内外翻肌力下降。Howard 等^[11]比较了不同温度(12 ℃、22~23 ℃、35.5 ℃)浸泡对于等速和等长力量的影响,发现 CWI 使得肌肉峰力矩、平均功率和总功率下降。Macedo 等^[12]发现 CWI(4 ℃, 20 min)后在踝关节内翻任务中,下肢肌肉肌电活动下降,这种影响持续到浸泡后 30 min。Fullman 等^[13]也证实 CWI(冰水, 15 min)对于动态稳定任务有副作用。Schniepp 等^[14]研究了 CWI(12 ℃, 15 min)对自行车冲刺能力(30 s)的影响,发现 CWI 后最大和平均功率分别下降了 13.7%和 9.5%。这种对神经肌肉功能

的不利影响可能无法通过冷习服恢复。Jones 等^[15]进行 7 d 冷习服训练(10 ℃, 90 min)在第 1 天、第 4 天、第 7 天进行自行车测试,结果 CWI 后运动能力下降,而且 7 d 后并没有恢复。

然而并不是所有的研究都支持 CWI 会对神经肌肉功能产生不利影响。Miniello 等^[16]的研究认为 CWI(12.8~15.6 ℃, 20 min)不影响在起跳落地任务中的动态控制能力。Costello 等^[17]通过三维动作分析来评价 CWI(14 ℃, 30 min)对关节位置觉的影响,发现 CWI 没有显著影响关节位置觉。Khanmohammadi 等^[18]也证实 CWI(6 ℃, 15 min)对于踝关节跖屈和背屈的关节位置觉没有受到影响。由于温度对肌纤维募集的影响,可能造成肌力的下降,而对本体感觉的影响造成的差异,可能和浸泡温度以及持续时间有关。虽然尚不能证实运动前进行 CWI 会增加损伤的风险,但是考虑到冷刺激对神经肌肉活动的影响,如肌纤维募集能力下降,建议专业运动员在进行 CWI 后重新热身后再进行活动^[19]。

1.2 运动前使用 WBC 对运动能力的影响

WBC 通常采用的温度为 -140 ℃到 -110 ℃,时间为 30 s~3 min 不等。有观点认为,在运动之前 WBC 可能通过减少疼痛和疲劳等因素来提高运动表现,但同样有观点认为,运动前使用 WBC 可能由于温度降低导致对神经肌肉系统造成不利的影响。Westerlund 等^[20]发现单次 WBC(-110 ℃, 3 min)减少跳深的腾空时间。徐萌等^[21]发现 WBC(-120 ℃, 3 min)后即刻、10 min、20 min 和 30 min 后的纵跳能力降低。但也有研究认为 WBC 不影响运动表现。Ferreira-Junior 等^[22]比较了 WBC(-110 ℃, 3 min)对神经肌肉系统的影响,发现 WBC 之前 30 min 和之后 10 min 肘关节等速肌力活动没有变化,认为运动之前 WBC 不会影响肘关节的神经肌肉表现。Klimek 等^[23]观察了单次 WBC(-130 ℃, 3 min)对于下肢最大无氧功的影响,受试者在接受 WBC 之后 15 min、30 min、45 min、60 min、75 min、90 min 后进行 Wingate 测试,在任何时间都没有发现功率的差异,并发现了男子运动员 45 min 后和女子运动 90 min 后达到无氧时间较短,作者认为 WBC 可能对于超大强度的训练短期效果不明显,但是对于改善起始阶段的速度有效。Costello 等^[24]发现 WBC(-110 ℃, 3 min)并没有影响关节位置觉、最大等长收缩、力量觉。Partidge 等^[25]认为多次的 WBC 在比赛前可作为预冷的手段来提高运动表现。运动前使用 WBC 是否影响运动能力仍存争议,另外,WBC 使用的温度



较低,而持续时间相对较短,是否能够使肌肉温度降低需要进一步研究。

在运动前,CWI作为预冷的手段对于热应激比较大的项目具有减缓运动能力下降的作用,而其对于神经肌肉功能存在争议,如,肌肉力量下降,本体感觉和肌肉控制结果不一致。WBC可能由于使用时间较短,因此对神经-肌肉不利作用并不确定。

2 运动间歇 CWI 和 WBC 对运动能力的影响

间歇性的团队运动进行长时间、低强度、耐力性运动或高强度、短时间运动时,运动能力在下半场或后程显著下降。此外,部分项目可能会出现一天多赛的情况。如何减缓运动能力的下降成为关注的重点。近年来,一些研究探讨了在2场比赛之间或训练组间应用CWI、WBC作为恢复手段减缓运动表现的下降。

