

运动员水盐代谢状态的评定方法

陈潇斐, 陈文鹤

摘要: 水盐代谢平衡是保证人体健康的基本条件, 是运动员维持良好机能状态和发挥最大运动潜能的必然要求。在日常生活及运动训练后评定运动员水盐代谢状态, 及时调整水盐摄入量为增进健康、促进运动能力的提高提供科学保障。目前存在多种评定水盐代谢状态的方法, 本文通过对各种方法优劣势的比较分析, 指出适合实验室条件或日常生活中评定运动员水盐代谢状态的方法, 并提出以汗液指标评定运动训练后体内水盐代谢状态的设想, 旨在为以后的科学研究选取合适方法提供依据。

关键词: 运动训练; 水盐代谢; 同位素稀释技术; 血液指标; 尿液指标

中图分类号: G804.7 文献标识码: A 文章编号: 1006-1207(2010)06-0051-04

Methods for Assessing Athlete's Status of Water-Electrolytes Metabolism

CHEN Xiao-fei, CHEN Wen-hei

(Shanghai University of Sport, Shanghai 200438 China)

Abstract: Water-electrolytes metabolism balance is essential to health. It plays a pivotal role in maintaining good functional status and bringing athlete's performance potential into full play. It is necessary to assess the water-electrolytes metabolism status in daily life and after training so as to adjust the intake volume of water and electrolytes for the aim of keeping fit and improving exercise ability. There exist several ways of assessing water-electrolytes metabolism status. The article compares the different ways and selects the method that is suitable for assessing water-electrolytes metabolism in laboratory and in daily life. It suggests using sweat indicators to assess the water-electrolytes metabolism status after training so as to provide appropriate methods for the scientific researches in future.

Key words: training; water-electrolytes metabolism; isotope dilution; blood index; urine index

人体内水平衡的神经体液调节是动态的也是相当复杂的过程, 会受到日常饮食中水盐的摄入、运动训练、汗液的丢失、肾脏功能、体液渗透压及体液在细胞内外的流动等因素的影响。因此, 水盐代谢状态的变化就像正弦波形一样, 基于一种平均水平而不断的上下波动^[1]。这种复杂的动态变化使我们产生疑问: 哪种体液测定方法可以很好的表现整个机体的水盐代谢状态? 目前有很多学者对这一问题展开了一系列的研究, 尽管在前三十年间众多研究著作中已提出超过十种的评定机体水盐代谢状态的技术和方法, 但是答案仍是不确定的, 因为在个体的日常自由生活状态下精确地记录水的摄入和排出量是相当困难的。即使在特定的状态下, 存在一种最优的评定方法, 但是另一问题便紧接而来: 能否以精确数值体现机体脱水、水盐代谢正常的程度。

1 评定运动员水盐代谢状态的意义

水虽然不像糖、脂肪、蛋白质可以在体内氧化供能, 但是水是仅次于氧的维持生命的必需物质。作为细胞反应及热平衡调节的基本溶剂, 水在人体内起着至关重要的作用。充足的水的摄入对增进机体健康、促进运动员最大能力的发挥运动水平以及防止热损伤来说是非常重要的。众多研究显示, 提供准确可靠的评定运动后机体水盐代谢状态的方法是必需的也是值得探讨的问题。以下研究事实均强调评定水盐代谢状态的重要

性: (1) 人体内水不停地进出细胞, 参与整个机体的体液循环, 并不断地通过肺、皮肤及肾脏丢失水。(2) 艰苦的劳动、剧烈运动以及热应激会导致机体水的摄入量显著高于在温和环境下工作时对水的需求量^[2]。(3) 饮食中水的摄入不足或过量会改变细胞体积, 从而影响到细胞功能, 例如: 细胞的代谢、兴奋性、物质的运输、激素的释放、细胞的增殖及细胞的死亡。(4) 在运动丢失大量的汗液之后摄入过多不含电解质的水, 会稀释全身的血液导致机体水异常。严重者会出现临床意义上的水中毒—低钠血症, 常见于马拉松、铁人三项、徒步旅行、军事演习等项目中^[3]。(5) 丧失 1 000 ml 水会使心率增加 8 次/min, 心输出量减少 1 L/min, 中心体温可增加 0.3℃。由此造成细胞内、外液丢失, 血容量受影响, 心脏负担加重, 运动能力下降, 对健康也造成威胁, 可导致肾脏损害, 引起肾缺血、少尿、无尿、血尿^[4]。

