

3 种运动饮料对小白鼠补水能力的比较

A comparative study on the hydration ability of three commercial sports drinks on experimental rats

阿不里米提·哈斯木

A-BU-LI-MI-TI Ha-si-mu

(新疆交通职业技术学院汽车工程学院, 新疆 乌鲁木齐 831401)

(Faculty of Automotive Engineering, Xinjiang Vocational & Technical College of Communications, Urumqi, Xinjiang 831401, China)

摘要:使用氘稀释技术,比较了休息和运动条件下 3 种市售运动饮料和饮用水(对照组)的补水能力。结果表明:休息状态下,3 种饮料的吸收率达最大值的时间、达最大吸收率的 50% 的时间和最大吸收量存在显著差异,但其吸收率为 0 的时间无显著性差异;运动状态下,饮用水和运动饮料的吸收率达最大值的时间存在显著差异。表明氘示踪剂标记法可有效地测量摄入液体被生物体吸收的相对速率,且 3 种市售运动饮料的补水能力与饮用水的无显著差异。

关键词:同位素标记;数学模型;氘;补水能力

Abstract: In this study, using the deuterium dilution technique, the hydration abilities of three kinds of sports drinks commercially available and drinking water (control group) under rest and exercise conditions were compared. The results showed that significant differences were found, in the rest state, including the time points as the absorption rate of the three beverages reached the maximum value, 50% of the maximum absorption rate, and the maximum absorption amount. However, no significant difference was found in the time when the absorption rate was 0. In the exercise status, a significant difference between the time when the absorption rate of drinking water and sports drinks reaches the maximum was also found. The results showed that the deuterium tracer labeling method could effectively measure the relative rate of ingested liquid being absorbed by the organism, and the replenishment capacity of the three kinds of commercial sports drinks was not significantly different from that of drinking water.

Keywords: isotope labeling; mathematical model; deuterium; hy-

dration ability

运动(尤其是长时间的运动)过程中摄入运动饮料会增加耐疲劳时间^[1-2],减少完成预定任务所需的时间,或者增加在固定时间内的工作量^[3],这些因素共同作用,表现为整体运动性能的提高。长时间运动,人体糖原储备的耗尽和脱水会导致疲劳^[4]。其中脱水状态可能与有氧能力受损、血浆体积减少和核心温度升高等^[5]有关。研究^[6-8]表明,当脱水程度降至人体水分的 2% 时,运动性能受到不利影响,心血管压力增加。因此,需要保持人体摄入适量的水分以保证正常的生理机能。

人体水分吸收速率的影响因素主要有胃排空率(GER)和肠道吸收(IA)^[9-10],而胃抽吸术是测量评估 GER 的最常用技术,肠灌注则通常用于确定 IA^[9,11]。胃抽吸时,假设 IA 不受其速率限制,其测量(通过肠灌注)则依赖于将测试溶液不断地输送到测试部位,因此假定溶液不断从胃中流出,但肠道灌注仅能研究一小部分肠道,且未考虑内源性分泌物(如胰腺的内源性分泌物)^[12-13]的影响。当人体作为独立的工作系统时,评估自由生活条件下溶液的补水能力需同时评估 GER 和 IA。

通常,溶液中水吸收量的确定方法主要为同位素示踪剂法^[14]。其具体原理为:以氘化氢($^2\text{H}_2\text{O}$)形式的同位素为示踪剂^[15],将氘摄入测试溶液后,氢与氘原子发生混合,部分水将被“标记”,富集底物在体液中的动力学表征测试溶液的吸收速率^[4,16]。该方法不能确定绝对的净液体摄入量,但可在细胞水平上测量液体的吸收率,还可同时对 GER 和 IA 进行评估^[15,17-18];并且氘标记同位素示踪剂可服用。试验拟首先收集受试对象数据,通过吸水动力学数学模型,使用 Anova 方法比较所研究饮料的参数:最大吸水率、完成吸水的时间以及在任何给定时间内的吸水率。在休息和运动条件下使用氘稀释技术,研究

基金项目:教育部“十三五”教育科研规划全国重点课题(编号:JKY8704)

作者简介:阿不里米提·哈斯木(1974—),男,新疆交通职业技术学院讲师。E-mail: 809599904@qq.com

收稿日期:2020-01-15

3种市售运动饮料和水的补水能力,旨在为运动员、军事人员和从事户外高强度工作人员的安全工作和体能表现提供合理化建议。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