2.1 运动间歇 CWI 对运动能力的影响

随着运动进行,体温会随之上升,热应激压力增大,特别是在高温环境下。在运动间歇进行CWI,可能起到加快恢复,减缓运动能力下降的作用。Piffer等^[26]比较了高温环境(35℃)下,2组自行车训练的15 min间隙内进行CWI(14℃,5 min)和不进行CWI的2种方式对随后运动能力的影响,发现CWI加强了随后的4 km自行车测试中的功率,但是动作的经济性和最大摄氧量没有改变。研究者认为高热环境中,高强度耐力表现在5 min干预后加强。Yearing等^[27]比较了高温环境(27℃)下,2组运动中分别采用CWI(13.98℃,12 min)、CWI(5.23℃,12 min)加治疗进行干预后的表现,结果发现CWI加强第二次运动时的表现。Vaile等^[28]比较了高温环境下(32.8℃)在2组30 min自行车运动间歇(1 h)应用不同温度CWI(10℃、15℃、20℃,15 min),对随后30 min自行车表现的影响,发现不同温度的CWI均可减缓随后运动能力的下降。

另外,CWI被证实也可以减缓常温中运动能力的下降。Ergña等^[29]发现常温环境[(20±1)℃]自行车运动间歇使用CWI(8℃,2.5 min)减缓了团队项目长时间冲刺表现下降的趋势,原因可能是核心温度的下降和相关热储备能力的提高。MaCarthy等^[30]的研究中,2组常温环境(19℃)力竭自行车测试间歇使用CWI(8℃,5 min和10 min)对随后运动能力的影响,发现CWI增加了运动到力竭的时间。在2组高强度训练间歇15 min内,分别进行静坐、CWI

(8℃)、CWI(15℃),第2次运动时,安静对照组运动到力竭时间显著下降,而2个CWI组则没有,且CWI直肠温度降低^[31]。

然而,在短时间、爆发力项目组间或中场进行CWI可能会有不利的影响。Parouty等^[32]在2组100 m游泳冲刺模拟比赛间歇30 min内采用CWI(14℃,5 min),虽然疲劳的感觉得到改善,但是游泳的速度减慢。Didehdar等^[33]的研究中,运动员在冲刺跑和纵跳后即刻进行CWI(5℃,15 min),在CWI后2 min、5 min、15 min、20 min、25 min、30 min后进行测试,发现CWI对于冲刺能力的不利影响持续到20 min,而纵跳影响持续到10 min。

通过以上研究发现运动中或运动间歇进行CWI对不同运动类型的运动能力效果不一。运动中或运动间歇进行CWI可提高长时间、耐力性运动或长时间、高强度、间歇性运动的能力,其可能机制为减轻运动热应激压力、增加热储备能力、促进静脉回流、激活副交感系统,甚至产生心理效应(安慰剂)^[34]。但由于CWI会降低肌肉温度、抑制神经肌肉活动、使肌纤维募集能力下降,因此对短时间爆发力项目组间或中场进行CWI可能对此类型的运动能力的提升无效或降低运动能力。

2.2 运动间歇 WBC 对运动能力的影响

WBC由于使用条件的限制,在运动中或运动间歇的应用研究较少。Krüger等^[35]通过随机实验,对11名耐力运动员随机测试2次5×5 min高强度跑,相隔60 min,休息期分别进行WBC(-110℃,3 min)或安静休息,发现WBC可促进常温环境下(21℃)高强度间歇跑能力的恢复。部分身体冷冻疗法(Partial-Body Cryotherapy,PBC)作用机理与WBC相同。Ferreira-Junior等^[36]研究中,PBC减少了2组高强度训练(40 min间歇)离心峰力矩和总功率的下降。关于运动间歇应用WBC对于运动能力的影响尚需要更多的研究证实。

高温或常温环境下,运动间歇使用CWI和WBC对于热应激较高的项目具有促进运动能力恢复的效果,但对于爆发性项目可能有不利的影响。在运动间歇使用CWI和WBC需要权衡利弊。

