DOI:10.16016/j.1000-5404.202111192



马拉松运动中的科学饮水

舒为群,罗教华 400038 重庆,陆军军医大学(第三军医大学)军事预防医学系军队环境卫生学教研室

[摘要] 马拉松运动在消耗巨大体能的同时,也伴随水分和电解质的大量丢失。如果不能科学合理地补水,极易导致急性脱水、电解质失衡和乳酸堆积等情况发生,严重时可诱发运动性中暑、运动性低钠血症、运动性酸中毒,甚至死亡。为了保持良好的水合状态及电解质平衡,需要做到:密切关注身体水合状态;运动前主动让身体充分水化,运动中既要防止脱水也要防止过度补水,运动后及时补充丢失的水分。同时还要注意结合环境条件及自身特征调整补水方案。选择含有适量电解质、矿物质和碳水化合物的运动饮料或饮水,避免单纯摄入纯水(纯净水、蒸馏水等)。

[关键词] 马拉松运动;脱水;电解质失衡;运动性中暑;运动性低钠血症;运动性酸中毒;科学饮水
[中图法分类号] G804.32; G822.8; R123.5 [文献标志码] A

Scientific hydration strategies for marathon runners

SHU Weiqun, LUO Jiaohua Department of Environmental Hygiene, Faculty of Military Preventive Medicine, Army Medical University (Third Military Medical University), Chongqing, 400038, China

[**Abstract**] There exist great energy expenditure and a large quantity of fluid and electrolyte loss in marathon running. Inappropriate hydration strategies will result in acute dehydration, electrolyte imbalance, accumulation of lactic acid, and in some serious cases, exertional heat stroke, exercise-associated hyponatremia and exercise-induced metabolic acidosis, and even death. In order to keep fluid and electrolyte balance, the following hydration strategies should be adopted: paying close attention to hydration status, keeping balanced diet and euhydration before running, preventing excessive dehydration or overhydration during running, and supplementing fluid and electrolyte timely after running. What's more, personalized hydration strategies should be employed according to the environmental conditions and his/her own characteristics. It would be better to consume sports drinks or fluids with an appropriate amount of electrolytes, minerals and carbohydrate, and avoid drinking purified water only.

[**Key words**] Marathon; dehydration; electrolyte imbalance; exertional heat stroke; exercise-associated hyponatremia; exercise-induced metabolic acidosis; scientific hydration strategies

Supported by the Major Project of Logistic Science Research of PLA (AWS18J004). Corresponding author: SHU Weiqun, E-mail: weiqunshu@tmmu.edu.cn

[基金项目] 全军后勤科研重大课题(AWS18J004)

[通信作者] 舒为群,博士,教授,博士研究生导师。担任全军军事作业与环境医学专业委员会副主任委员。主持国家自然科学基金重点项目和国家科技部攻关项目等20余项。有关三峡库区水污染对人群健康影响的研究成果得到国家领导人的亲笔批示并推动了国家生活饮用水卫生标准(GB5749-2006)的修订及实施。荣获中华预防医学科技奖一等奖、中华医学科技奖一等奖,为国务院政府特殊津贴专家。以通信作者在 *Environmental Health Perspectives*、*Water Research*、*Hepatology* 等SCI收录期刊发表论文40余篇。主要从事饮用水卫生学和营养学方面的研究。E-mail:weiqunshu@tmmu.edu.cn

1000-5404/Copyright © 2022, 陆军军医大学(第三军医大学)。这篇开放获取文章遵循 CC BY 许可协议(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

中国田径协会公布的数据显示,全国马拉松及相关路跑赛事从2014年的51场增长到2019年的1 828场,5年时间数量增长超过30倍;2019年所有赛事参赛规模为712.56万人次。马拉松有着超长的赛程(42.2 km),是对体能的极大挑战。马拉松运动中,出汗率为0.5~2 L/h,4 h就可出汗2~8 L,如在高温环境下全赛程出汗量可超过10 L。出汗不仅导致水分的流失,还伴随钠、钾、氯等电解质的丢失。如果不注意科学和及时地补水,可能导致急性脱水、电解质失衡和乳酸持续堆积等情况发生,进而影响运动成绩,危害身体健康,甚至导致死亡。本文着重探讨马拉松运动时的科学饮水问题。

