DOI:10.16016/j.1000-5404.2001.11.006
第23卷第11期 第三军医大学学报 Vol. 23, No. 11
2001年11月 ACTA ACADEMIAE MEDICINAE MILITARIS TERTIAE Nov. 2001

文章编号:1000-5404(2001)11-1267-04

论著

长期饮用纯净水、净化水、自来水的大鼠血清矿物元素水平比较

舒为群[1],赵 清[1],李国平[1],龙腾锐[2],郭劲松[2],李 平[3] ([1]第三军医大学预防医学系环境卫生学教研室,重庆 400038;[2]重庆大学城市建设学院,重庆 400045;[3]中国石化一坪润滑油质量检测中心,重庆 400045)

提 要:目的 比较长期饮用纯净水、净化水及自来水(煮沸并冷却)后3组大鼠血清中常量及微量元素水平的差别。方法 ①按照国家卫生标准检测方法GB17324-1998,对3种饮用水的化学性状及矿物元素进行了分析;②Wistar大鼠从出生前就分别饮用上述3种饮水,直至出生后20周。采用以ICP-AES为主的方法测定其血清中15种常量及微量元素的水平。结果 自来水及净化水的矿物元素水平接近,但纯净水的绝大部分矿物元素水平明显低于自来水及净化水。长期饮用纯净水的雌性大鼠血清中镁元素水平显著低于饮用自来水的雌性大鼠,3组雄性大鼠血清中未发现有矿物元素水平的差别。结论 长期饮用纯净水可能会导致雌性动物体内镁元素的缺乏。

关键词:纯净水;净化水;自来水;血清;矿物元素
中图法分类号:R123;R151.3 文献标识码:A

Comparison of serum levels of mineral elements in rats feeding with purified-water, filtered-tap-water and boiled-tap-water respectively for 20 weeks

SHU Wei-qun, ZHAO Qing, LI Guo-ping, LONG Ten-rui, GUO Jin-song, LI Ping (Department of Environmental Hygiene, Third Military Medical University, Chongqing 400038, China)

Abstract: Objective To compare the differences of serum mineral element levels in rats feeding with purified-water(PW), filtered-tap-water (FTW) and boiled-tap-water(BTW) respectively for a long term. Methods The chemical quality and contents of mineral element were analyzed with the methods of National Unified Standard GB17324-1998. A total of 40 rats with 2-weeks pregnancy were divided into 3 groups and fed with different types of water described above. The newborn rats were fed with the same water as their mothers for 20 weeks and then killed. Their serum levels of macro- and micro-element were determined with inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry (ICP-AES) method. Results The contents of total hardness and most of mineral elements in FTW and BTW were in approximation, but those in PW were at very low levels compared with the others. Drinking PW significantly reduced the serum level of magnesium in female rats. Conclusion Drinking PW for a long time could result in the deficiency of magnesium in females.

Key words: purified-water; filtered-tap-water; boiled-tap-water; mineral element; serum

随着水污染的日益严重,饮用水的安全性已成为人们日益关心的问题。寻求其他的饮用水种类来代替自来水目前已成为时尚。在过去的几年中,瓶装或桶装纯净水的销量以每年成倍的速度在增长。目前在中国及美国的一些城市,至少1/5的家庭在使用纯净水或通过家用净水器获得的净化水作为饮用水,以取代传统的自来水。将自来水烧开后饮用是中国人传统的主要饮水方式,而纯净水和净化水与这一传统饮水类型相比,水质上具有一定的差别,特别是矿物元素的含量有不同程度的下降。由于许多矿物元素,如镁、钠、钙等对维持生命正常活动具有重要作用,因而长期饮用低矿化度饮用水对健康造成的影响值得全面评价。本研究在对上述3种饮用水的水质进行分析的基础上,观察比较大鼠长期饮用后血清中矿物元素水平的改变,目的在于了解上述3种饮用水可能的生物学效应,为公众选择有利健康的饮用水提供依据。

基金项目:国家自然科学基金资助重点项目(59838300)
作者简介:舒为群(1963-),女,湖南省沅陵市人,博士,副教授,主要从事环境卫生学与环境毒理学研究。电话:023-68752294
收稿日期:2001-03-20;修回日期:2001-06-15