3 运动后 CWI 和 WBC 对运动能力的影响

3.1 单次CWI 和 WBC 对运动能力的影响

近年来,CWI和WBC冷冻疗法作为恢复手段使用越来越多,单次使用2种手段对于是否促进运动能力的恢复受到很多学者的关注。



3.1.1 运动后单次 CWI 对运动能力恢复的影响

CWI 在运动后作为恢复手段应用越来越多,被认为可以通过改善中枢神经系统疲劳、减少心血管应激、加强肌肉代谢、减少体温调节的需求来保持力的产生,促进运动能力恢复^[2,37]。目前,比较推荐使用温度为 10~15 °C,浸泡时间为 5~15 min。大部分研究证实,运动后 CWI 可以促进运动能力的恢复。Leeder 等^[38]在多次冲刺任务后进行 CWI(14 °C, 14 min)干预后 24 h 再次进行测试,结果显示 CWI 组冲刺能力高于对照组。Ingram 等^[39]比较了球类项目运动员在模拟专项训练后分别进行 CWI(10 °C, 15 min)、冷热交替(10 °C, 40 °C)以及安静对照,发现 CWI 干预减少 24 h 后等长力量的衰减,且冲刺能力恢复较快。因此,研究者认为 CWI 对于团队项目训练后恢复效果比冷热交替和安静对照好。Ascensão 等^[40]的研究在运动员足球比赛后将其随机分组 2 组,分别进行 CWI(10 °C, 10 min)和温水浸泡(35 °C, 10 min),干预后 30 min、24 h、48 h 进行神经-肌肉功能测试,结果显示 CWI 组股四头肌的力量恢复更快。Caicia 等^[41]比较了在专项训练后进行 CWI[(8.9±0.6) °C, 18 min]干预,结果显示 CWI 组在 12 h 后运动 30 s 连续纵跳表现优于对照组。Robert^[42]发现 CWI(10 °C, 10 min)可以改善高强度训练 6 h 后次最大强度的肌肉功能。Afsharnejad 等^[43]将 15 名空手道运动员在模拟比赛后进行 CWI[(12±1) °C, 20 min]干预,指出 CWI 可以改善 24 h 后动态平衡和无氧表现。Tabben 等^[44]发现综合格斗模拟比赛后 24 h 应用 CWI 可以改善冲刺能力和自我感觉。同样,有研究表明 CWI[(6.0±0.5) °C, 19 min) 干预改善了巴西柔术运动员 24 h 后的爆发力^[45]。Brophy-Williams 等^[46]比较了运动后即刻和 3 h 后 CWI(15 °C, 15 min)对运动能力的影响,发现即刻 CWI 组 24 h 后 Yo-Yo 测试表现更好,但是 3 h 后浸泡仍有治疗效果。Roswell^[47]证实,间歇跑后进行 CWI(10 °C, 60 s, 5 组)可以改善 9 h 后自行车运动能力。

然而,也有研究发现 CWI 没有促进运动能力的恢复。Peiffer 等^[48]比较了力竭运动后 25 min,进行 5 min、10 min、20 min 的 CWI(14 °C),结果发现 3 种干预后等长力矩都下降,可能和浸泡时间较晚有关。Nunes 等^[49]在橄榄球比赛后进行 CWI(10 °C, 10 min),发现 CWI 改善了 72 h 后炎症和疲劳情况,但是没有改善 72 h 后与速度相关的指标。Moreira 等^[50]发现室内足球运动后 CWI[(15±1) °C, 12 min]没有改善治疗后 24 h 反向跳和反复跳跃的能力。Rupp 等^[51]比较了 CWI(12 °C, 15 min)对足球运动员 Yo-Yo 测试和

纵跳的影响,发现 CWI 48 h 后对运动表现没有影响。

将目前的研究总结,发现运动后 CWI 的效果存在一定的差异,可能和不同的训练模型(损伤模型、疲劳模型等)以及再次测试运动能力的时间有关,如果测试时间较短,则冷刺激对神经肌肉的不利影响还没有完全恢复^[48],测试时间较长^[49-51],则可能训练引起的运动能力已经完全恢复。