小白鼠:健康成年小白鼠(8~10周龄,体重280~300 g),上海西普尔动物实验有限公司;

运动饮料1:百事可乐,市售;

运动饮料2:魔爪维生素饮料,市售;

运动饮料3:Energizer运动功能饮料,市售;

数字秤:Proport 1700型,0.001 g,澳大利亚Proport Pty Ltd公司;

测距仪:0.01 mm,英国Holtain公司;

心率监测器:FIN90440型,芬兰Polar Electro公司;

试管:5 mL,OZY-YT-2型,上海拜陌生物分析有限公司;

同位素质谱仪:AT-M2018T型,英国Hydra公司。

1.2 试验方法

受试对象每次测试前24 h内保持相同饮食,到达实验室前禁食4 h,共测试4周。随机将受试对象分为休息组或运动组,各组又随机分为碳水化合物运动饮料摄入组和饮用水摄入组。摄入饮料前,提取受试对象唾液样品5 mL以确定基础水平,再分别饮用300 mL测试溶液(6℃)、99%²H₂O以及明胶胶囊,以达到0.05 g/kg体重

的剂量^[18],并于摄入后的第2,5,10,15,20,25,30,35,40,45,50,55,60 min提取唾液样品2.5 mL。

运动组:测试前,所有受试对象安装心率监测器,以相同的坡度及速度在跑步机上运动,以尽快时间达到最大心率的55%(通常需3~5 min),随后服用氘示踪剂及饮料,继续保持运动状态,心率保持在最大心率的55%,于摄入后的第2,5,10,15,20,25,30,35,40,45,50,55,60 min再次收集唾液样品2.5 mL。试验中允许受试对象咀嚼石蜡胶以增强唾液分泌^[14]。

1.3 唾液样品中氘的富集

通过同位素质谱法测定,并构建数学模型^[19],并计算吸收率达最大值的时间(t_1)、吸收率为0的时间(t_2)、最大吸收率的50%的时间($t_{1/2}$)以及示踪剂最大吸收率和饮料最大吸收量。

1.4 数据处理

使用Origin软件的Anova方差进行分析。

2 结果与分析

2.1 休息组饮料吸收情况

由表1可知,饮用水吸收率达最大值的时间(t_1)大于3种运动饮料的,但各组吸收率为0的时间(t_2)无明显差异;运动饮料2的最大吸收量小于饮用水的;饮用水达最大吸收率50%的时间($t_{1/2}$)明显大于运动饮料1和运动饮料3的。

表1 休息组饮料平均吸收参数[†]

Table 1 Average absorption parameters of beverage in rest group

饮料	t_1/min	t_2/min	$t_{1/2}/\text{min}$	示踪剂最大吸收率/(g·min ⁻¹)	饮料最大吸收量/%
运动饮料1	15.6±0.8 ^a	23.8±1.4	13.4±0.4 ^a	0.088±0.004	69.6±4.9 ^a
运动饮料2	14.3±0.7 ^a	28.9±2.2	14.4±0.7 ^b	0.076±0.006	54.1±4.4 ^b
运动饮料3	14.6±0.9 ^a	26.0±1.6	13.7±0.5 ^a	0.082±0.005	60.7±5.4 ^a
饮用水	19.3±0.8 ^b	26.8±2.1	15.9±0.7 ^b	0.080±0.004	76.4±4.0 ^a

[†] 字母不同表示与饮用水比较差异显著(P<0.05)。

由图1可知,饮用水和运动饮料的吸收存在显著差异,饮用水的吸收率达最大值的时间(t_1)显著大于运动饮料1和运动饮料3的;饮用水达最大吸收率时的吸收量显著高于运动饮料2的,其吸收率分别比运动饮料1、运动饮料3及运动饮料2高7%,16%,22%。综上,饮用水需要更长的时间才能达到最大吸收率,但与运动饮料相比,其最大吸收量更多,且所有液体的吸收时间近似相同。

2.2 运动组饮料吸收情况

由图2可知,饮用水吸收率达最大值的时间(t_1)明显大于运动饮料的。

由表1、2可知,运动过程中溶液的吸收时间(t_2)大于

休息组的,但其示踪剂的最大吸收率低于休息组的。休息组和运动组的吸收率达最大值的时间(t_1)相似,但运动组的最大吸收量低于休息组的,且运动组达最大吸收率50%的时间($t_{1/2}$)大于休息组的。从第1~4周,由于对环境和运动状态的不熟悉,可能引起受试小白鼠的焦虑情绪^[20],进而降低运动机能,影响心率。故受试对象适应度的差异可能会影响结论的准确性和可信度^[4]。