除了马拉松运动,其他耐力运动如登山、铁人三项、划船、自行车、长时间徒步等也容易发生脱水和电解质失衡。军队在平、训、战工作中,不乏对体能挑战极大的高强度行动,比如长距离拉练、负重泅渡、抗洪救灾等。本文讨论的问题对其他耐力运动以及高强度军事活动也有借鉴意义。

1 脱水与运动性中暑

水是自然界常见液体中,比热容最高的液体。每毫升水升高或降低10 ℃,需要1 000 cal热值的输入或散发,故对于人体来说,水能贮存和吸收大量的热(如来自环境的辐射热和身体代谢产热),起到调节体温的作用。水的蒸发热也很大,1 g水在37 ℃完全蒸发需要吸收575 cal热值,少量的汗液蒸发就能散发大量的热。同时,水的流动性质能够让身体的热量均匀分布,也是体温调节必不可少的。因此,让身体保持良好的水合状态,对于防止高温下人体中暑和低温下人体失温都具有重要意义。

运动时,核心体温升高会促进血液流向皮肤,把体内的热量带到体表,人体通过出汗散热来降低体温。研究显示,在28.5~35 ℃环境中运动,汗液蒸发散热是人体最主要的散热方式,8 h内出汗量可达10~20 L。受体质量、遗传和热习服状态的影响,个体间出汗率有很大的差异。已经建立热习服的个体出汗温度阈低、出汗率和总出汗量更高,更容易散热,这对提高运动成绩是有利的,但是也会增加脱水的风险[1]。

人的大脑含有70%以上的水分,大脑对缺水的反应尤为敏感。当脱水量为体质量的1%时,口渴感觉明显;当脱水量为体质量的2%时,会有剧烈口渴、大脑神经传导减慢、食欲不振等反应;当脱水量超过体质量的3%时,会出现如恶心、烦躁、头痛、大脑认知功能受限等一系列严重反应;当脱水量超过体质量的4%时,中暑、循环衰竭甚至死亡的发生风险都大大增加[2-3]。据报道,2015-2019年波士顿马拉松的运动性中暑(exertional heat stroke, EHS)发病率为3.7/10 000;2014-2016年辛辛那提飞猪马拉松的EHS发病率为13/10 000;新英格兰地区8年累计19次10 km比赛中EHS发病率为10/10 000;系列法尔茅斯公路赛的EHS发病率为18/10 000~21/10 000[4]。除了温热环境,寒冷环境中也可发生中暑。在一些冬季耐力运动中,衣服和装备可阻止体热散发,导致热量蓄积而发生中暑。中暑对人是有致命危险的,国外报道重症中暑的病死率为17%~70%[5],我国报道为5.6%~33.3%[6]。

2 电解质失衡及运动性低钠血症

汗液除含有大量水分外,还含有钠、氯、钾、碳酸氢盐等成分[7]。在马拉松运动中,出汗率为0.5~2 L/h,汗液中钠离子浓度甚至有超过1 840 mg/L水平的报道[2]。因此,电解质失衡极易发生。

血钠的正常值范围在135~144.9 mmol/L。临床上将血钠高于145 mmol/L的状态称为高钠血症,129~134.9 mmol/L为生化低钠血症,≤129 mmol/L为临床低钠血症[8]。俗称的"水中毒"本质上即为低钠血症。1985年MONTAIN等[9]第一次提出了运动相关性低钠血症(exercise-associated hyponatremia, EAH)。EAH分为无症状和有症状两种类型,大部分EAH患者仅有血液生化指标的异常,没有临床症状,其发病率远高于有症状EAH的发病率。不同文献报道的EAH发病率差异很大(0~51%),主要原因是大部分无症状者没有进行血液生化分析。