3.1.2 运动后单次 WBC 对运动能力恢复的影响

近年来,WBC 作为训练后的恢复手段使用越来越多,WBC 被认为可能对运动性肌肉微损伤产生积极影响。部分研究采用了较易产生肌肉损伤的模型。Ferreira-Juniro 等^[52]的研究中,2 组健康男性在多组跳深训练后,分别进行 PBC 和安静休息,结果发现,PBC 组峰力矩在 96 h 恢复到基础水平,而且在 72 h 和 96 h 高于对照组。Hausswirth 等^[53]的研究中,9 名跑步者在连续 3 周进行疲劳性跑台跑后,分别进行 WBC(-110 °C, 3 min)、远红外线疗法、被动休息 3 种干预手段后 24 h、48 h 疲劳相关指标的监控,WBC 组最大等长力量在 24 h 后恢复,远红外线组在 48 h 后恢复,而被动休息组在 48 h 后没有完全恢复。Rose 等^[54]通过对文献进行总结发现,WBC 可以促进肌肉力量的恢复。尽管有研究证实 WBC 干预后没有改变最大自主收缩的恢复情况,这与受试者采用不同的运动模型以及受试者没有经过专业训练^[24],干预后 30 min 就进行测试,肌肉温度较低,能力没有完全恢复,或运动模型的差异有关^[55]。

3.1.3 单次 CWI 和 WBC 对运动后恢复的比较

CWI 和 WBC 均被认为具有促进运动能力恢复的作用,但是 2 种方法使用效果是否存在差别有待阐明。Abaidia 等^[56]证实 CWI(10 °C, 10 min)组在离心损伤后 72 h 反向跳的表现相较于 WBC(-110 °C, 3 min)组更好。Hohenauer 等^[57]比较了在肌肉损伤之后,CWI(10 °C, 10 min)和 PBC(-60 °C, 30 s, -110 °C, 3 min)后 24 h、48 h、72 h 的纵跳能力和最大自主等长收缩,发现 2 组在 24 h 后都恢复到基础水平。2 种方法对恢复能力效果的研究目前尚不充分,需要进一步证实。

3.2 多次 CWI 和 WBC 对运动能力的影响

连续多次应用 CWI 和 WBC 在训练中具有同样的意义。长期的疲劳如果得不到恢复,可能会出现过度训练的情况,导致运动能力下降,伤病风险增加。

3.2.1 多次 CWI 对运动能力的影响

有研究证实运动后多次 CWI 可以促进运动能



力的恢复。Roswell 等^[58-59]在 4 d 联赛期间,比较了分别使用 CWI(10 °C, 5 min)、温水浸泡(34 °C, 5 min)对于改善疲劳的效果,该研究发现 CWI 可以改善疲劳,促进比赛相关表现(总跑动距离、中等心率范围跑动时间)的恢复。然而,该方法却没有改善反复冲刺和反向纵跳的表现。Burke 等^[60]比较了 CWI[(8±1) °C, 10 min],热水浸泡[(43±1) °C, 10 min]对力量训练的影响,结果显示经过 5 d 的训练,各组力量都有所增加,但 CWI 组高于热水浸泡组和安静对照组。Tavares 等^[61]报道,对橄榄球运动员进行 3 周 CWI(10 °C, 10 min)可降低疲劳程度,对肌肉疲劳有中等影响,对反向纵跳有非常小的影响。在篮球赛季中,每场比赛后均使用 CWI(10.5 °C, 2 min, 2 组),CWI 组等速肌力高于对照组,自我疲劳感觉较低^[62]。然而,也有研究认为运动后多次 CWI 没有促进运动能力的恢复。Goodall 等^[63]观察了运动员在 100 次跳深之后即刻、72 h 内每 24 h 进行 CWI[(15±1) °C, 12 min],同安静对照组进行比较,发现与损伤相关指标组间并没有差异,研究者认为 CWI 并没有改善损伤性离心负荷的恢复。多次 CWI 似乎对长时间的全身耐力或间歇运动能力恢复更有效,对于改善肌肉损伤的作用还需要进一步证实。

3.2.2 多次 WBC 对运动能力的影响

越来越多的研究支持运动后多次 WBC 对运动能力有促进作用。Fonda 等^[64]在随机测试交叉对照实验中,通过离心负荷之后进行 5 d WBC(-180~-140 °C, 3 min),实验结果显示 WBC 组膝关节力矩发展比率优于对照组。Schaal 等^[65]在 14 d 的高强度训练中,对每天使用 WBC(-110 °C, 3 min)和不使用 WBC 进行比较,发现 WBC 组 400 m 冲刺表现下降较少,认为 WBC 可避免过度训练。Ziemann 等^[66]对网球运动员在 5 d 训练中,每天进行 2 次 WBC(-120 °C, 3 min)干预,结果显示 WBC 后运动员达到疲劳的时间明显延长,且每拍有效性增加。张娜等^[67]对男子公路自行车运动员进行 2 周的 WBC,分别在每周三和每周六训练后 30 min 进行 WBC(-120~-110 °C, 2 min)。实验第一周测试赛对照组和实验组 5 km 计时成绩虽然均有所提高,但是差异不显著,然而实验组成绩显著优于对照组;实验第二周,对照组测试成绩较实验前有所下降,但差异不显著,而实验组成绩显著优于对照组。该研究结果表明 WBC 对运动员专项成绩的提高有积极影响。Klimek 等^[68]比较了 10 周 WBC(-130 °C)对有氧能力和无氧能力的影响,发现 10 周 WBC 提高了男子运动员的无氧能力。Westerlund 等^[69]分别在第一次 WBC(-110 °C, 3 min)和 3 个月冷疗