试验所选运动饮料的碳水化合物含量和类型,钠、钾和镁含量有所不同^[21-22],制造商将其添加至饮料中,以期进行能量供应和提高补水速率。由图2可知,运动饮料的最大吸收速度更快,说明其补水速度更快,但其达最大吸收率50%的时间($t_{1/2}$)与饮用水的无显著差异。

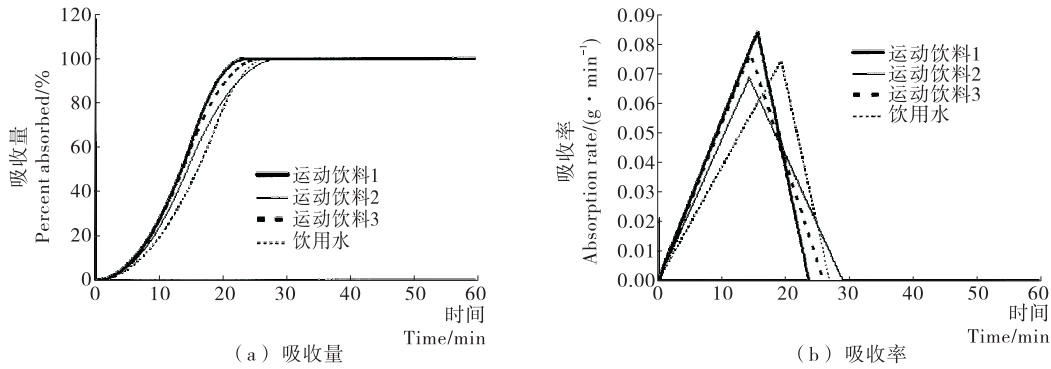


图 1 休息组的饮料吸收情况
Figure 1 Amount of drinks absorbed by rest group

表 2 运动组饮料平均吸收参数[†]

Table 2 Average absorption parameters of sports drinks in exercise group

饮料	t_1/min	t_2/min	$t_{1/2}/\text{min}$	示踪剂最大吸收率/(g · min ⁻¹)	饮料最大吸收量/%
运动饮料 1	14.3±1.2 ^a	40.7±6.3	17.7±1.6	0.064±0.008	47.3±6.6
运动饮料 2	13.4±1.0 ^a	49.0±9.6	19.7±2.6	0.055±0.005	38.6±5.4
运动饮料 3	14.2±1.2 ^a	41.1±5.8	17.7±1.8	0.057±0.005	39.2±4.3
饮用水	19.8±1.3 ^b	41.2±5.2	20.3±1.6	0.056±0.004	53.8±4.3

[†] 字母不同表示与饮用水比较差异显著(P<0.05)。

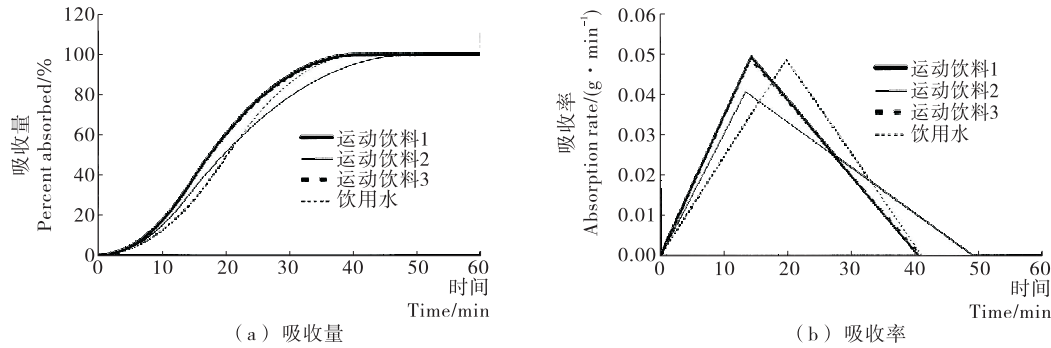


图 2 运动组的饮料吸收情况
Figure 2 Amount of drinks absorbed by exercise group

2.3 补水能力

3 种运动饮料的碳水化合物含量为 5%~12%。当摄入含 6%~8% 碳水化合物的溶液后,受试小白鼠的 GER 几乎无变化;而碳水化合物含量为 8%~10% 的溶液与排空存在反比关系,GER 随饮料中碳水化合物浓度的增加而降低。溶液中碳水化合物含量是影响吸水率的决定因素,等渗碳水化合物溶液中吸收的液体为纯水中吸收的 6~10 倍,运动饮料的营养物质在肠黏膜上的主动运输会形成渗透作用直至黏膜两侧的重量摩尔渗透压浓度相同。

