



水中跑在康复训练中的应用及研究进展

李 男

摘 要: 水中跑是十分常见的水下训练手段,常见的运动方式有深水跑、浅水跑、水中跑台跑。水中跑同陆上跑相比,具有不同的特征,在康复训练中有重要的作用。通过文献资料法,总结分析国内外关于水中跑的应用和研究进展,为以后的科研和应用提供理论依据。

关键词: 水中跑;深水跑;浅水跑;水中跑台跑

中图分类号: G804.5 文献标志码: A 文章编号: 1006-1207(2017)01-0072-04

Application and Research Progress of Aquatic Running in Rehabilitation Training

LI Nan

(shanghai Research Institute of Sports Science, Shanghai 200030, China)

Abstract: Aquatic running is a common underwater training method, which includes deep water running, shallow water running and aquatic treadmill running. Different from land running, it has its specific characters and plays an important role in rehabilitation training. By the method of literature study, the article summarizes the application and research progress of aquatic running at home and abroad in order to provide theoretical basis for future research and application.

Key Words: aquatic running; deep water running; shallow water running; aquatic treadmill running

下肢或脊柱损伤的患者在完成陆上练习时,由于需要负荷自身的重量,使得训练较难进行,因此,水下训练被引入到康复训练过程中。水中跑是水中训练的主要方式之一。目前常见的形式有深水跑(Deep Water Running, DWR)、浅水跑(Shallow Water Running, SWR)和水中跑台跑(Aquatic Treadmill Running, ATM)。水中跑多应用于心肺系统、运动系统疾病的康复锻炼,可以改善心肺的功能、疼痛程度、力量水平和活动范围,促进疲劳恢复。本文分别关于这3种水中跑的研究以及其应用进行归纳。

1 不同形式水中跑的特点

1.1 浸入水中的生理学改变

浸入水中会引起心脏功能的改变。当身体浸入水中后,由于静水压梯度作用使得血液重新分配,引起中心血量增加而外周血量减少,从而导致每搏输出量和心输出量增加。浸入水中会引起肺功能的改变。当人体浸入剑突水平时,静水压压迫腹部导致膈肌上升,呼吸阻力增加;当深度增加至颈部水平,胸部受到压迫,呼吸阻力进一步增加。浸入水中同样会引起肾功能的改变。浸入水中一段时间会增加尿液的排泄,其可能机制有:(1)抗利尿分泌激素的抑制;(2)内生前列腺素的增加;(3)交感神经兴奋性减少^[1]。此外,浸入水中的温度不同引起机体不同程度的变化。水中的训练环境对训练者提出了新的挑战,合理利用这些特点进行锻炼,可最大程度发挥水下训练的优越性。

1.2 深水跑

深水跑通常在游泳池较深的一端进行,需要借助浮力设备将身体浮于水面之上模拟陆上跑步动作。深水跑作为康复训练手段开展得较早,很多学者对其生理学和生物学特点进行研究。

1.2.1 不同强度状态下的生理特点

深水跑与陆上跑相比,不同强度运动表现存在差异。最大强度运动时,深水跑 VO_{2max} 是陆上跑 VO_{2max} 的73%~92%,深水跑的心率是陆上跑的86%~95%,而两者的自觉用力程度(RPE)相似^[2]。Leonardo总结最大强度深水跑 VO_{2max} 较低的原因可能有:(1)最大强度的深水跑相较于陆上跑无氧代谢供能所占比例更高,这在一定程度上限制了有氧能力表现;(2)研究对象对水中跑的熟悉程度远远低于陆上跑,可能会对表现结果造成影响;(3)腿部肌肉灌注减少,可能影响 VO_{2max} 表现^[3]。

在次最大强度运动时,深水跑摄氧量和心率都低于陆上练习。然而,在给定的次最大强度下,水中运动比陆上运动每搏输出量大^[2]。研究证实,水中运动从次最大强度到最大强度,心输出量没有增加^[4]。Reily指出每搏输出量并未随着强度增加而进一步增大的原因有:(1)安静状态下,外周血量向中心分配,使得运动过程中可向中心转移的血量减少;(2)浸入水中左心室舒张期容量已经接近最大,减少了运动过程中进一步增大的可能性;(3)心脏充盈时间减少^[1]。