后进行跳深测试,发现单一的 WBC 降低了腾空时间,而这种影响在 3 个月已经消失,反映了神经肌肉的适应。

总结以上研究,发现运动后多次 CWI 和 WBC 缓解较高的核心温度引起中枢神经系统的抑制、降低心血管应激、促进交感和副交感神经平衡、加快自主力量的恢复、减少肌肉的酸痛程度,以确保运动表现^[70-71]。

4 小结

4.1 CWI 和 WBC 作为预冷手段,在高温或常温环境下,对于热应激较大的项目可以减缓运动表现的下降。冷刺激对神经肌肉功能有不利的影响,可能会影响短时间、爆发性项目的运动表现。

4.2 运动间歇 CWI 可能在高温环境下或热应激压力较大的情况下起作用,可以抑制高体温引起运动能力降低,但运动间歇 WBC 对后续运动能力的影响有待研究。

4.3 在运动后,单次或多次 CWI 和 WBC 有促进运动能力恢复的趋势,但是不同的运动模式、干预方案以及再次测试运动能力的时间可能会造成影响的差异,需要对其机理进行深入的探讨。

5 建议

5.1 热应激较大的项目可以在运动前、运动间歇进行 CWI,特别是高温环境下,有利于减缓运动表现的下降。

5.2 尽管目前研究没有证实,CWI 和 WBC 会导致损伤风险增加,但是运动员在运动前使用较短时间的 CWI 或 WBC 后需要进行再次热身。

5.3 在运动后使用 CWI 和 WBC 作为恢复手段,要根据运动特点,选择适当的干预时机、干预方案。

5.4 CWI 和 WBC 对运动能力的影响尚存争议,2 种方式对运动能力影响效果差异也需进一步深入研究。

参考文献:

- [1] Lombardi G, Ziemann E, Banfi G. Whole-body cryotherapy in athletes: From therapy to stimulation. an updated review of the literature[J]. *Frontiers in Physiology*, 2017, 8:258.
- [2] Ihsan M, Watson G, Abbiss C R. What are the physiological mechanisms for post-exercise cold water immersion in the recovery from prolonged endurance and inter-