几乎所有的耐力运动项目均报道过有EAH的发生,其中马拉松、铁人三项、多阶段超级马拉松等的发病率较高[10]。在寻求过医疗救助的铁人三项赛运动员中被确认为EAH的比例高达23%,常规马拉松和超级马拉松中EAH的比例高达38%。目前一些短距离(如半程马拉松)的比赛中,症状性EAH的发病率有升高的趋势。另外,在瑜伽、网球、橄榄球、徒步旅行、军事训练等活动中都有EAH发生的报道[11]。EAH可以在运动中发生,也可在运动结束后24 h之内发生。

分析文献后可见,能够增加EAH发生风险的因素主要有以下方面。

(1)运动因素:运动中大量出汗导致钠的过多流

失;运动时间过长(大于4 h)等。

(2)饮水和膳食因素:过多饮用低渗饮料或纯水(纯净水、蒸馏水等);膳食中钠摄入不足等[12]。

(3)个体因素:性别、年龄、较小的体质指数(BMI低于20时)发生EAH的风险较大[13]。女性面临EAH的风险高于男性[14],目前有记载的大部分EAH病例为女性[15]。其可能原因是运动员的液体推荐摄入量大多是根据男性的出汗数据得出的,往往高于女性对液体的实际需求量[11]。在参加2002年波士顿马拉松赛的488名运动员中,女性EAH的发病率(22%)高于男性(8%),但在校正BMI和竞赛时间后,发病率的性别差异不复存在[13],提示个体BMI和竞赛时间对EAH的发生具有影响。老年人因肾脏对水盐的调节能力下降,也是EAH的敏感个体。

(4)其他因素:遗传、疾病、肾损伤药物的使用,都可能增加EAH发生风险。如某些人汗液中氯化钠浓度高于常人;囊性纤维化疾病患者容易丢失钠[2];服用某些解热镇痛药和个别中成药等。

EAH的病理特征为血钠浓度降低、体液渗透压降低、体液过多潴留并伴随抗利尿激素水平升高[10]。急性EAH可导致脑神经细胞水肿、颅内压升高,因此神经和精神症状出现最早且突出[16]。EAH主要表现为软弱乏力、恶心呕吐、头痛嗜睡、肌肉痛性痉挛、神经和精神症状以及可逆性共济失调等。如果不予治疗,症状会加剧并引起癫痫、脑水肿(也称为运动性低钠血症性脑病,exercise-associated hyponatremic encephalopathy,EAHE)、昏迷、肺水肿和心跳呼吸骤停等[17]。当血钠降至120 mmol/L及以下水平时,还可能致死[2]。研究显示,截止到2019年,全球至少报道有12人死于EAHE相关的并发症,显然这些数据远低于EAH相关的死亡数[10]。有研究还报道了参加军事训练的人员死于EAH[18],提醒部队卫生工作者需要重视低钠血症对官兵的危害。

从以上得知,EAH对运动员和军事作业人员而言非常危险,但他们大多缺乏相关知识。一项针对伦敦马拉松运动员的研究显示,有12%的人计划大量饮水(这将使他们发生EAH的风险大增),只有25.3%的人打算根据口渴感来饮水。虽然68%的人听说过EAH,但是只有35.5%的人对EAH的病因及危害有所了解[19]。在我国,运动员和军人的相关认知更加欠缺。当今各种形式的饮用纯净水和蒸馏水(瓶装、桶装、反渗透净水器出水等)非常普及,如果将它们作为运动期间或军事行动期间的主要饮水,可能会带来严重的后果。

3 运动型酸中毒与饮水

长时间的马拉松运动将不可避免地促使肌肉无氧糖酵解从而大量产生乳酸,严重时会发生运动型酸中毒。血乳酸水平正常值为0.5~2 mmol/L。普通运动时肌肉以磷酸戊糖途径供能为主,血乳酸较少,一般不超过4 mmol/L;短时间高强度运动以及超长时间的耐力运动(比如马拉松)则会启动糖酵解供能系统,血乳酸将逐渐累积。临床一般将血乳酸>5 mmol/L,动脉血pH<7.35,血阴离子间隙>18 mmol/L,血碳酸氢根浓度<20 mmol/L的状态诊断为乳酸酸中毒。马拉松运动员比赛完结时血乳酸浓度约为安静时的2~3倍(4.08~6.33 mmol/L)。蔡英蔚等[20]对50名业余马拉松选手的观察发现,赛后血乳酸普遍增高,有1/3选手达到无氧阈4 mmol/L以上。有研究报道过1例因每天长跑5 km而导致血pH低至6.77、血乳酸水平达到27 mmol/L的重度乳酸酸中毒病例[21]。