收稿日期: 2016-03-15

基金项目: 上海市体育局2015年重点备战项目攻坚保障研究立项课题(J007)。

作者简介: 李男,女,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 200030。



1.2.2 深水跑的生物力学特点

深水跑与陆上跑产生了不同的锻炼效果,研究者从深水跑与陆上跑生物力学机制进行了探讨。Masumoto 通过匹配受试者心率使受试者深水跑和陆上跑产生类似的肌肉活动,结果发现深水跑时腓肠肌肌肉活动远低于陆上跑台跑^[5]。而 Masumoto 通过匹配 RPE,发现深水跑时胫骨前肌和腓绳肌的肌电活动小于相同强度的陆上跑台跑^[6]。Kaneda 等测量了深水跑下肢的肌肉活动与陆上行走和水中行走时的差异,发现深水跑时髌关节屈伸肌肌电活动增加,而比目鱼肌和腓肠肌活动相应减少^[7]。肌肉活动的变化是由于深水跑运动模式的改变。Kilding 等指出,深水跑过程中,髌关节和膝关节同时屈曲或伸展,而陆上跑步过程中,髌关节的活动先于膝关节的活动。此外,由于浮力的作用,深水跑过程中大腿上抬较多,使得髌关节活动范围显著增大^[8]。比目鱼肌和腓肠肌的肌肉活动水平主要受到垂直作用力的影响,但深水跑过程中浮力作用使得双脚不与地面发生接触,导致下肢在垂直方向上受力发生改变。水流阻力使得水平方向作用力也发生改变,从而影响跑步过程中步频和运动单位的募集,产生与陆上跑不同的下肢运动模式,可能对陆上跑技术造成一定的影响^[9]。深水跑的另一个不足是下肢肌肉活动没有离心负荷,建议患者从深水跑逐步过度到陆上训练来适应离心负荷。此外,强调离心活动的抗阻训练也可能缩减由深水跑到陆上跑的适应过程^[10]。

1.3 浅水跑

深水跑与陆上跑在技术上存在一定的差异,而浅水跑更好地模拟陆上跑步动作,参与动员的肌肉及肌肉用力顺序与陆上跑具有较高的相似性,可产生与陆上跑相类似的神经肌肉募集方式,训练效果也更为接近。

张晓晖通过对 18 名大学生运动员分别进行 6 周的浅水跑与陆上跑有氧训练后发现,浅水跑跑组最大心率低于陆上跑组,约为陆上的 84.8%。浅水跑组血乳酸浓度在运动后 4 min、8 min 均低于陆上跑组,但差异无显著性意义 ($P>0.05$);浅水跑和陆上组的最大摄氧量在 6 周训练后分别提高 8.9% 和 9.2% ($P<0.05$),组间差异无显著性意义 ($P>0.05$),表明浅水跑训练可产生与陆上相媲美的心肺反应^[11]。Dowzer 等比较了 15 名女性跑步者分别完成陆上跑台跑、浅水跑和有浮力设备的深水跑时的最大生理反应。浅水跑和深水跑的最大摄氧量分别为陆上跑最大摄氧量的 83.7% 和 75.3%,最大心率分别是跑台跑的 94.1% 和 87.2%。作者提出水疗提供的刺激可作为陆上跑的替代训练,其中浅水跑训练可有效地保持心肺健康^[12]。Barbosa 等研究了身体浸没水中不同深度锻炼所引起的身体反应。结果显示,当水深低于腰部时,流体阻力会大大提高代谢水平,使参与者的摄氧量和心率增加。相反,当水深达到或超过腰部时增加的浮力抵消了流体阻力所引起的运动量的增加,导致摄氧量和心率减少。因此,目前浅水跑水深多选择腰部水平,也反应了浸入不同深度水中对机体的刺激产生不同的影响^[13]。可见,浅水跑训练可以产生与陆上训练相类似的效果,特别是腰部水平的训练。

1.4 水中跑台跑

虽然浅水跑相较于深水跑具有一定优势,但受前向阻力的影响,浅水跑会产生身体姿势的扭转。水中跑台跑前向阻力减少,受试者能够以更加接近正常步态行走或跑步,这对于希望恢复到正常功能步态的患者非常重要。此外,水中跑台能够控制深度和速度,有利于控制练习强度。