- mittent exercise?[J]. *Sports Medicine*, 2016, 46(8): 1095-1109.
- [3] 徐金成,高璨.高温环境中训练和比赛的共识性建议[J].*中国运动医学杂志*,2016,35(2):192-203.
- [4] Stevens C J, Kittel A, Sculley D V, et al. Running performance in the heat is improved by similar magnitude with pre-exercise cold-water immersion and mid-exercise facial water spray[J]. *Journal of Sports Sciences*, 2017, 35(8):798-805.
- [5] Maia-Lima A, Ramos G P, Moraes M M, et al. Effects of precooling on 30-km cycling performance and pacing in hot and temperate environments[J]. *International Journal of Sports Medicine*, 2017, 38(1):48-54.
- [6] Choo H C, Nosaka K, Peiffer J J, et al. Ergogenic effects of precooling with cold water immersion and ice ingestion: A meta-analysis[J]. *European Journal of Sport Science*, 2018, 18(2):170-181.
- [7] Wakabayashi H, Wijayanto T, Tochiara Y. Neuromuscular function during knee extension exercise after cold water immersion[J]. *Journal of Physiological Anthropology*, 2017, 36(1):1-8.
- [8] Périard J D, Racinais S, Timpka T, et al. Strategies and factors associated with preparing for competing in the heat: A cohort study at the 2015 IAAF World Athletics Championships[J]. *British Journal of Sports Medicine*, 2017, 51(4):264-270.
- [9] Douglas M, Bivens S, Pesterfield J, et al. Immediate effects of cryotherapy on static and dynamic balance[J]. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 2013, 8(1): 9-14.
- [10] Deshmukh A A, Lilariya D. Immediate effect of cold water immersion on foot and ankle muscle strength and standing balance in young health individuals: A clinical trail[J]. *International of Journal of Science and Healthcare Research*, 2019, 4(3):179-184.
- [11] Howard R L, Kraemer W J, Stanley D C, et al. The effects of cold immersion on muscle strength[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 1994, 8(3):129-133.
- [12] Macedo C S, Alonso C S, Liporaci R F, et al. Cold water immersion of the ankle decreases neuromuscular response of lower limb after inversion movement[J]. *Braz J Phys Ther*, 2014, 18(1):93-97.
- [13] Fullam K, Caulfield B, Coughlan G F, et al. Dynamic postural-stability deficits after cryotherapy to the ankle joint[J]. *Journal of Athletic Training*, 2015, 50(9):893-904.
- [14] Schniepp J, Campbell T S, Powell K L, et al. The effects of cold-water immersion on power output and heart rate in elite cyclists[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2002, 16(4):561-566.
- [15] Jones D M, Roelands B, Bailey S P, et al. Impairment of exercise performance following cold water immersion is not attenuated after 7 days of cold acclimation[J]. *European Journal of Applied Physiology*, 2018, 118(6): 1189-1197.
- [16] Miniello S, Dover G, Powers M, et al. Lower leg cold immersion does not impair dynamic stability in healthy women[J]. *Journal of Sport Rehabilitation*, 2005, 14: 234-247.
- [17] Costello J T, Donnelly A E. Effects of cold water immersion on knee joint position sense in healthy volunteers[J]. *Journal of Sports Sciences*, 2011, 29(5):449-456.
- [18] Khanmohammadi R, Someh M, Ghafarinejad F. The effect of cryotherapy on the normal ankle joint position sense [J]. *Asian Journal of Sports Medicine*, 2011, 2(2):91-98.
- [19] Costello J, Donnelley A E. Cryotherapy and joint position sense in healthy participants: A systematic review[J]. *Journal of Athletic Training*, 2010, 45(3):306-316.
- [20] Westerlund T, Oksa J, Smolander J, et al. Neuromuscular adaption after repeated exposure to whole-body cryotherapy (-110 °C)[J]. *Journal of Thermal Biology*, 2009, 34(5): 226-231.
- [21] 徐萌,郎健,王长权,等.超低温全身冷冻预冷却对女子橄榄球运动员下肢爆发力影响的实证研究[J].首都体育学院学报, 2016, 28(4): 370-375.
- [22] Ferreira-Junior J B, Vieira C A, Soares S R, et al. Effects of a single whole body cryotherapy (-110 °C) bout on neuromuscular performance of the elbow flexors during isokinetic exercise[J]. *International Journal of Sports Medicine*, 2014, 35(14):1179-1183.
- [23] Klimek A T, Lubkowska A, Szygła Z, et al. The influence of single whole body cryostimulation treatment on the dynamics and the level of maximal anaerobic power[J]. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 2011, 24(2):184-191.
- [24] Costello J T, Algar L A, Donnelly A E. Effects of whole-body cryotherapy (-110 °C) on proprioception and indices of muscle damage[J]. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 2012, 22(2):190-198.
- [25] Partridge E M, Cooke J, McKune A, et al. Whole-body cryotherapy: Potential to enhance athlete preparation for competition?[J]. *Frontiers in Physiology*, 2019, 10:1007.
- [26] Peiffer J J, Abbiss C R, Watson G, et al. Effect of a 5-Min cold-water immersion recovery on exercise performance in the heat[J]. *British Journal of Sports Medicine*, 2010, 44(6):461-465.
- [27] Yeargin S W, Casa D J, McClung J M, et al. Body cooling