试验表明,加入碳水化合物并不能改善水分的吸收,运动饮料中所含碳水化合物的浓度对胃排空和肠道吸收无影响,与杨洁等^[23]的结论相反,可能是肠道灌注方法的

局限性,该技术无法评估整个肠道以及内源性分泌物(如来自胰腺的分泌物)的影响。

尽管有证据^[5]表明运动饮料可以通过增加碳水化合物的利用率来改善运动性能,但运动饮料在休息或运动期间都不会提高水的吸收率。运动饮料在休息期后再进行运动的情况下可能会提高水的吸收率,其达到最大吸收率的时间比饮用水的更快。

3 结论

使用以氘化氢(²H₂O)形式的同位素示踪剂,比较研究了休息和运动条件下 3 种运动饮料和饮用水的补水能力。结果表明,休息状态下,3 种饮料的吸收率达最大值的时间、达最大吸收率 50% 的时间和最大吸收量存在显著差异,但其吸收率为 0 的时间无显著性差异;运动状态

下,饮用水和运动饮料的吸收率达最大值的时间存在显著差异。综上,运动饮料比普通饮用水能提供更多的能量,运动过程中其最大吸收速度更快,但是,加入碳水化合物的运动饮料并不能改善水分的吸收。

参考文献

- [1] 蔡先锋. 运动与补水初探[J]. 科学技术创新, 2011, 32(5): 179.
- [2] 彭雪玲. 运动饮料研制及抗疲劳活性研究[J]. 食品工业, 2018, 39(5): 106-109.
- [3] 郭强. 运动饮料与运动能力相关关系的研究[J]. 体育科技文献通报, 2011, 11(8): 134-135, 137.
- [4] 林朝霞, 陈园. 运动饮料对体育运动功能的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(8): 2 300-2 303.
- [5] 肖军秀, 王娟. 运动饮料的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(4): 228-232.
- [6] 刘爱萍, 郭慧媛, 庞坤, 等. 绿豆运动饮料缓解体力疲劳作用研究[J]. 食品科学, 2007(1): 280-283.
- [7] 张立威. 猴头菇运动饮料研制及其抗疲劳功能研究[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(3): 65-68.
- [8] 艾湘南, 蔡爱芳. 不同运动饮料对疲劳小鼠体力恢复效果的研究[J]. 体育成人教育学报, 2007(1): 46-47.
- [9] 祝哲哲, 夏书芹, 许时婴. 辅酶 Q₁₀ 纳米脂质体强化运动型饮料对小鼠的抗疲劳作用[J]. 食品与机械, 2007, 23(4): 49-53.
- [10] 侯希贺, 王人卫, 吴卫兵, 等. 高温高湿环境下高水平古典式摔跤运动员运动热调节反应及补水干预的作用[J]. 成都体育学院学报, 2016(3): 122-126.
- [11] 牛小明. 植物复合抗疲劳饮料的研究[J]. 食品研究与开发, 2008(6): 78-80.
- [12] 黄兴, 吴昊, 姚婉婉, 等. 高温高湿环境中科学补水方法对运动能力影响研究[C]//2014 年中国运动生理生化学会会议论文集. 贵州: 贵州省体育科学学会, 2014: 261-262.
- [13] 赵丽霞, 李军兰. 运动饮料对提高运动能力的研究现状[J]. 中国食物与营养, 2011, 17(7): 85-87.
- [14] 卞长星, 邓京京, 王树臣. 运动饮料对运动能力和健康的影响[J]. 搏击: 武术科学, 2014, 11(2): 104-106.
- [15] 朱晓亮. 胶束电泳毛细管色谱法测定功能运动饮料中的水溶性维生素[J]. 基因组学与应用生物学, 2019(5): 2 289-2 296.
- [16] 张钦. UPLC-MS/MS 分析运动饮料中水溶性维生素[J]. 食品研究与开发, 2017(15): 172-177.
- [17] 魏跃臣, 张绪东, 全连信, 等. 复方猴头菇饮料对运动性疲劳小鼠影响的实验研究[J]. 牡丹江医学院学报, 2005(3): 12-14.
- [18] 刘岩. 玉木耳运动饮料研制及抗运动疲劳功能研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(21): 106-110.
- [19] 胡国鹏, 王人卫. 槲皮素配方运动饮料对自行车运动员炎症反应影响的两阶段交叉试验研究[J]. 中国康复医学杂志, 2012, 27(11): 1 041-1 046.
- [20] 邓运龙, 张海忠, 田亚平, 等. 034 高能运动饮料对武警体能训练影响的实验研究[J]. 四川体育科学, 2018, 49(3): 39-41.