1 材料与方法

1.1 饮用水来源

纯净水由国内某著名品牌的厂家提供,其主要处理步骤为:砂滤→活性碳过滤→超滤→反渗透→臭氧处理。净化水是将自来水经家用净水器过滤而得,其主要处理步骤为:柱状活性碳→纤维活性碳→中空纤维柱过滤。由重庆市政供水系统提供的管道自来水在本实验中作为对照,按照中国人习惯,在大鼠饮用前用铝壶烧开并放至冷却。

1.2 动物及处理

怀孕2周的孕鼠40只购自第三军医大学附属大坪医院动物所。在本实验室观察10 d无异常后按体重以随机数字表法随机分为3组(各组平均体重经单因素方差分析显示差异不显著),分别饮用纯净水,净化水以及自来水,并饲养在塑料笼具中(每笼1只)。仔鼠出生后每只母鼠所带仔鼠数目控制在8只以内,每组仔鼠数目总数为50~60只。断奶后去掉母鼠,控制每组仔鼠的性别比例为雌雄各半,继续分别饮用3种不同的饮水至鼠龄20周。饲料及饮水均自由摄取,每天更换。全部饲料均按中华人民共和国国家标准"实验动物全价营养饲料"(GB14924-94)的要求一次性配制而成。饲料在动物食用前均在

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

－20℃条件下保存。整个观察期间大鼠饲养条件控制在50%～70%湿度及(22±2)℃温度。

1.3 水质指标分析

饮用水的化学性状按照国家标准“生活饮用水检测方法”(GB17324-1998),采用不同的手段进行了分析。总硬度、总溶解性固体、硫酸盐、氯化物、硝酸盐以及化学需氧量采用经典化学手段测定,氟化物水平采用离子选择性电极测定。所有阳性元素均按以下介绍的ICP-AES方法进行检测。

1.4 利用电感耦合等离子体原子发射光谱法(Inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry, ICP-AES)方法检测血清及饮水中的矿物元素

饮用不同的水至鼠龄20周后,大鼠处死,立即于股动脉放血,收集血液并分离血清。血清样品利用压力控制的微波加热仪(型号MDS-2000,美国)在消化灌内进行酸式消化后,采用偶合离子发射光谱仪ICP-AES(型号JY 38 plus,美国)测定所有的阳性离子。每次测定时均采用标准物质GBW09135(用于分析的人血清无机物)控制准确率及回收率。水样品除不需消化以外,测定方法与血清样品相同。

1.5 统计学分析

资料采用单因素方差分析,雌雄动物分别进行分析比较。

2 结果

从表1可以发现,除了由于采用铝壶烧水的原因,使自来水中铝元素含量较高以外,自来水其他各指标均在国家现行饮用水卫生标准(BG5749-85)的容许范围。净化水除了溶解性总固体(TDS)有较大幅度降低外,其他指标均与自来水相接近。

令人瞩目的是纯净水水质上的显著改变。在已分析的指标中,除了Cu、P、Mo、Ni低于检测灵敏度以外,大部分均显示严重下降,特别是总硬度,氯化物、硫酸盐、溶解性总固体以及几乎所有的有利健康的矿物元素如Ca、Mg、K、Na、Fe、Zn、Sr、Li、Cr等。然而,一些有毒重含属元素的下降幅度倒不如有利健康的矿物元素的下降幅度大。特别是Hg在纯净水的水平甚至高于其在净化水及自来水的水平。

表1 三种饮用水的化学性状及矿物元素水平差别(mg/L)

Tab 1 Differences of chemical qualities and mineral element contents in 3 types of drinking water(mg/L)