Denning 通过总结文献得出结论,水中跑台跑可以引出高于、相似或低于相同陆上练习的 VO_{2max} 和心率^[14]。Schaal 等比较了最大强度下和次最大强度的水中跑台跑和陆上跑台心血管系统反应,结果发现,在最大强度运动时,除心率外,水中跑台和陆上跑台耗氧量、疲劳指数和呼吸换气比率结果相似。因此,作者推断最大强度的训练可作为有效的替代训练。然而次最大强度训练时,水中跑台组 VO_{2max} 小于陆上跑台跑,反应其运动强度对心肺的刺激小于陆上。因此,作者推断次最大强度的训练并不是有效的替代训练^[15]。Paul 等人比较了相同速度下陆上跑台和两个不同高度(腰部水平和大腿水平)的水中跑台跑与步行过程的生理反应。结果发现,水中跑步和步行的摄氧量和心率均高于陆上跑台练习。而在腰部水平,摄氧量和心率水平低于大腿高度练习的结果。完成水中任务时,每步的耗氧量高于陆上步行和跑步,差异具有显著性意义,表明水中跑步相对于陆上练习消耗更大。这归结于水中活动时阻力增加,而随着深度的进一步增加,浮力作用帮助克服阻力,生理消耗反而减少^[16]。Brubaker 等人比较了大学生运动员完成水中跑台和陆上跑台跑心肺反应之间的关系,特别是心率和耗氧量的关系,发现除了休息时和第三个阶段以外的任何阶段,陆上跑和水中跑台间差异没有显著性意义,这些数据证实陆上跑和水中跑可引起相似的反应^[17]。Rutledge 等人研究发现,水中跑台跑在 174~228 m/min 时,可引起同陆上跑台相似的代谢反应,并得出结论水中跑台跑训练可以替代陆上跑,来维持伤病和健康人群的身体状况。此外,研究也证实喷口的水流阻力可以增加代谢消耗^[18]。水中跑台训练可以产生与陆上训练相类似的训练效果。

2 水中跑的应用

2.1 运动系统损伤患者的康复训练

水中跑被应用在运动系统损伤患者的康复过程,可以避免由于训练不足引起的心肺功能下降、肌肉萎缩等情况,从而加速康复进程。根据阿基米德浮力原理,当身体浸入不同高度的水中时,会不同程度减轻关节承受的负荷。此外,静水压可以帮助受伤组织减轻肿胀程度^[19]。Dowzer 等人证实,深水跑相对于陆上跑可以减轻脊柱的负荷,从而减少跑步运动员的下腰痛^[20]。Cuesta-Vargas 等人的研究中,非特异性下腰痛患者分别完成含深水跑和不含深水跑的物理治疗。两组在疼痛、功能、肌肉力量和耐力、腰椎活动等方面均有显著改善,而深水跑组疼痛水平显著改善,但是两组之间差异不具有显著性意义^[21]。下肢损伤的患者也常采用深水跑的训练方式,特别是希望维持心肺功能、技术动作的跑步运动员^[10]。近年来水中跑台跑在伤病患者中应用也越来越多。Denning 等人比较了骨性关节炎患者



在中等强度水中跑台跑与陆上跑台跑的差异,发现水中跑台组训练疼痛程度更小,而消耗水平相当,且水中训练后关节活动度更大^[22]。Roper 等比较了水中和陆上跑台训练对于关节炎患者的急性影响,发现水中跑台训练对于关节速度和关节炎相关的疼痛具有积极的治疗作用^[23]。

2.2 作为心血管疾病的康复手段

当身体没入水中,静水压作用力使血液由外周向中心循环系统转移,导致心脏充盈度增加。心率受水温的影响,在热中性或较低的水温中,心率下降;而在相对较高的水温中,心率通常会上升,导致心输出量在高温中进一步上升。相同的速度下,水中跑台跑耗氧量是陆上跑的3倍,而训练效果在相对较低的速度就可以达到。身体浸入水中会导致静脉回流和前负荷增加,因此水疗是否适合心力衰竭患者还存在一定的争议。判断能否采用水中跑进行锻炼,要根据患者的病情和状态来判断,如对于未经控制或急性的心力衰竭的患者,水疗是绝对禁忌症;对于已经控制的心力衰竭患者则可以根据具体情况适当地开展水疗练习。Tokmakidis 等研究水疗为基础训练以及停训和恢复训练对于低风险冠心病患者的影响,发现包括水中步行的水中练习显著改善了受试者 VO_{2max} 和全身力量。作者认为水中锻炼对于低风险冠心病患者是有益的,会引起身体积极的适应。然而一旦停止锻炼,这些训练效果会丧失,所以需要坚持锻炼^[24]。