在饮用水种类多元化的当下,选择适宜的饮水种类预防或减缓运动员的酸中毒,是值得关注的新思路。虽然尚未有直接针对马拉松运动员的研究,但针对其他运动的观察颇有借鉴意义。罗教华等将热区特种兵战士分组饮用4种饮水(自来水、纯净水、矿物质水、天然水)30 d,比较干预前后的汗液乳酸浓度,发现天然水组降低(10.12±15.28)mmol/L(n=31),自来水组降低(6.48±12.36)mmol/L(n=38),而纯净水组增加了(1.97±19.81)mmol/L(n=28)。虽然个体间差异较大,但经统计学分析组间差异仍然显著(P=0.01)。提示富含矿物质的饮水可以减少机体乳酸的产生,有助于预防代谢性酸中毒。反之,饮用不含矿物质的纯净水则不能减少、甚至增加机体乳酸水平。

CHYCKI等[22]对格斗运动员开展了天然碱性水(pH=9.13,离子特征是碳酸氢盐-碳酸盐-钠型,碳酸氢根357.8 mg/L)和普通瓶装水(pH=5.00,碳酸氢根3.62 mg/L)的干预实验。干预3周后,碱性水组上肢和下肢运动能力都有显著提高[下肢总运动功率从276.04 J/kg提升到292.96 J/kg(P=0.012);上肢总运动功率从138.15 J/kg提升到156.37 J/kg(P=0.012)],普通水组运动能力没有显著提高;碱性水组安静时血液pH从7.36升高到7.44,血乳酸(mmol/L)从1.99降低到1.30,HCO_3^-(mmol/L)从23.87升高到26.76,尿液

pH 值从 5.75 升高到 6.62,尿比重值从 1.02 降低到 1.00。MASZCZYK 等[23]用同样的饮水对篮球运动员进行了 6 周干预,结果显示血液和尿液各项指标的变化规律与格斗运动员一致,而且碱性水组 6×28 m 折返跑的运动速度平均提高了 0.71 s(P=0.03),而普通水组无改变。两项研究提示碱性矿泉水有助于预防运动性酸中毒,改善运动性脱水,增强无氧运动能力。

HARRIS 等[24]的研究显示,运动员脱水达 3%体质量后,相比饮用山泉水和运动饮料,饮用深层海洋水可以更快地恢复机体水合状态。有趣的是,这项研究中用到的深层海洋水,其钠、氯、钾等电解质含量远不及运动饮料中的水平高,但因为它同时含有运动饮料所不含的镁、钙、硼、溴、铬等离子,对机体的水合状态反而起到了更好的作用。

4 高强度运动时的科学饮水建议

首先,不论平时、赛时还是作训时,运动员和军人都需学会评估身体的水合状态。水被比喻为“出色的运动增强剂”,让身体处于良好水合状态至关重要。以下为常用的评价水合状态的方法。

有检测仪器时,可以测定:①血浆渗透压,正常在 300 mOsm/kg 左右水平;②血钠离子浓度,正常在 135~145 mmol/L 之间;③尿渗透压,正常水平在 700 mOsm/kg 左右;④尿比重,正常值为 1.020 左右。以上指标过高都提示身体的水合不足,过低则提示水合过度。

如果没有检测仪器,可以通过口渴感、尿量、尿液颜色以及体质量变化来评估[14]。①口渴感:口渴是身体缺水的最直接但不是最敏感的信号,有口渴感时,身体已经有轻微脱水(已经不是最佳水合状态),需要尽快补充水分。②24 h 尿量:水合正常时,24 h 尿量应该不少于 1.5 L。③尿液颜色:水合正常时尿液应呈淡柠檬黄色或稻草黄色。尿液颜色过淡提示水合过度,有发生低钠血症的风险;颜色过重(金黄、暗黄)则提示水合不足,身体可能处于脱水状态。④体质量变化:对于食物的能量摄取平衡且水合状态良好的人来说,每日体质量(早上小便后的体质量)的上下波动不超过 1%。如果体质量上下波动超过 2%~3%,则提示水合不足(脱水)或水合过度,需要及时调整补水方案[25]。