Parameters	Boiled-tap-water	Filtered-tap-water	Purified-water
Chemical parameters			
pH	8.5	7.1	6.2
Total hardness$_{CaCO_3}$	104	160	20
Total dissolved solids	265	65	5
Chloride	17	19	4
Sulfate	35	31	0.2
Nitrate	0.22	1.13	0.05
Macro-and micro-elements			
Ca	22.970	42.400	0.370
Mg	9.730	11.780	0.015
Na	10.820	11.560	0.15
K	0.820	0.890	＜0.020
Mn	0.002	0.003	0.001
Fe	0.055	0.043	0.019
Zn	0.040	0.150	0.004
Cr^{3+}	0.010	0.006	＜0.005
Al	0.470	0.083	0.006
Sr	0.490	0.540	0.001
Li	0.009	0.011	＜0.002
Cu	＜0.004	＜0.004	＜0.004
P	＜0.050	＜0.050	＜0.050
Mo	＜0.005	＜0.005	＜0.005
Ni	＜0.010	0.015	＜0.010
Toxicity parameters			
F	0.139	0.110	0.042
As	0.034	0.021	0.001
Hg	0.00002	0.00002	0.00005
Cr^{6+}	0.0087	0.0042	0.0024
Cd	0.0008	0.0008	0.0006
Pb	0.018	0.008	0.002

表2显示各组大鼠血清矿物元素水平。可以发现在雄性动物,虽然某些元素水平各组之间有程度不等的差别,但它们均无统计学上的意义。对于雌性动物,发现镁浓度在纯净水组,铝浓度在净化水组,均显著低于它们在自来水组的浓度,其他元素无论在纯净水与自来水之间、净化水与自来水之间、纯净水与净化水之间均无显著性差别。

表2 三种饮用水处理后大鼠血清中矿物元素水平的差别(μg/ml)[α]

Tab 2 Differences of serum macro- and micro-element levels in rats feeding with different types of water (μg/ml)[α]

Element	Male			Female		
	Purified-water	Filtered-tap-water	Boiled-tap-water	Purified-water	Filtered-tap-water	Boiled-tap-water
Na[b]	0.35±0.02	0.34±0.02	0.34±0.02	0.35±0.03	0.34±0.03	0.34±0.03
K	281.40±31.40	293.36±37.83	277.30±26.78	271.90±33.23	283.55±34.13	287.75±15.97
P	170.00±11.15	157.18±24.20	160.10±17.41	159.80±13.16	154.36±23.59	157.25±22.89
Ca	149.00±21.63	131.60±9.82	142.20±29.55	131.60±11.55	139.36±12.71	129.75±6.32
Mg	29.45±4.65	28.94±3.51	28.72±2.50	26.94±1.90 *	29.53±1.68	30.19±1.15
F	22.78±19.63	11.25±8.45	23.13±22.80	22.25±18.94	12.97±9.98	32.08±25.41
Fe	13.26±8.78	12.76±4.89	11.91±5.15	13.51±18.94	11.92±7.71	10.29±2.23
Al	4.06±2.05	6.57±4.51	5.29±2.91	3.93±1.69	2.94±1.97 *	5.90±2.24
Cr	5.57±0.93	4.30±0.89	4.85±0.77	4.43±0.49	5.86±0.48	3.46±0.37
Zn	2.39±0.53	2.64±1.37	2.56±0.75	2.41±0.72	2.81±1.00	2.36±1.05
Cu	1.97±0.65	1.92±1.09	1.93±1.08	2.13±0.32	2.22±0.93	2.60±0.75
Ni	1.25±0.52	0.10±0.07	0.28±0.08	0.43±0.11	0.28±0.12	0.30±0.15
Sr	0.25±0.10	0.21±0.06	0.20±0.08	0.18±0.04	0.18±0.03	0.19±0.05
Mo	0.17±0.05	0.12±0.03	0.27±0.08	0.11±0.05	0.12±0.04	0.14±0.05
Li	0.08±0.03	0.05±0.02	0.07±0.02	0.06±0.02	0.05±0.01	0.06±0.01

α: values are means±SD and those marked with an asterisk different significantly from the values of BTW group($P<0.05$); b: The unit of Na is mg/ml

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3　讨论

众所周知矿物元素在机体功能中具有非常重要的作用。如镁可防止猝死, 钠与高血压的发生有关, 钙减少骨质疏松的发生率。另外, 微量无素铬可以降低血液中脂肪酸及胆固醇的浓度, 而铜在血红蛋白的形成中起作用。锌有助于正常的免疫系统, 味觉和嗅觉的功能, 它还有助于机体组织的愈合过程。