2.3 作为替代训练避免运动员过度训练

长期高强度的跑步训练会引起局部关节承受过度负荷,这可能会引起运动员的伤病,而深水跑减轻了关节负荷又模拟了跑步动作,常作为替代训练来保持运动员的有氧能力。Wilber 等人将16名有训练经验的跑步者分配到陆上跑步组和深水跑组,通过其 VO_{2max} 进行配对。训练计划包括:(1)30 min, 90%~100% VO_{2max} ; (2)60 min, 70%~75% VO_{2max} ,每周进行5次替代训练,持续6周。所有测试者保持了他们的 VO_{2max} 水平,且跑步经济学、血乳酸和肾上腺水平组间差异不具有显著性意义。作者认为深水跑作为陆上跑的替代方式可以有效地保持运动员有氧能力^[25]。Bushman 的研究中,4周的深水跑训练保持了有训练基础的跑步运动员运动能力,并认为其可以作为陆上跑的替代训练^[26]。Tartagu 等的研究也证实,采用深水跑完成30%训练量可以保持有训练基础的中距离跑运动员有氧能力和动力学^[27]。目前研究支持采用恰当的技术和强度时,深水跑可维持运动成绩和有氧能力,但是存在深水跑可能会钝化摄氧量和心率反应,对运动成绩的进一步提高产生不利影响的忧虑。在考虑水中跑作为运动员的替代训练时,应充分考虑其所处的阶段、训练目的以及运动员对水中训练接受程度等相关因素。

2.4 作为无训练基础或完成陆上跑困难的人群的健身手段

水中跑关节负荷小等优势使得一些参与陆上跑和普适跑台跑困难的人群可通过深水跑来获得锻炼的效果。

Davidson 等人让10名没有训练基础的女性进行间歇渐进有氧训练,每周3次共4周,训练包括陆上跑或深水跑,中间间隔10周,两种训练方式产生相似的改善,作者得出结论,深水跑和陆上跑都可以改善年轻久坐女性的心血管健康水平^[28]。Broman 等的研究中,29名健康老年女性(69±4)岁进行8周的深水跑,不仅改变了最大作功能力、最大有氧能力,且这些能力可以转移到陆上。因此,作者推荐深水跑作为老年女性改善有氧能力的方法^[29]。此外,研究还证实深水跑在改善老年动态平衡能力也具有一定的优势^[30]。甚至有研究发现,深水跑可以减少胸部较大的女性不适感,是一种消耗更大,但是更加舒适的运动模式^[31]。可见深水跑对于非运动专业人群也有较大应用空间。值得一提的是, Jorgic 通过总结1990—2011年发表的文章指出,深水跑对于老年具有锻炼效果,但是该锻炼对于老年人也有不足的地方,水的浮力作用导致水中练习对骨骼系统的刺激不充分,可能引起骨密质的快速丢失,特别是对于老年女性,这对骨骼系统健康不利^[32]。

2.5 促进疲劳恢复,减少酸痛

当人体没入水中时,液体在组织间转换的速度加快,有助于减轻组织肿胀。此外,心脏输出增加帮助代谢产物排出,有助于肌肉修复。已有研究证实,进行相同的水上和陆上的训练,都有治疗效果,而水中训练肌肉酸痛程度显著低于陆上训练,差异具有显著性意义^[33]。运动后,水中练习作为主动恢复的方式也被证明可以加速肌肉酸痛的恢复^[34]。Theanthong 等检查了6周足球训练加超等长训练后,深水跑对于肌肉损伤指标的影响。研究发现,深水跑可以快速移除肌酸激酶,而且跳深和反向跳的高度下降幅度小于慢跑和拉伸活动。这可能由于主动恢复可增加损伤肌肉细胞的血流,从而加强恢复过程。因此,作者提出深水跑可以减少肌肉损伤,加强恢复,促进训练效果提高,并推荐作为足球训练后的恢复手段^[35]。