- between two bouts of exercise in the heat enhances subsequent performance[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2006, 20(2):383-389.
- [28] Vaile J, O'Hagan C, Stefanovic B, et al. Effect of cold water immersion on repeated cycling performance and limb blood flow[J]. *British Journal of Sports Medicine*, 2011, 45(10):825-829.
- [29] Egaña M, Jordan L, Moriarty T. A 2.5 min cold water immersion improves prolonged intermittent sprint performance[J]. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2019, 22(12):1349-1354.
- [30] McCarthy A, Mulligan J, Egaña M. Postexercise cold-water immersion improves intermittent high-intensity exercise performance in normothermia[J]. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 2016, 41(11):1163-1170.
- [31] Dunne A, Crampton D, Egaña M. Effect of post-exercise hydrotherapy water temperature on subsequent exhaustive running performance in normothermic conditions[J]. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2013, 16(5):466-471.
- [32] Parouty J, Al Haddad H, Quod M, et al. Effect of cold water immersion on 100-m sprint performance in well-trained swimmers[J]. *European Journal of Applied Physiology*, 2010, 109(3):483-490.
- [33] Didehdar D, Sobhani S. The effect of cold-water immersion on physico performance[J]. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 2019, 23(2):258-261.
- [34] Stanley J, Buchheit M, Peake J M. The effect of post-exercise hydrotherapy on subsequent exercise performance and heart rate variability[J]. *European Journal of Applied Physiology*, 2012, 112(3):951-961.
- [35] Krüger M, de Mareés M, Dittmar K H, et al. Whole-body cryotherapy's enhancement of acute recovery of running performance in well-trained athletes[J]. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2015, 10(5):605-612.
- [36] Ferreira-Junior J B, Bottaro M, Vieira C A, et al. Effects of partial-body cryotherapy (-110 °C) on muscle recovery between high-intensity exercise bouts[J]. *International journal of sports medicine*, 2014, 35(14):1155-1160.
- [37] Stephens J M, Halson S, Miller J, et al. Cold-water immersion for athletic recovery: One size does not fit all[J]. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2017, 12(1):2-9.
- [38] Leeder J D C, Godfrey M, Gibbon D, et al. Cold water immersion improves recovery of sprint speed following a simulated tournament[J]. *European Journal of Sport Science*, 2019, 19(9):1166-1174.
- [39] Ingram J, Dawson B, Goodman C, et al. Effect of water immersion methods on post-exercise recovery from simulated team sport exercise[J]. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2009, 12(3):417-421.
- [40] Ascensão A, Leite M, Rebelo A N, et al. Effects of cold water immersion on the recovery of physical performance and muscle damage following a one-off soccer match [J]. *Journal of Sports Sciences*, 2011, 29(3):217-225.
- [41] Garcia C A, da Mota G R, Marocolo M. Cold water immersion is acutely detrimental but increases performance post-12 h in rugby players[J]. *International Journal of Sports Medicine*, 2016, 37(8):619-624.
- [42] Roberts L A, Nosaka K, Coombes J S, et al. Cold water immersion enhances recovery of submaximal muscle function after resistance exercise[J]. *American Journal of Physiology Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 2014, 307(8):R998-R1008.
- [43] Afsharnejad T, Faghihi S, Hazrati A, et al. The effects of cold water immersion on anaerobic power, dynamic balance and muscle activation after a karate kumite fighting in female karateka[J]. *International journal of applied exercise physiology*, 2017, 6(3):72-79.
- [44] Tabben M, Ihsan M, Ghouli N, et al. Cold water immersion enhanced athletes' wellness and 10-m short sprint performance 24-h after a simulated mixed martial arts combat[J]. *Frontiers in Physiology*, 2018, 9:1542.
- [45] Fonseca L B, Brito C J, Silva R J S, et al. Use of cold-water immersion to reduce muscle damage and delayed-onset muscle soreness and preserve muscle power in Jiu-jitsu athletes[J]. *Journal of Athletic Training*, 2016, 51(7):540-549.
- [46] Brophy-Williams N, Landers G, Wallman K. Effect of immediate and delayed cold water immersion after a high intensity exercise session on subsequent Run performance [J]. *Journal of Sports Science & Medicine*, 2011, 10(4):665-670.
- [47] Rowsell G J, Reaburn P, Toone R, et al. Effect of Run training quality in high-performance triathlete[J]. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 2014, 28(6):1664-1672.
- [48] Peiffer J J, Abbiss C R, Watson G, et al. Effect of cold-water immersion duration on body temperature and muscle function[J]. *Journal of Sports Sciences*, 2009, 27(10):987-993.
- [49] Nunes R F H, Duffield R, Nakamura F Y, et al. Recovery following Rugby Union matches: Effects of cold water immersion on markers of fatigue and damage[J]. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 2019, 44(5):546-556.
- [50] Moreira A, Costa E C, Coutt A J, et al. Cold water im-