长期饮用低硬度、低矿物质含量的软水, 甚至极软水是否会造成机体常量及微量元素的缺乏, 目前有两种意见相左的观点。部分人认为在当今水源污染普遍严重, 现有自来水生产工艺不仅难以去除有潜在危害的微量有机污染物, 氯化消毒反而会带来新的卤代烃类污染, 对自来水进行进一步的深度处理可使有害污染物的含量大大降低。虽然矿物质的含量上也有大幅度的下降, 但机体吸收矿物质的途径是以食物为主, 饮水中的矿物质对机体健康影响不大。也有人认为, 含矿物质较少甚至不含矿物质的净化水或纯净水具有所谓的"饥饿"性质, 其强大的溶解能力能带走机体固有的矿物质, 或影响食物中微量元素的摄取。因此, 长期专一饮用可能会破坏机体某些元素的代谢平衡, 从而诱发机体各种生理功能的改变。有趣的是, 虽然这两种观点在商界及媒体中争论激烈, 但迄今为止尚缺乏对长期饮用软水(或极软水)的综合健康效应的实验研究报道。

本研究血清测定的结果表明, 在雌性动物, 相对于自来水组, 纯净水组的镁水平有显著性下降。由于本研究中所有动物均喂以同样的且符合国家标准的饲料, 因而有理由相信镁在血清中的差别是由于饮用水中镁含量的差别而引起的。这个结果与 Rubenowitz 等[1]最近的报道相吻合, 利用经口负荷试验他们发现饮用水中的镁可以显著影响人体镁状态。在水中的镁, 表现为水溶性离子, 比食物中的镁更容易被吸收[2]。其他报道也显示镁在水中的生物利用率更强, 对相对缺镁的人具有显著的影响[3]。以往研究显示水中镁浓度与镁在心肌、主动脉及骨骼肌中的浓度呈正相关关系[4,5]。

镁是仅次于钾的体内第二丰富的细胞内阳离子, 它参与影响膜及线粒体完整性的几种生物学过程, 比如腺嘌呤三磷酸酶(钠钾 ATP 酶)。近年来, 许多研究证实饮水中镁浓度与高血压[5], 动脉粥样硬化[6], 缺血性心脏病[3], 急性心肌梗死[7], 以及脑血管病之间具有负相关。另外, 镁也是骨矿物质形成所必不可少的。近期的报道还提出镁是人类某些肿瘤, 例如胃癌、乳腺癌等的有效保护因子。

镁是 99%的细胞内离子, 只有严重缺乏时才能在血清分析中发现。与其相似的是, 大多数在本研究中检测的元素也是细胞内离子, 虽然暂时没有发现在饮用 3 种水的大鼠血清之间显著性差别, 但并不能排除它们在整个机体中已处于缺乏状态的可能性。

几项有关元素代谢的动物实验提示水的适当硬度对于防止从胃中吸收水中有毒金属具有显著影响。例如, 在软水区域由于水中缺钙, 特别是当食物中钙较低时, 小鼠从水中摄取的铅将增加[8]。其他实验研究也显示, 钙浓度的增加可以减少动物对水中有毒重金属镉的吸收[9]。本研究显示纯净水为极软水(总硬度仅为 20), 但有毒重金属的水平并不比自来水及净化水低, 某些元素甚至有所增加, 例如汞在纯净水中的含量反而高于自来水及净化水。这就意味着长期饮用纯净水有可能吸收更多的有毒金属元素。在本研究中铝元素在 3 种水的含量分别是自来水> 净化水> 纯净水, 但在动物血清中自来水组的铝元素含量仅仅显著性高于净化水组, 并不显著性高于纯净水组, 也提示我们应该密切关注这一潜在的问题。

汞等某些有毒重金属在纯净水中下降幅度不显著, 甚至有所升高的原因, 作者认为可能是由于这些元素在自来水中的本底含量很底, 因而比较难于观察到明显的下降幅度。纯净水生产环节的污染也可能是原因之一。确切的原因及其可能的危害尚待进一步研究。

