· 实验研究 ·

水质对小鼠肥胖相关指标影响*

陈荣河，陈楚，沈惠真，许连升，阮国洪

摘　要：目的　探讨水质对小鼠肥胖相关指标的影响。**方法**　分别测定自来水、纯净水、高偏硅酸天然矿泉水的水质指标：溶解性总固体（TDS）、pH 值、氧化还原电位（ORP）、电导率（EC）、偏硅酸、钙、镁；将 60 只 ICR 小鼠随机分为 3 组，每组 20 只，雌雄各半，分别用自来水（对照组）、矿泉水和纯净水喂养，90 d 后眼球取血，测定小鼠体重、Lee's 指数、脂肪系数、肝脏系数、血清总胆固醇（TC）、甘油三酯（TG）、低密度脂蛋白胆固醇（LDL-C）、高密度脂蛋白胆固醇（HDL-C）。**结果**　3 种饮用水水质检测指标各不相同（$P<0.05$）；与对照组比较，纯净水组小鼠体重、Lee's 指数有上升倾向，雌性小鼠 TC、LDL-C 含量［分别为（2.14 ± 0.29）、（0.22 ± 0.032）mmol/L］明显下降，差异有统计学意义（$P<0.05$）；与对照组比较，矿泉水组雌性小鼠 HDL-C 含量有上升倾向，而其他肥胖相关指标出现下降趋势，尤以 LDL-C 含量［（0.23 ± 0.031）mmol/L］下降明显，差异有统计学意义（$P<0.05$）；雌性小鼠血清 LDL-C 含量与水 ORP 之间的偏相关系数为 0.479，呈正相关（$P<0.05$）。**结论**　水质可能对雌性小鼠血脂代谢产生影响，特别是水质指标 ORP。

关键词：水质；肥胖；氧化还原电位（ORP）；总胆固醇（TC）；低密度脂蛋白胆固醇（LDL-C）

中图分类号：R 114　**文献标志码：**A　**文章编号：**1001-0580(2014)04-0454-03　DOI：10.11847/zgggws2014-30-04-22

Effect of water quality on obesity-related indicators in mice

CHEN Rong-he, CHEN Chu, SHEN Hui-zhen, et al (*Department of Nutrition and Health Care, Fujian Medical University, Fuzhou, Fujian Province* 350108, China)

Abstract: Objective　To explore the effect of water quality on obesity-related indicators in mice. **Methods**　The water quality parameters were measured for tap water, pure water and high metasilicate mineral water, respectively, and the parameters included total dissolved solids (TDS), pH, oxidation reduction potential (ORP), electric conductivity (EC), metasilicic acid, calcium, and magnesium. Sixty ICR mice (half male and half female) were randomly divided into three groups and fed with tap water (control group), pure water, and mineral water, respectively. After 90 days, blood samples were taken from the eyeballs of the mice. The contents of serum total cholesteral (TC), triglyceride (TG), low-density lipoprotein cholesterol (LDL-C), high-density lipoprotein cholesterol (HDL-C), body weight, Lee's index, liver coefficient, and fat coefficient were evaluated. **Results**　The water quality parameters of the three kinds of water were diverse from each other ($P<0.05$). Compared with the control group, an increasing trend in body weight and Lee's index in pure water group was observed, and the serum TC (2.14 ± 0.29 mmol/L) and LDL-C (0.22 ± 0.032 mmol/L) in female mice decreased significantly ($P<0.05$). Compared with the control group, an increasing trend in serum HDL-C was observed in female mice of mineral water group, but other obesity-related indicators had a decreasing tendency, particularly a significant decline in serum LDL-C (0.23 ± 0.031 mmol/L) was observed ($P<0.05$). In addition, a significant positive correlation emerged between the serum LDL-C and ORP in water ($P<0.05$) in the female mice. **Conclusion**　Water quality may has biological effects on blood lipid metabolism in female mice, especially ORP.

Key words: water quality; obesity; oxidation reduction potential; total cholesterol; low density lipoprotein cholesterol

水乃生命之源、健康之本，水质决定体质，体质决定健康。世界卫生组织的一份报告显示，人类 80% 的疾病与水有关[1]。肥胖不仅是一种疾病，而且是各种慢性病的危险因素，目前已经成为一个严峻的全球公共卫生问题[2]。本质上肥胖就是一种营养代谢障碍性疾病[3]，水作为六大营养素之首，探讨其对机体肥胖的影响十分必要。本研究拟以 3 种不同水质的饮用水（自来水、纯净水、矿泉水）饲喂动物，观察水质对机体肥胖相关指标的影响，结果报告如下。

1　材料与方法

1.1　*实验动物*　3 月龄清洁级 ICR 小鼠 60 只，雌雄各半，雄性体重（36 ± 2）g，雌性体重（23 ± 2）g，由福建医科大学实验动物中心提供，许可证号：SCXK（闽）2012 – 0001。饲养于清洁级动物房，环境温度