- [21] 刘仲义, 李锦清, 伍尚森, 等. 高效液相色谱法测定运动饮料中 13 种食品添加剂[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(3): 506-511.
- [22] 张强. 枸杞大豆多肽复配运动饮料的研制及其对大鼠抗疲劳功能的研究[J]. 粮食与油脂, 2018, 31(10): 45-49.
- [23] 杨洁, 高京, 任洪波, 等. 真源运动饮料对柔道运动员血清离子浓度及机能状态影响的实验研究[C]//第六届全国体育科学大会. 包头: 内蒙古体育科研所, 2017: 167-181.
- [10] 梁亚男, 叶发银, 雷琳, 等. 苹果汁褐变技术研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(3): 280-286.
- [11] 魏征, 祝美云, 邵建峰. 低糖苹果果脯微波渗糖工艺影响因素研究[J]. 食品科学, 2010, 31(18): 37-40.
- [12] WANG Jun, FANG Xiao-ming, MUJUMDAR A S, et al. Effect of high-humidity hot air impingement blanching (HHAIB) on drying and quality of red pepper (*Capsicum annum* L.)[J]. Food Chemistry, 2017, 220: 145-152.
- [13] WEIL M, SHUM C S, MEOT J M, et al. Impact of blanching, sweating and drying operations on pungency, aroma and color of *Piper borbonense* [J]. Food Chemistry, 2017, 219: 274-281.
- [14] 赵玉生. 植酸对菠菜汁苹果汁的护色实验研究[J]. 食品研究与开发, 2000, 21(3): 19-20.
- [15] 罗建学, 兰玉倩, 桂杨秀, 等. 低糖苹果脯加工工艺研究[J]. 食品工程, 2015(1): 25-27.
- [16] 董文宾, 张建华, 杨兆艳. 苹果(非油炸)干制品护色工艺的研究[J]. 食品科技, 2006, 31(5): 28-30.
- [17] 魏敏. 鲜切苹果酶促褐变及品质控制技术研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2011: 9.
- [18] 张巧, 陈振林, 潘中田, 等. 加热处理对大果山楂果肉褐变的影响[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(1): 173-176.
- [19] 陈丹, 李超, 王乃馨, 等. 超声波辅助制备低糖苹果脯的工艺研究[J]. 食品工业, 2016(2): 29-32.
- [20] MOGOL B A, YILDIRIM A, GÖKMEN V. Inhibition of enzymatic browning in actual food systems by the Maillard reaction products[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2010, 90(15): 2 556-2 562.
- [21] ZHANG Xin-chen, CHEN Feng, WANG Ming-fu. Impact of selected dietary polyphenols on caramelization in model systems[J]. Food Chemistry, 2013, 141(4): 3 451-3 458.
- [22] 易建华, 董新玲, 朱振宝, 等. 褐变抑制剂对苹果多酚氧化酶抑制机理研究[J]. 食品与机械, 2015, 31(4): 122-125.
- [23] 张建威, 卢千慧, 祝美云. 低糖雪莲果果脯微波烫漂护色和渗糖工艺优化[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(8): 249-251.
- [24] 李辉, 林河通, 林毅雄, 等. 干制荔枝果肉吸附等温线及热力学性质[J]. 农业工程学报, 2014, 30(22): 309-315.
- [25] 王子宇, 石天琪, 龙昌洲, 等. 超高温空气预处理对苹果片护色效果影响及其响应面优化[J]. 食品科技, 2018, 43(2): 51-58.
- [26] 王蕊, 高翔. 火龙果低糖果脯的加工工艺[J]. 食品与机械, 2004, 20(4): 48-49.

(上接第 211 页)