铝元素具有神经毒性, 是公认的早老性痴呆的高度危险因子。本研究显示使用铝制水具可以显著增加水中的铝浓度, 长期饮用高铝含量的水可使动物血清中铝元素水平显著升高, 提示我们应该尽量避免使用铝制水具或食具进行饮水或食物的处理。

通过本研究发现, 自来水及净化水的矿物元素水平较为接近, 但纯净水矿物元素含量明显低于自来水及净化水。长期饮用纯净水可能会导致雌性大鼠血清镁元素水平的降低; 鉴于镁在维持机体健康, 特别是心脑血管正常功能方面的重要作用, 该发现提示我们必须关注长期饮用纯净水后心脑血管疾病发生的问题。

参考文献:

[1] Rubenowitz E, Axelsson G, Rylander R. Magnesium in drinking water and body magnesium status measured using an oral loading test[J]. Scand J Clin Lab Invest, 1998, 58(5): 423－428.

[2] Durlach J, Bara M, Guiet-Bara A. Magnesium level in drinking water: its importance in cardio-vascular risk[A]. In: Itokawa Y, Durlach J, edited. Magnesium in health and disease[M]. London: John Libbey, 1989. 173－182.

[3] Durlach J, Bara M, Guiet-Bara A, *et al*. Magnesium level in drinking water and cardiovascular risk[J]. Magnesium, 1985, 4(1): 5－15.

[4] Landin K, Bonevik H, Rylander R, *et al*. Skeletal muscle magnesium and drinking water magnesium level[J]. Magnesium Bull, 1989, 11(2): 177－179.

[5] Yang C Y, Chiu H F. Calcium and magnesium in drinking water and risk of death from hypertension[J]. Am J Hypertens, 1999, 12(9 pt 1): 894－899.

[6] Sherer Y, Shoenfeld Y, Shaish A, *et al*. Suppression of atherogenesis in female low-density lipoprotein receptor knockout mice following magnesium fortification of drinking water: the importance of diet[J]. Pathobiology, 2000, 68(2): 93－98.

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

[7] Rubenowitz E, Axelsson G, Rylander R. Magnesium in drinking water in relation to morbidity and mortality from acute myocardial infarction[J]. Epidemiology, 2000, 11(4): 416—421.
[8] Van Barneveld A A, Van Den Hamer C J A. Influenza of Ca and Mg on the uptake and deposition of Pb and Cd in mice[J]. Toxicol Appl Pharmacol, 1985, 79(1): 1—10.
[9] Koo S I, Fullmer C S, Wasserman R H. Intestinal absorption and retention of 109 Cd: Effects of cholecalciferol, calcium status and other variables [J]. J Nutr, 1978, 108: 1 812—1 322.

（编辑 薛国文）

个案与短篇

文章编号：1000-5404(2001)11-1270-01

30%体表面积Ⅲ度烧伤大鼠肺泡巨噬细胞吞噬功能的动态变化

Dynamic changes of phagocytosis of alveolar macrophages after 30% TBSA Ⅲ scald in rats

李文军[1]，梁晚益[1]，李二红[2]，杨宗城[1]（[1] 第三军医大学附属西南医院烧伤研究所，重庆 400038；解放军 159 医院心血管内科，驻马店 463000）

单核-巨噬细胞系统通过释放细胞因子、炎症介质而在严重烧伤后全身炎症反应综合征（Systemic inflammatory response syndrome, SIRS），多器官功能障碍综合征（Multiple organ dysfunction syndrome，MODS）发生中起重要作用。本研究通过建立30%TABS Ⅲ度烫伤大鼠模型于伤后 1、3、6、12、24 h，从支气管肺泡灌洗获取肺泡巨噬细胞，体外测定肺泡巨噬细胞吞噬鸡红细胞能力，探讨烧伤后肺泡巨噬细胞激活状态与 SIRS、MODS 发生的关系。