研究表明, 环境的变化、运动、饮食等都会对体内水平衡产生影响, 准确地评定运动员水盐代谢状态及内环境状况, 为增进健康、促进运动能力的提高提供科学保障。

2 评定运动员水盐代谢状态的方法

2.1 同位素稀释技术

口服已知浓度和体积的示踪剂, 在安静状态下经 3~4 h^[5]

收稿日期: 2010-09-26

第一作者简介: 陈潇斐, 女, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 运动训练生理生化监控。

作者单位: 上海体育学院, 上海 200438



示踪物质在体内达到平衡后取样检测样本中被标记物的浓度,可以计算出示踪物质被稀释的总量即体内水的总量。运动训练后再次取样,测标记物浓度。根据前后浓度的变化计算运动后体内水总量的变化。示踪剂通常选取D2O或H218O。利用这种方法检测体内水总量变化的最小检出率为0.8 L,体内水的变化受神经体液的调节,所以正常情况下浮动很小,从一天到第二天的检测结果只存在0.9%~1.0%的变化^[6]。笔者认为可以用这种方法来确定体内水总量的变化,也可以监测到小肠对摄入水的吸收、水的流动、分布及体内水平衡的情况。但是过量的重水对人体是有害的,而且同位素的选择会在一定程度上影响到测试的结果,因此这种方法不适合用于运动训练的长期监控。

2.2 生物电阻抗法

生物电阻抗分析法(BIA)的原理是把人体看做一个均质的具有固定横截面积的导体,将同一电流密度的微弱交流电信号导入人体时,电流会沿着电阻小、传导性能好的体液流动。电流通路的导电性取决于水分的多少,可用阻抗的测定值来表示。众多研究显示,机体的电阻抗特性与身体成分存在统计相关,所以可以用这种方法来间接测量身体成分。但是对于这一方法的原理假设来说,人体并不是一个均质的导体,所以此方法的检测具有一定程度的误差,会受到多种因素的影响,其中包括皮肤表面电极的位点、皮肤温度、皮肤血流、受试者的姿势、近期水摄入的情况、血浆渗透压及运动等^[7]。运动员运动训练后皮肤的温度升高机体排出大量的汗液,这将会在很大程度上影响到测试结果的准确性。

在20世纪90年代以前,BIA方法一般用单频信号测得样本的脂肪组织来求得净重,这种方法比较容易实现,但是它只是针对某一特定人群的测试方法,选择的样本必须属于同一体质类型的测试结果才更加可靠。众研究者经过对BIA的改良设计出了生物电阻抗频谱法(BIS)的体成分测量法。它是在一个频率范围内选取多个频点,根据人体的细胞外液电阻(R_e)、细胞内液电阻(R_i)和细胞膜电容(C_i)三元件模型,用测得的阻抗值推算人体的特征参数 R_e 、 R_i 和 C_i ,进而推算人体内水分的体积。BIS法克服了BIA法对样本的依赖性,但是由于它需要的信号频率多,因此硬件设计相对复杂,且成本高^[8]。

2.3 红细胞压积、血浆渗透压

红细胞压积是指细胞在血中所占的容积百分比,又称血细胞比容。正常人的红细胞压积值是:成年男性为40%~50%,成年女性为37%~48%,新生儿为55%。其测定值受取血部位及血管类型的影响。红细胞压积在评定运动后水盐代谢状态方面主要反映体液进出血液循环的情况。当红细胞压积数值增大时表明参与血液循环的体液减少,血液浓缩。当数值降低时表明有过多的体液进入血液循环,血液被稀释。