第二,运动或出发之前,未雨绸缪非常重要,应该主动让身体充分水化,并储存足量的平衡电解质及酸碱缓冲成分。

建议运动前至少 1 周起就精心安排平衡膳食,尽量多吃新鲜蔬菜和水果,多吃乳类食品,在烹制食物时可适当增加盐分。注意多喝水,在运动前 1 d 的晚上、当天起床,以及运动开始前半小时分别饮水约 500 mL,以便身体得到足够的水分。特别要注意多饮白开水、山泉水和矿泉水、橙汁等饮品,避免饮用纯净水、酒精、咖啡等饮料。纯净水不含任何矿物质和电解质,大量饮用可增加 EAH 发生风险;酒精和咖啡因都有利尿效果,不利于机体水化[26]。对于高温季节、持续时间长的比赛,也可提前服用口服补液盐来储备水和电解质。口服补液盐Ⅲ为低渗(245 mOsm/L)电解质溶液,在肠道中吸收效果好,兼具良好的补水和补充电解质效果。将每袋(5.125 g)溶解于 250 mL 白开水中即可饮用(此时水中含氯化钠 0.65 g、氯化钾 0.375 g、枸橼酸钠 0.725 g、无水葡萄糖 3.375 g)。

第三,在运动中,既要避免脱水和电解质的过多流失,也要避免过量饮水导致的致命性低钠血症的发生。

运动中的补水,可按照每 15 min 左右饮水 100~200 mL 来进行,也可根据口渴感来补水,一定注意采取少量、多次、均匀饮用的方式,不要一次性地猛喝(短时间大量饮水会增加心脏负担,也会刺激尿液排出从而导致液体储留减少,是不可取的方式)。补水量应依据不同的个体特征和环境特征而有所区别。例如,在高温、高湿、无风、烈日直射时,如果加上较重的携行装备,有可能使体能消耗、水和电解质的流失达到峰值,此时需要随时注意水和电解质的补充。反之,对于女性、体质指数较低的人、老年人则需要根据自身的真实水合状态来补充水分,避免饮水过多导致低钠血症发生。

如前所述,纯水不是补水的最佳选择,运动中可优先考虑运动饮料。运动饮料多是含有 20~50 mmol/L 的钠、2~5 mmol/L 的钾、6%~8%的碳水化合物、甚至含有少量蛋白质的低渗液体,既能快速补充水和电解质,又能帮助运动成绩的提高[27]。运动时间较长时,补充少许咸味小吃(如榨菜、小苏打饼干)可以刺激口渴机制,促使运动员持续补水[25]。在出汗量大、电解质丢失多的环境下,可考虑用口服补液盐来快速补充水和电解质。

第四,运动后,需要及时补充丢失的水分和电解质,尽快中和代谢产酸,以便恢复体力。

运动结束后,如无特殊情况,水和电解质的补充应以饮水和膳食为主。建议在运动后 6 h 内摄入 125%~

150%的所丢失液体量。也可按每减轻 1 kg 体质量,摄入 1 200~1 500 mL 的液体来进行。电解质可以通过运动饮料、口服补液盐或淡盐水来补充,但不宜持续时间过长。建议在膳食中增加淡盐汤、咸味小菜(如榨菜、泡菜等)、足量的新鲜果蔬和乳类食品。注意饮用富含天然矿物离子的白开水、矿泉水、山泉水、橙汁等饮品,它们更加有利于乳酸的中和以及水合状态的恢复。仍然要注意避免饮用纯水。

最后需要强调的是,由于运动中和运动后(运动结束后 24 h 内)都有发生中暑和低钠血症的风险,因此运动中和运动后都应给予密切的医学观察,一旦运动员出现头痛、恶心、呕吐、乏力、视力模糊、心率异常、甚至昏倒等症状时,都应该立刻就医治疗。