2.6 改善肌纤维痛症状

肌纤维痛是慢性疼痛症状,同一系列症状相关,如睡眠障碍、疲劳、较低的肌肉表现、焦虑、抑郁。运动训练常作为康复治疗手段,而水疗不断被证实对于肌纤维痛具有治疗效果,其中有研究证实深水跑对于改善症状具有一定效果。Assis 比较了水中步行、慢跑和陆上训练对于女性肌纤维痛患者的治疗效果,发现水中跑同陆上训练一样能够改善患者的疼痛水平,而在精神方面则更具优势。由此作者提出对于存在适应陆上训练困难或下肢运动受到限制的肌纤维痛患者,深水跑可以作为训练的手段^[36]。Cuesta-Vargas 发现8周、每周3次含深水跑的训练可改善肌纤维痛患者的疼痛水平、疲劳程度、僵硬、心理状态等。同时,整体健康和生活质量同宣传教育组相比,差异具有显著性意义。作者得出结论,深水跑对于肌纤维痛患者是安全、有效的干预手段^[37]。

2.7 改善肥胖及相关代谢问题

对于肥胖人群来说,跑步常作为其锻炼身体、减少身



体脂肪的重要手段,而过多的体重会增加跑步时关节的负荷。水中跑可以减轻肥胖人群运动时所产生的关节负荷,且运动时消耗的能量也非常可观。Wouters 等研究了 6 周水中慢跑对于 15 名健康肥胖者的作用,发现其身体脂肪和腰围减少,生活质量改善。在不增加受伤风险的基础上,水中的身体训练可增加肥胖个体的身体健康和精神健康状况^[38]。Greene 等人研究了 12 周陆上跑台跑和水中跑台跑对肥胖者的效果,结果发现两种训练效果不存在差异,两组的 VO_{2max} 增加,而体重、BMI、体脂率和脂肪重量下降,腿部瘦体重仅在水中跑台组增加,差异具有显著性意义^[39]。Meredith-Jones 等人也证实 12 周、每周 3 次、每次 60 min 的深水跑可改善老年肥胖女性的有氧能力、增加肌肉力量、减少腰腹肥胖程度^[40]。此外,水疗对于改善肥胖问题的优越性还表现在水具有热传导作用,在温度相对较低水池中完成运动时,热应激引起的风险减少。

3 结论

水中跑作为常见的水下训练手段,近年来引起了广泛的关注,最常见的 3 种训练方式:深水跑、浅水跑、水中跑台跑。水中跑被证实具有维持有氧能力的效果,但同陆上的生理反应、生物力学存在一定的差异,适用的人群较广。根据训练目的、不同阶段,选择适当的训练方式、强度和量来达到预期的效果。水中跑适用人群范围较广,具有较大的应用前景,但其机理需要进一步的研究,为水中跑有效开展提供科学依据。

参考文献:

- [1] Reily T., Dowzer C. N., Cable N. T. The physiology of deep-water running[J]. *Journal of Sports Science*, 2003, 21(12):959-972.
- [2] Becker B. E., Cole A. J. Comprehensive aquatic therapy(3rd Edition)[M]. Washington State University Publishing, 2011:158.
- [3] Leonardo A. P., Luiz F. M. K. Deep water running: limits and possibilities for high performance[J]. *Revista Brasileira De Medicina Do Esporte*, 2006, 12(5): 286- 290.
- [4] Christie J. L., Sheidahl L. M., Tristani F. E., et al. Cardiovascular regulation during head-out water immersion exercise[J]. *Journal of Applied Physiology*, 1990, 69(2): 657-664.
- [5] Mastumoto K., Horsch S. E., Agnelli C., et al. Muscle activity during running in water and on dry land matched physiology[J]. *International Journal of Sports Medicine*, 2014, 35(1): 62-68.
- [6] Masumoto K., Delion D., Mercer J. A. Insight into muscle activity during deep water running[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2009, 41(10): 1956-1964.
- [7] Kaneda K., Wakabayashi H., Sato D. Lower extremity muscle activity during deep-water running on self-determined pace[J]. *Journal of Electromyography & Kinesiology*, 2008, 18(6): 965-972.
- [8] Kilding A. E., Scott M. A., Mullineaux D. R. A kinematic comparison of deep water running and overground running in endurance runners[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2007, 21(2): 476-480.
- [9] Killgore G. L., Wilcox A. R., Caster B. L. A Lower extremities