虽然红细胞压积可以用来评定机体体液的循环情况,但是血浆渗透压这一血液指标被更为广泛地运用于评定机体的水盐代谢状态。因为,细胞外渗透压对体液的调节有很大的影响,指标对体内水的变化更为敏感。Greenleaf JE^[9]在饮水摄入的控制机制研究中指出:渗透压增加1%会导致抗利尿激素分泌增加一倍。

血浆渗透压的测试采用一种渗压计,要求测试人员具备精湛的技术,可将变化系数控制在0.3%~0.4%。正常情况

下血浆渗透浓度为300 mOsm/(kg·H₂O)。值得强调的是,血浆渗透压的测试必须在取得样本后立即进行,否则环境温度、PH值变化、乳酸浓度、电解质与蛋白的结合等都会使渗透压降低,造成实验误差^[5]。

2.4 体重的变化

根据体重的变化来评定水盐代谢状态是一种常用的安全的评定方法,适合对于急性变化状况发生后,尤其是用于运动引起的脱水现象发生1~4 h后。当机体热量平衡时,体重的丢失量基本等于水分的流失量,因为在机体内没有其他成分的变化率和体重的变化率相似。但是要更精确的评定机体的水盐代谢状态,要控制大量的饮水、尿液及粪便的排泄、汗液的蒸发及衣服对汗液的吸收等因素。当体重的测定间隔时间超过4 h时,就需要考虑机体氧化生成水及呼吸丢失水等因素对体内水变化的影响。Lindsay B.^[10]等在针对耐力训练后体重变化预测体内水变化的精确度及相关性的研究中指出:体重变化与体内总水分变化的差值平均为0.07±1.07 kg($p=0.29$),没有差异显著性。体内总水分变化的测试采用重水(D2O)标记稀释技术,检测过程中严格控制尿液、汗液等因素的影响。统计结果显示, ΔBM 和 ΔTBW 组内相关系数为0.76,说明体重变化是预测体内水变化情况的有效的指标,通过运动前后体重的测量可以准确可靠地评定机体水盐代谢状态。

但是当测量周期持续几周或几个月时,这种方法便不再适用,因为在此期间脂肪组织的变化量是不可知的,其对体内水分的比例变化有很大的影响。RONALD J. MAUGHAN^[11]等人指出用体重的变化来评定体内水的变化程度是不科学的,因为体内水分的变化及体重的变化受到多种因素的影响。呼吸丢失的水分、体内物质氧化产生的水分、饮水的摄入、随汗液丢失的水分等使机体内水分的分布及量的计算复杂化,这些元素的变化会使检测结果出现很大的误差。

2.5 尿液指标

2.5.1 尿渗透压及尿比重

尿渗透压的测量和血液渗透压的方法一样,采用一种渗压计,在极其严格的实验条件下进行测试,要求测试人员有较好的技术以减少测量误差,而且要在取样后即刻进行测试。尿渗透压可以很好地反应肾脏的浓缩和稀释能力。尿的渗透浓度由于体内缺水或水过多等出现大幅度的变动。当运动丢失大量汗液导致体内缺水时,机体将排出渗透浓度高于血浆渗透浓度的高渗尿,即尿被浓缩。当体内水过多时,将排出渗透浓度低于血浆渗透浓度的低渗尿,即尿被稀释。正常人尿液的渗透浓度可在50~1 200 mOsm/(kg·H₂O)之间波动。

尿比重是指在4℃条件下尿液与同体积纯水的重量之比,取决于尿中溶解物质的浓度,与固体总量成正比,也是反应肾对尿的浓缩和稀释功能的客观指标。正常情况下,24 h混合尿的比重介于1.003~1.030之间,可由一种手持式比重计测得。如果摄入的水分过多或过少,或者是水和固体物的排出量发生显著变化时,尿的比重可以降至1.001,或升至1.035甚至更高。尿比重的变化主要受气温、训练强度、训练持续时间、泌汗、饮水等的影响^[12]。