总之,对于运动员和军事作训人员,科学饮水应该做到四个方面:①饮水量充足但不过度;②选择对身体和运动成绩都有益的饮料和饮水种类;③任何时候都控制少量、多次、匀速的饮水节奏;④紧密结合环境条件以及自身状态,采取个性化的补水方案。在赛场环境复杂多变、饮料和饮水种类可多样化选择的当代,科学饮水是运动员们需要高度重视的问题。

参考文献:

[1] TYLER C J, REEVE T, HODGES G J, *et al*. The effects of heat adaptation on physiology, perception and exercise performance in the heat: a meta-analysis[J]. Sports Med, 2016, 46(11): 1699-1724. DOI: 10.1007/s40279-016-0538-5.

[2] CASA D J, CLARKSON P M, ROBERTS W O. American College of Sports Medicine roundtable on hydration and physical activity: consensus statements[J]. Curr Sports Med Rep, 2005, 4(3): 115-127. DOI: 10.1097/01.csmr.0000306194.67241.76.

[3] KERKSICK C M, WILBORN C D, ROBERTS M D, *et al*. ISSN exercise & sports nutrition review update: research & recommendations[J]. J Int Soc Sports Nutr, 2018, 15(1): 38. DOI:10.1186/s12970-018-0242-y.

[4] BRESLOW R G, COLLINS J E, TROYANOS C, *et al*. Exertional heat stroke at the Boston marathon: demographics and the environment[J]. Med Sci Sports Exerc, 2021, 53(9): 1818-1825. DOI:10.1249/mss.0000000000002652.

[5] BYTOMSKI J R, SQUIRE D L. Heat illness in children[J]. Curr Sports Med Rep, 2003, 2(6): 320-324. DOI: 10.1249/00149619-200312000-00007.

[6] 于晓华, 郭建斌, 卜爱文. 夏季5km武装越野训练预防中暑的几个关键环节[J]. 东南国防医药, 2014, 16(1): 102-104. DOI:10.3969/j.issn.1672-271X.2014.01.037.
YU X H, GUO J B, BU A W. Several key problems of preventing heatstroke in 5km armed field training in summer [J]. Mil Med J Southeast China, 2014, 16(1): 102-104. DOI:10.3969/j.issn.1672-271X.2014.01.037.

[7] 王庭槐. 生理学[M]. 9版. 北京: 人民卫生出版社, 2018: 217-225.
WANG T H. Physiology[M]. 9th Edition. Beijing: People's Medical Publishing House, 2018: 217-225.

[8] LEBUS D K, CASAZZA G A, HOFFMAN M D, *et al*. Can changes in body mass and total body water accurately predict hyponatremia after a 161-km running race? [J]. Clin J Sport Med, 2010, 20(3): 193-199. DOI: 10.1097/JSM.0b013e3181da53ea.

[9] MONTAIN S J, CHEUVRONT S N, SAWKA M N. Exercise associated hyponatraemia: quantitative analysis to understand the aetiology[J]. Br J Sports Med, 2006, 40(2): 98-105; discussion98-105. DOI:10.1136/bjsm.2005.018481.

[10] ROSNER M H. Exercise-associated hyponatremia [J]. Trans Am Clin Climatol Assoc, 2019, 130: 76-87.

[11] KNECHTLE B, CHLÍBKOVÁ D, PAPADOPOULOU S, *et al*. Exercise-associated hyponatremia in endurance and ultra-endurance performance-aspects of sex, race location, ambient temperature, sports discipline, and length of performance: a narrative review[J]. Medicina (Kaunas), 2019, 55(9): E537. DOI:10.3390/medicina55090537.

[12] COSTA R J, TEIXEIRA A, RAMA L, *et al*. Water and sodium intake habits and status of ultra-endurance runners during a multi-stage ultra-marathon conducted in a hot ambient environment: an observational field based study [J]. Nutr J, 2013, 12: 13. DOI:10.1186/1475-2891-12-13.