- kinematic comparison of deep-water running styles and treadmill running[J]. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 2006, 20(4): 919-927.
- [10] Dale R. B. Deep water running for injured runners[J]. *Human Kinetics*, 2007, 12(2): 8-10.
- [11] 张晓辉.6 周浅水跑训练对有氧能力及 1500m 跑成绩的影响研究[J]. *中国体育科技*, 2012, 48(5): 87-91.
- [12] Dowzer C. N., Reilly T., Cable N. T., et al. Maximal physiological responses to deep and shallow water running[J]. *Ergonomics*, 1999, 42(4): 275-281.
- [13] Barbsa T. M., Garrido M. F., Bragada J. Physiological adaptations head-out aquatic exercise with different levels of body immersion[J]. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 2007, 21(4): 1255-1259.
- [14] Denning W. M., Bressel E., Dolny D., et al. A review of biophysical differences between aquatic and land-based exercise[J]. *International Journal of aquatic research & Education*, 2012, 6(1): 46-67.
- [15] Schaal C. M., Collins L., Ashley C. Cardiorespiratory responses to underwater treadmill running versus land-based treadmill running[J]. *International journal of aquatic research & education*, 2012, 6(1): 35-45.
- [16] Pohl M. B., McNauhton L. R. The physiological responses to running and walking in water at different depths[J]. *Research in Sports Medicine*, 2003, 11(2): 63-78.
- [17] Brubaker P., Ozemek C., Gonzalez A., et al. Cardiorespiratory responses during underwater and land treadmill exercise in college athletes[J]. *Journal of Sport Rehabilitation*, 2011, 20(3):345-354.
- [18] Rutledge E., Sibers M. W., Browder K., et al. Metabolic-cost comparison of submaximal land and aquatic treadmill exercise [J]. *International Journal of Aquatic Research and Education*, 2007, 1(2): 118-133.
- [19] Becker B. E. Aquatic therapy: scientific foundations and clinical rehabilitation applications[J]. *PM&R*, 2009, 1(9): 859-872.
- [20] Dowzer C. N., Reilly T., Cable N. T. Effects of deep and shallow water running on spinal shrinkage[J]. *British Journal of Sports Medicine*, 1998, 32(1): 44-48.
- [21] Cuestavargas A. I., Garciaromero J. C., Arroyomoraes M., et al. Exercise, manual therapy and education with or without high-intensity, deep-water running for nonspecific chronic low back pain. A Pragmatic randomized controlled Trial[J]. *American journal of physical medicine & Rehabil*, 2011, 90(7): 526-538.
- [22] Denning W. M., Bressel E., Dolny D. G. Underwater treadmill exercise as a potential treatment for adults with osteoarthritis[J]. *International Journal of aquatic research and Education*, 2010, 4(1): 70-80.
- [23] Roper J. A., Bressel E., Tillman M. D. Acute aquatic treadmill exercise improves gait and pain in people with knee osteoarthritis[J]. *Archives of Physical Medicine & Rehabilitation*, 2013, 94(3):419-425.
- [24] Tokmakidis S. P., Spassis A. T., Volaklis K. A. Training, de-training and retraining effects after a water based exercise program in patients with coronary artery disease[J]. *Cardiology*, 2008, 111(4): 257-264.

(下转第 80 页)



- [J]. *European Journal of Applied Physiology*, 2011, 111(9): 2381-2386.
- [23] Bortolotti, Henrique, Pereira, et al. Carbohydrate mouth rinse does not improve repeated sprint performance[J]. *Revista Brasileira De Cineantropometria E Desempenho Humano*, 2013, 15(6): 639-645.
- [24] Philips S. M., Findlay S., Kavaliauskas M., et al. The influence of serial carbohydrate mouth rinsing on power output during a cycle sprint[J]. *Journal of Sports Science and Medicine*, 2014, 13(13): 252-258.
- [25] Beaven C.M., Maulder P., Pooley A., et al. Effects of caffeine and carbohydrate mouth rinses on repeated sprint performance [J]. *Physiologie Appliquée Nutrition Et Métabolisme*, 2013, 38(6): 633-637.
- [26] McConell G.K., Canny B.J., Daddo M.C., et al. Effect of carbohydrate ingestion on glucose kinetics and muscle metabolism during intense endurance exercise[J]. *Journal of Applied Physiology*, 2000, 89(5): 1690-1698.
- [27] Chambers E.S., Bridge M.W., Jones D.A. Carbohydrate sensing in the human mouth: effects on exercise performance and brain activity[J]. *Journal of Physiology*, 2009, 587(8): 1779-1794.
- [28] Smeets P. M., De G. C., Stafleu A., et al. Functional MRI of human hypothalamic responses following glucose ingestion [J]. *Neuroimage*, 2005, 24(2): 363-368.
- [29] Small D.M., Zatorre R.J., Dagher A., et al. Changes in brain activity related to eating chocolate: from pleasure to aversion[J]. *Brain*, 2001, 124(9): 1720-1733.
- [30] Beelen M., Berghuis J., Bonaparte B., et al. Carbohydrate mouth rinsing in the fed state: lack of enhancement of time-trial performance[J]. *International Journal of Sport Nutrition & Exercise Metabolism*. 2009, 19(4): 400-409.
- [31] Fares E.M., Kayser B. Carbohydrate Mouth Rinse Effects on Exercise Capacity in Pre- and Postprandial State[J]. *Journal of Nutrition & Metabolism*, 2011, 2011(2090-0724):385962.
- [32] Lane S. C., Bird S. R., Burke L. M., et al. Effect of a carbohydrate mouth rinse on simulated cycling time-trial performance commenced in a fed or fasted state[J]. *Applied Physiology Nutrition & Metabolism*, 2013, 38(2): 134-139.