- mersion did not accelerate recovery after a futsal match[J]. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 2015, 21(1): 40-43.
- [51] Rupp K A, Selkow N M, Parente W R, et al. The effect of cold water immersion on 48-hour performance testing in collegiate soccer players[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2012, 26(8):2043-2050.
- [52] Ferreira-Junior J B, Bottaro M, Vieira A, et al. One session of partial-body cryotherapy (-110? °C) improves muscle damage recovery[J]. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 2015, 25(5):e524-e530.
- [53] Hausswirth C, Louis J, Bieuzen F, et al. Effects of whole-body cryotherapy vs. far-infrared vs. passive modalities on recovery from exercise-induced muscle damage in highly-trained runners[J]. *PLoS One*, 2011, 6(12):e27749.
- [54] Rose C, Edwards K M, Siegler J, et al. Whole-body cryotherapy as a recovery technique after exercise: A review of the literature[J]. *International Journal of Sports Medicine*, 2017, 38(14):1049-1060.
- [55] Vieira A, Bottaro M, Ferreira-Junior J B, et al. Does whole-body cryotherapy improve vertical jump recovery following a high-intensity exercise bout?[J]. *Open Access J Sports Med*, 2015, 6:49-54.
- [56] Abaïdia A E, Lamblin J, Delecroix B, et al. Recovery from exercise-induced muscle damage: Cold-water immersion versus whole-body cryotherapy[J]. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2017, 12(3):402-409.
- [57] Hohenauer E, Costello J T, Stoop R, et al. Cold-water or partial-body cryotherapy? Comparison of physiological responses and recovery following muscle damage[J]. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 2018, 28(3):1252-1262.
- [58] Rowsell G J, Coutts A J, Reaburn P, et al. Effect of post-match cold-water immersion on subsequent match running performance in junior soccer players during tournament play[J]. *Journal of Sports Sciences*, 2011, 29(1):1-6.
- [59] Rowsell G J, Coutts A J, Reaburn P, et al. Effects of cold-water immersion on physical performance between successive matches in high-performance junior male soccer players[J]. *Journal of Sports Sciences*, 2009, 27(6): 565-573.
- [60] Burke D G, MacNeil S A, Holt L E, et al. The effect of hot or cold water immersion on isometric strength training [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2000, 14(1):21-25.
- [61] Tavares F, Beaven M, Teles J, et al. Effects of chronic cold-water immersion in elite rugby players[J]. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2019, 14(2):156-162.
- [62] Seco-Calvo J, Mielgo-Ayuso J, Calvo-Lobo C, et al. Cold water immersion as a strategy for muscle recovery in professional basketball players during the competitive season: A restorspective cohort study[J]. *J Sport Rehabil*, 2020, 29(3):301-309.
- [63] Goodall S, Howatson G. The effects of multiple cold water immersions on indices of muscle damage[J]. *Journal of Sports Science & Medicine*, 2008, 7(2):235-241.
- [64] Fonda B, Sarabon N. Effects of whole-body cryotherapy on recovery after hamstring damaging exercise: A crossover study[J]. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 2013, 23(5):e270-e278.
- [65] Schaal K, LE Meur Y, Louis J, et al. Whole-body cryostimulation limits overreaching in elite synchronized swimmers[J]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2015, 47(7):1416-1425.
- [66] Ziemann E, Olek R A, Kujach S, et al. Five-day whole-body cryostimulation blood inflammatory markers and performance in high ranking professional tennis players [J]. *Journal of Athletic Training*, 2012, 47(6):664-672.
- [67] 张娜,张春航.全身冷冻疗法对男子公路自行车运动员大强度训练后疲劳恢复的研究[J].*辽宁体育科技*, 2018,40(3):51-53+67.
- [68] Klimek A T, Lubkowska A, Szyguła Z, et al. Influence of the ten Sessions of the whole body cryostimulation on aerobic and anaerobic capacity[J]. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 2010, 23(2):181-189.
- [69] Westerlund T, Oksa J, Smolander J, et al. Neuromuscular adaption after repeated exposure to whole-body cryotherapy[J]. *Journal of Thermal Biology*, 2009, 34(5):226-231.
- [70] Minett G M, Duffield R, Billaut F. Cold-water immersion decreases cerebral oxygenation but improves recovery after intermittent-sprint exercise in the heat[J]. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 2014, 24(4):656-666.
- [71] 李钊,李庆,曹春梅.耐力项目运动员运动后冷水浴的作用机制与实践应用[J].*山东体育学院学报*,2017,33(3):74-80.

(责任编辑:刘畅)