[13] ALMOND C S, SHIN A Y, FORTESCUE E B, *et al*. Hyponatremia among runners in the Boston marathon[J]. N Engl J Med, 2005, 352(15): 1550-1556. DOI:10.1056/NEJMoa043901.

[14] BELVAL L N, HOSOKAWA Y, CASA D J, *et al*. Practical hydration solutions for sports[J]. Nutrients, 2019, 11(7): E1550. DOI:10.3390/nu11071550.

[15] HEW-BUTLER T, LOI V, PANI A, *et al*. Exercise-associated hyponatremia: 2017 update [J]. Front Med, 2017, 4: 21. DOI:10.3389/fmed.2017.00021.

[16] 李桂源. 病理生理学[M]. 2版. 北京: 人民卫生出版社, 2010: 119-132.
LI G Y. Pathophysiology [M]. 2nd Edition. Beijing:

People's Medical Publishing House, 2010: 119-132.

[17] MONTAIN S J. Strategies to prevent hyponatremia during prolonged exercise[J]. Curr Sports Med Rep, 2008, 7(Suppl. 1): S28-S35. DOI: 10.1249/jsr.0b013e31817f3a64.

[18] GARIGAN T P, RISTEDT D E. Death from hyponatremia as a result of acute water intoxication in an Army basic trainee[J]. Mil Med, 1999, 164(3): 234-238.

[19] WILLIAMS J, TZORTZIOU BROWN V, MALLIARAS P, *et al*. Hydration strategies of runners in the London Marathon[J]. Clin J Sport Med, 2012, 22(2): 152-156. DOI: 10.1097/JSM.0b013e3182364c45.

[20] 蔡英蔚, 蔡铁良, 沈七襄, 等. 马拉松比赛前后血糖、血乳酸、血液酸碱度和血尿素的变化与分析[J]. 临床军医杂志, 2010,38(3): 386-388. DOI: 10.3969/j.issn.1671-3826.2010.03.022.
CAI Y W, CAI T L, SHEN Q X, *et al*. Analysis of amateurs' blood sugar, lactic acid, pH and carbamide during marathon[J]. Clin J Med Off, 2010, 38(3): 386-388. DOI: 10.3969/j.issn.1671-3826.2010.03.022.

[21] 解放军肾脏病研究所学术委员会. 严重乳酸酸中毒伴多器官功能不全[J]. 肾脏病与透析肾移植杂志, 2009, 18(5): 491-496.
Academic Committee of PLA Institute of Nephrology. Severe lactic acidosis with multiple organ dysfunction[J]. Chin J Nephrol Dial Transpl, 2009, 18(5): 491-496.

[22] CHYCKI J, KURYLAS A, MASZCZYK A, *et al*. Alkaline water improves exercise-induced metabolic acidosis and enhances anaerobic exercise performance in combat sport Athletes[J]. PLoS One, 2018, 13(11): e0205708. DOI: 10.1371/journal.pone.0205708.

[23] MASZCZYK A. Anaerobic performance and acid-base balance in basketball players after the consumption of highly alkaline water[J]. Int J Food Nutr Sci, 2018, 5(1): 1-6. DOI: 10.15436/2377-0619.18.1754.

[24] HARRIS P R, KEEN D A, CONSTANTOPOULOS E, *et al*. Fluid type influences acute hydration and muscle performance recovery in human subjects[J]. J Int Soc Sports Nutr, 2019, 16(1): 15. DOI: 10.1186/s12970-019-0282-y.

[25] CAMPBELL B, SPANO M. NSCA'S Guide to sport and exercise nutrition[M]. Champaign: Human Kinetics Publishers, 2011.

[26] DUNFORD M. Sports nutrition: a practice manual for professionals[M]. Chicago: American Dietetic Association, 2006.

[27] SEIFERT J, HARMON J, DECLERCQ P. Protein added to a sports drink improves fluid retention[J]. Int J Sport Nutr Exerc Metab, 2006, 16(4): 420-429. DOI: 10.1123/ijsnem.16.4.420.

(**收稿**:2021-11-26;**修回**:2021-12-12)

(编辑 张 维)