(责任编辑:何聪)

(上接第75页)

- [25] Wilber R. L., Mofflalt R. J., Scott B.E., et al. Influence of water in training on the maintenance of aerobic performance[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 1996, 28(8): 1056-1062.
- [26] Bushman B. A., Flynn M. G., Andres F. K., et al. Effect of 4wk of deep water run training on running performance[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 1997, 29(5): 694-699.
- [27] Tartagu L.A.P., Coetjens M., Black G.L., et al. Influence of deep water run training supplement on the maintenance of aerobic performance and kinematics of middle-distance runners[A]. *ISBS-conference proceeding archive [C].* Caceres-Extremadura Spain, 2002: 92-95.
- [28] Davidson K., McNaughton L. Deep water running and road running training improve VO₂max in untrained women[J]. *Journal of Sports Medicine*, 2000, 14(2): 191-195.
- [29] Broman G., Quintana M., Lindberg T., et al. High intensity deep water training can improve aerobic power in elderly women[J]. *European Journal of Applied Physiology*, 2006, 98(2): 117-123.
- [30] Kaneda K., Sato K., Wakabayashi H., et al. A comparison of the effects of different water exercise programs on balance ability in elderly people[J]. *Journal of aging & physical activity*, 2008, 16(4): 381-392.
- [31] McGhee D. E., Steele J. R., Bruce M. P. Does deep water running reduce exercise-induced breast discomfort[J]. *British Journal of Sports Medicine*, 2007, 41(12): 879-883.
- [32] Jorgic B., Milanovic Z., Aleksandrovic M., et al. Effects of deep water running in older adults. A systematic review[J]. *Healthmed*, 2012, 6(9): 3219-3228.
- [33] Robinson L. E., Devor S. T., Merrick M. A., et al. The effects of land vs. aquatic plyometrics on power, torque, velocity and muscle soreness in women[J]. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 2004, 18(1): 84-91.
- [34] Takahashi J., Ishihara K., Aoki J., et al. Effect of aqua exercise on recovery of lower limb muscles after downhill running[J]. *Journal of sports science*, 2006, 24(8): 835-842.
- [35] Theanthong A., Rungthai R., Arkarapanthu A., et al. The effect of six weeks of deep-water training after soccer practice combined with plyometric training on indirect symptoms of muscle damage[J]. *Kasetsart Journal - Natural Science*, 2012, 46: 501-513.
- [36] Assis M. R., Silva L. E., Alves A. M., et al. A randomized controlled trial of deep water running: clinical effectiveness of aquatic exercise to treat fibromyalgia[J]. *Arthritis Care & Research*, 2006, 55(1): 57-65.
- [37] Cuestavargas A. I., Adams N. A pragmatic community-based intervention of multimodal physiotherapy plus deep water running(DWR) for fibromyalgia syndrome: a pilot study[J]. *Clinical Rheumatology*, 2011, 30(11): 1455-1465.
- [38] Wouters E. J. M., Van Nunen A. M. A. Geenen R., et al. Effects of aquajogging in obese adults: a pilot study[J]. *Journal of Obesity*, 2010, 2010: 1-7.
- [39] Greene G. P., Lambert B. S., Greene E. S. Comparative efficacy of water and land treadmill training for overweight or obese adults[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2009, 41(9): 1808-1815.
- [40] Jones L. M., Meredith-Jones K, Legge M. The effect of water-based exercise on glucose and insulin response in overweight women: a pilot study[J]. *Journal of Women Health*, 2009, 18(10): 1653-1659.

(责任编辑:何聪)