1 材料与方法

1.1 动物致伤模型及分组

健康成年 Wistar 大鼠 48 只（本校动物中心提供）。体重（220±20）g，领回后喂养 4～5 d 以适应环境分为正常对照组（n= 8）和烫伤组在（n= 40）动物麻醉脱毛后，烫伤组置脱毛区 92 ℃水浴 18 s，造成 30% 体表面积（Total body surface areas, TBSA）Ⅲ度烫伤（病理切片证实），分别于烫伤后 30 min、9 h 腹腔注射乳酸林格氏液，每次每 1% 烧伤面积 2 ml/kg。正常对照组不烫伤，不补液，动物脱毛后 1 h 活杀行支气管肺泡灌洗。烫伤组动物分别于伤后 1、3、6、12、24 h 放血活杀，行支气管肺泡灌洗。

1.2 肺泡巨噬细胞体外吞噬功能试验

1.2.1 鸡红细胞悬液配制 取洁净鸡血按 1∶5 比例保存在 Alsever's 液中，放 4 ℃冰箱保存。临用时取所需量，将鸡红细胞用生理盐水洗涤 3 次，2 000 r/min 离心 5 min，弃上清液，压积细胞用生理盐水配成 5% 鸡红细胞悬液。

1.2.2 肺泡巨噬细胞悬液制备 大鼠放血活杀，经气管插管注入盐水行写量支气管肺泡灌洗，每次 30 ml/kg，弃上清，沉淀细胞用 10% 小牛血清的 Hanks 液配成悬液，浓度为 2×10^6/ml。

1.2.3 孵育及涂片 将 1 ml 巨噬细胞悬液与 0.5 ml 5% 鸡红细胞悬液混匀，将此混合液加至洁净的载玻片上，每片加 0.3～0.5 ml，然后水平放置温盒内，于 37 ℃孵育 30 min。取出用生理盐水缓缓冲洗，晾干，即成涂片。用瑞氏-姬姆萨染液染色后观察。

1.2.4 镜检与计数 用油镜观察，每张涂片取 3 个不同区域，每区域数 100 个巨噬细胞，取其平均值。计算巨噬细胞吞噬百分率及吞噬指数。

$$\text{吞噬率}(\%)=\frac{\text{已吞噬的巨噬细胞数}}{\text{巨噬细胞总数}}\times100\%$$

$$\text{吞噬指数}=\frac{\text{被吞噬的鸡红细胞数}}{\text{巨噬细胞总数}}$$

1.3 统计学处理

各数值采用 $\bar{x}\pm s$ 表示，各组间比较采用方差分析。

2 结果

从表 1 看出，严重烫伤后肺泡巨噬细胞吞噬功能在 1～3h 增强，吞噬率、吞噬指数升高（$P<0.01$），表明肺泡巨噬细胞活化；在 6 h 后肺泡巨噬细胞吞噬功能明显抑制，吞噬率、吞噬指数逐渐下降（$P<0.01$），24 h 时降至最低。

表 1 30%体表面积Ⅲ度烧伤大鼠肺泡巨噬细胞吞噬功能的动态变化（$\bar{x}\pm s$）

	对照组	伤后时间				
		1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
吞噬率(%)	37.3±4.04	66.4±7.52*	70.4±5.48*	11.5±4.6*	10.4±4.88*	2.6±1*
吞噬指数	6.6±0.8	7.7±4.38	11.9±4.48*	2.5±1.6*	2.4±0.96*	1.4±0.48*

*：$P<0.01$ 与对照组比较

3 讨论

Bone 认为机体在细菌毒素、创伤刺激下，不仅释放促炎介质（IL-1, IL-6, IL-8, TNFa, PAF）等，引起全身炎症么应综合征（SIRS），同时机体也大量释放内源性抗炎介质（IL-4, IL-10, IL-11, 可溶性 TNFa 受体，IL-1 受体拮抗剂，转化生长因子等，引发代偿性抗炎症反应综合征（Compensatory anti-inflammatory response syndrome, CARS）。机体炎症反应和抗炎反应作为对立的双方，正常时两者保持平衡，内环境保持恒定。炎症反应占优势时，表现为 SIRS；抗炎反应占优势时，表现为 CARS。无论是 SIRS，

作者简介：李文军（1963— ），男，河南省驻马店市人，博士，主治医师，主要从事吸入性肺损伤方面的研究，发表论文 10 篇。电话：（023）68754148-8019

收稿日期：1999-11-01；修回日期：2000-01-13

（下转 1272 页）

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net