尿渗透压和尿比重由几种相互作用的机制调节,所受影



响因素较多,其数值的变化只能大致地判断运动后机体处于水盐代谢平衡还是脱水状态。它们对于精确地评定机体水盐代谢状态的可靠性和稳定性还有待于进一步验证。

2.5.2 尿颜色

为了简化尿常规检查,一些研究者对尿液的颜色进行了一系列的研究,发现尿液颜色的变化和机体水盐代谢状态呈比例关系。将尿的颜色从淡黄色到褐绿色分为1~8个色差级别。正常的尿颜色为淡黄色,分数位于1~2之间,当缺水程度稍重时尿颜色为褐色,分数为5~6之间,大于6时代表机体严重脱水^[13]。

Lawrence E. Armstrong^[14]等人在早期做了一项测试,把尿的颜色(Ucol)、尿比重(Usg)及尿渗透压(Uosm)的变化与体重的变化趋势进行比较,研究这3项指标作为评定机体水盐代谢状态指标的可靠性。研究表明Ucol的变化趋势与体重丢失的变化最为相似,较Usg及Uosm更为可靠地

评定机体水盐代谢状态,Usg、Uosm与Ucol为高度相关($r=0.80$ 和 0.82)。但是有研究表明在运动量很大及大量丢失汗液的情况下,尿液指标并不能准确地反应机体的水盐代谢状态。因此,笔者认为,应将尿液及血液相关指标结合起来共同评价机体的水盐代谢状态更为有效和可靠,但是这样将会增加实验的复杂程度。

2.6 口渴感觉分级

当仪器和技术受限时,便可采用一种近似评定机体水盐代谢状态的方法即口渴主观感觉级别。口渴感觉级别可分为1~9个等级。1为一点也不渴,3为有点口渴,5为中等程度口渴,7为非常口渴,9为非常非常口渴^[15]。这种方法非常直接地反应机体对水的需求,但是受主观因素影响极大,所以只能用于日常生活中作为经常在脱水状态下运动、劳动或限制饮食的人群的参考标准,以提醒人们补充健康生活所需的水分。

表1 人体水盐代谢评定方法对实验条件的要求

Table 1 Experiment Requirements for Assessing Water-Electrolytes Metabolism of Human Body

方法	目的	仪器成本	时间要求	技术要求	准确性	实验对人体的影响
Isotope dilution	液体体积	高	低	严格	高	大
Posm	液体浓度	高	适中	严格	高	适中
Uosm	液体浓度	高	适中	严格	高	小
Hct	血浆容量变化	适中	适中	严格	高	适中
BIA BIS	液体体积	适中	高	适中	适中	小
Usg	体内水分变化	适中	严格	低	适中	小
Ucol	体内水分变化	低	低	低	适中	小
Δ BM	体内水分变化	低	低	低	适中	小
Rating of thirst	体内水分变化	低	低	低	低	小

3 如何选择合适的评估方法

在实验室中如何合适的水盐代谢状态的评定方法与在日常生活中的选择条件不同。在实验室条件下,要求选择准确性高、较可靠的指标。并且为了得到精确的研究结果,要求操作人员具备精湛的实验技术,实验设备的成本也相对较高一些。从表1来看,符合这些要求的有同位素稀释技术、血浆及尿液渗透压、红细胞压积。而BIA及BIS法虽然操作简单,但是需要严格地控制环境及受试者自身的影响因素,否则可靠性将会很低。在血浆渗透压和尿液渗透压的选择上来看,笔者认为血浆渗透压比尿液渗透压对机体水盐代谢状态的反应速度快,更能反应机体内部液体浓度的变化,适用于急性脱水后的检测。