* **基金项目：**福建省科技计划重大项目（2012Y4004）
作者单位：福建医科大学营养与保健医学系，福建 福州 350108
作者简介：陈荣河（1989 – ），男，福建人，硕士在读，研究方向：饮水与健康。
通讯作者：阮国洪，E-mail：ghruan5104@163.com
数字出版日期：2014 – 3 – 12 9:27
数字出版网址：http://www.cnki.net/kcms/detail/21.1234.R.20140312.0927.015.html

为(22 ±2)℃,相对湿度为(55 ±15)%。维持饲料(北京华阜康生物科技股份有限公司)。

1.2　主要试剂与仪器　自来水(福州市政供水),纯净水(福建医科大学药理学院实验室),高偏硅酸天然矿泉水(福建省润和矿泉水有限公司),所有饮用水均符合相应的国家饮用水水质标准。ERC2012 多参数水质检测仪(北京东方瑞泽商贸有限公司),JM20002 电子天平(徐姚纪铭称重校验设备有限公司)、VIS-7220N 可见分光光度计(北京瑞利分析仪器公司)、TGL-16G 台式高速离心机(上海医用分析仪器厂)、TAS986 火焰原子吸收分光光度计(北京普析通用仪器责任有限公司)、AU2700 全自动生化分析仪(日本 OLYMPUS 公司)。

1.3　分组与处理　小鼠适应性喂养 1 周,按体重随机分为 3 组,自来水组(对照组)、纯净水组、矿泉水组,每组 20 只,雌雄各半,各组小鼠分别自由饮用相应饮水,每 2 周称重 1 次,实验周期为 90 d。实验结束时,各组小鼠禁食不禁水 12 h 后,称重,颈椎脱臼处死,取材,检测各种指标。

1.4　指标与方法

1.4.1　水质检测　溶解性总固体(total dissolved solids, TDS)、pH 值、氧化还原电位(oxidation reduction potential, ORP)、电导率(electric conductivity, EC)、偏硅酸、钙、镁等。各取 10 个水样进行水质指标测定,其中 TDS、pH 值、ORP、EC 由多参数水质检测仪测定;偏硅酸由可见分光光度计测定,钙、镁离子由火焰原子吸收分光光度计测定[4]。

1.4.2　脏器指数测定　(1)Lee 's 指数:记录解剖前小鼠鼻尖到肛门长度,记为体长,计算 Lee's 指数。Lee′s 指数 $=\sqrt[3]{m}\times10^3/L$,式中:m 为小鼠体重(g),L 为小鼠体长(cm)。(2)脂肪系数:取生殖器周脂肪与肾后脂肪,称质量,计算脂肪系数。(3)肝脏系数:剥离肝脏后,立即称取质量,计算肝脏系数。

1.4.3　血脂测定　小鼠处死前,摘眼球取血 0.5 mL,血液离心后取血清 200 μL,用全自动生化分析仪测定总胆固醇(total cholesterol, TC)、甘油三酯(triglyceride, TG)、低密度脂蛋白胆固醇(low density lipoprotein cholesterol, LDL-C)、高密度脂蛋白胆固醇(high density lipoprotein cholesterol, HDL-C)含量。

1.5　统计分析　实验数据用 $\bar{x}\pm s$ 表示,采用 SPSS 20.0 进行统计分析:多组比较时,若方差齐,则运用单因素方差分析,两两比较采用 Student-Newman-Keuls 检验,若方差不齐,采用 Kruskal-Wallis H 检验;相关性分析运用 Spearman 秩相关及偏相关分析,检验水准为 $\alpha=0.05$。

2　结　果

2.1　水质指标分析(表 1)　3 种饮用水之间各项水质指标差异均有统计学意义($P<0.05$)。除 pH 值、ORP 外,纯净水各项指标均低于自来水与矿泉水;除 ORP 值外,矿泉水各指标均高于纯净水和自来水;自来水 pH 值最低,呈偏酸性,但其 ORP 最高。

表 1　3 种饮用水水质指标比较($\bar{x}\pm s, n=10$)

水类型	pH 值	TDS(ppm)	EC(ms/cm)	ORP(mv)	钙(mg/L)	镁(mg/L)	偏硅酸(mg/L)
自来水	6.50 ±0.007	80.00 ±0.00	0.11 ±0.0000	416.17 ±36.05	4.67 ±1.09	1.36 ±0.12	14.57 ±0.20
纯净水	6.90 ±0.069[a]	1.67 ±4.08[a]	0.0017 ±0.0041[a]	335.50 ±7.18[a]	<0.05[a]	0.04 ±0.10[a]	<1.00[a]
矿泉水	7.37 ±0.073[ab]	161.67 ±4.08[ab]	0.23 ±0.0082[ab]	297.50 ±3.78[ab]	17.60 ±0.36[ab]	4.88 ±0.87[ab]	90.75 ±1.48[ab]