在日常生活中,方法的选取对仪器成本要求较低,对操作技术要求简单。但是也要选择准确度较高、对人体危害较小的方法。符合这些要求的方法有尿液指标的检测及体重的变化。体重变化的监测用于急性脱水状态的评定更为有效,尿液指标可以用于日常生活中机体水盐代谢状态的长期监控,可以及时地了解机体的状态,对饮水的摄入进行有效的调整。

4 结论

评定运动员水盐代谢状态的多种方法中,并不存在评定的“金标准”,尤其是针对运动过程中出现的水盐代谢失衡现象,还没有一个最为精确的评价方法。评价方法的选择都需要考虑其准确性和可靠性,应根据实际情况筛选合适的方法。在实验条件允许的情况下,为了获得更准确的结果,建议将多个方法结合起来综合评定运动员水盐代谢状态。

5 展望

在炎热的环境下,运动过程中体温的升高使排汗成为了首要的散热方式,伴随汗液的流出而丢失的电解质的浓度也是可观的。那么能否以丢失汗液的离子浓度和汗液的量来间接地反映运动后机体水盐代谢的状况呢?不同部位汗液离子浓度及排汗率是否存在差异,部位汗液定性定量分析是否能反映机体整体的水盐代谢状态?运动训练后汗液离子浓度与血清离子浓度的变化是否具有相关性等,还有待于进一步的实验支持和论证。



参考文献:

- [1] Lawrence E. Armstrong, et al. (2010). Human Hydration Indices: Acute and Longitudinal Reference Values [J]. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 20:145-153.
- [2] Scott J. Montain, et al. (2007). Sweat Mineral-Element Responses During 7 h of Exercise-Heat Stress[J]. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 17:574-582.
- [3] Manz F, Wentz A. (2003). 24-h hydration status: parameters, epidemiology and recommendations [J]. *Eur J Clin Nutrition*, 57 (2):S10-S18.
- [4] 秦劭斐. 碳水化合物、水、电解质与运动饮料[J]. *体育科技*. 2000, 21 (1) :32-34.
- [5] Lawrence E. Armstrong, et al. (2005). Hydration Assessment Techniques [J]. *International Life Sciences Institute*, 10:S40-S54.
- [6] Bartoli WP, Davis JM, Pate RR, Ward DS, Watson PD. (1993). Weekly variability in total body water using 2H₂O dilution in college-age males[J]. *Medical Science Sports Exercise*, 25:1422-1428.
- [7] Berneis K, Keller U. (2000). Bioelectrical impedance analysis during acute changes of extracellular osmolality in man. *Clinical Nutrition*, 19:361-366.
- [8] 祁朋祥等. 一种基于生物电阻抗原理的人体成分测试装置的研制[J]. *生物医学工程研究*, 2009, 28 (3) :197~201.
- [9] Greenleaf JE, Morimoto T. (1996). Mechanism controlling fluid ingestion: thirst and drinking [J]. *Exercise and Sport*, 18 : 40-47.
- [10] Lindsay B. et al. (2009). Change in body mass accurately and reliably predicts change in body water after endurance exercise [J]. *European Journal Appl Physiology*, 105:959-967.
- [11] RONALD J. MAUGHAN. et al. (2007). Errors in the estimation of hydration status from changes in body mass[J]. *Journal of Sports Sciences*, 25(7): 797 - 804.
- [12] 冯连世、冯美云等. 《优秀运动员身体机能评定方法》[M]. 人民体育出版社. 2003:P102.
- [13] Lindsey E. Eberman. et al. (2007). Comparison of Refractometry, Urine Color, and Urine Reagent Strips to Urine Osmolality for Measurement of Urinary Concentration [J]. *Athletic Training & Sports Health Care*, 6(1):267-271.
- [14] Lawrence E. Armstrong. et al. (1998). Urinary Indices During Dehydration, Exercise, and Rehydration. *International Journal of Sport Nutrition*, 345-355.
- [15] Young AJ, Sawka MN, Epstein Y, Pandolf KB. (1987). Cooling different body surfaces during upper and lower body exercise[J]. *J Application Physiology*, 63:1218-1223.

(责任编辑: 何聪)