注:与自来水比较,a $P<0.05$;与纯净水比较,b $P<0.05$。

2.2　不同饮用水对小鼠体重影响　在整个观察期间各组小鼠体重均呈上升趋势,尤其是在第 0 ~42 d 内体重增长迅速,表明各组小鼠生长发育良好,随后体重变化处于一个相对平稳期。在喂养 0、14、28、42、56、70、84、90 d 时,各组小鼠体重差异均无统计学意义($P>0.05$)。尚不能认为长期饮用 3 种不同饮用水对小鼠体重具有影响。

2.3　不同饮用水对小鼠 Lee's 指数、脂肪系数及肝脏系数影响(表 2)　各组小鼠 Lee's 指数、脂肪系数、肝脏系数的差异均无统计学意义($P>0.05$),提示尚不能认为长期饮用 3 种不同饮用水对小鼠 Lee's 指数、脂肪系数、肝脏系数具有影响。

2.4　不同饮用水对小鼠血脂水平影响(表 3)　各组雄性小鼠血清TC、TG、HDL-C、LDL-C含量差异均无统计学意义($P>0.05$);与自来水组比较,纯净水组雌性小鼠血清 TC、LDL-C 含量及矿泉水组雌性小鼠血清 LDL-C 含量明显降低,差异有统计学意义($P<0.05$)。提示长期饮用纯净水或矿泉水可能对雌性小鼠血脂水平具有影响。

表 2　不同饮用水对小鼠 Lee's 指数、脂肪系数及肝脏系数影响($\bar{x}\pm s, n=10$)

性别	组别	Lee's 指数	脂肪系数(%)	肝脏系数(%)
雄性	自来水组	331.85 ±16.84	2.16 ±1.25	4.71 ±0.61
	纯净水组	340.45 ±22.45	1.63 ±0.47	4.64 ±0.83
	矿泉水组	337.85 ±5.01	2.40 ±1.49	4.67 ±0.32
雌性	自来水组	340.00 ±21.44	3.08 ±1.80	4.58 ±0.55
	纯净水组	337.47 ±11.82	3.22 ±1.82	4.34 ±0.47
	矿泉水组	329.98 ±23.20	3.76 ±2.77	4.53 ±0.45

表 3　不同饮用水对小鼠血脂水平的影响(mmol/L, $\bar{x} \pm s$, $n = 10$)

性别	组别	TC	TG	HDL-C	LDL-C
雄性	自来水组	3.49 ± 0.85	1.13 ± 0.39	2.30 ± 0.51	0.25 ± 0.079
	纯净水组	3.23 ± 0.53	1.28 ± 0.31	2.18 ± 0.34	0.19 ± 0.059
	矿泉水组	3.64 ± 0.58	1.64 ± 0.61	2.44 ± 0.41	0.26 ± 0.071
雌性	自来水组	3.31 ± 0.79	1.44 ± 0.47	1.37 ± 0.47	0.29 ± 0.041
	纯净水组	2.14 ± 0.29[a]	1.24 ± 0.34	1.23 ± 0.19	0.22 ± 0.032[a]
	矿泉水组	2.69 ± 0.63	1.41 ± 0.42	1.56 ± 0.38	0.23 ± 0.031[a]

注:与自来水组比较,a $P < 0.05$。

2.5　雌性小鼠血清 LDL-C 含量与水质指标相关性　雌性小鼠血清 LDL-C 含量与水质 pH 值、ORP 值相关性具有统计学意义($P < 0.01$),分别呈负相关和正相关。由于水质 pH 值与 ORP 之间也呈负相关,秩相关系数为 -1,为消除可能存在变量关联性的传递效应,进行偏相关分析,在控制水质 pH 值后,血清 LDL-C 含量与 ORP 之间的偏相关系数为 0.479,呈正相关($P < 0.05$);在控制水质 ORP 作用后,血清 LDL-C 含量与 pH 值之间的偏相关系数为 0.328($P > 0.05$)。

3　讨　论

体重、Lee's 指数与脂肪系数是反映小鼠肥胖程度的重要物理指标[5],而肥胖者一般都伴有不同程度的血脂异常。本研究结果显示,与自来水组比较,纯净水组小鼠体重、Lee's 指数有上升趋势,而其他肥胖相关指标出现下降趋势,尤以雌性小鼠 TC、LDL-C 含量下降明显。与汤先伟等[6]结果相似。这可能与水质影响脂肪消化率有关。有研究显示钙镁等金属离子能降低油水界面张力与界面能,使油脂易乳化,而油脂在体内的消化很大程度上有赖于其乳化作用[7];国外的脂肪体外消化模型研究也表明钙离子可以提高脂肪消化率[8]。纯净水无钙镁等金属离子,长期饮用可能不利于脂肪消化与吸收,导致体脂、血脂含量下降。

本研究结果表明,与自来水组比较,矿泉水组雌性小鼠 HDL-C 含量有上升趋势,而其他肥胖相关指标出现下降趋势,尤以 LDL-C 含量下降明显。这可能与天然矿泉水中含有丰富的硅元素有关。硅是构成人体的基础元素之一,主要存在于人体的表皮组织及一般结缔组织,对心血管、骨骼生长等具有良好的保健功能。国内研究发现亲代小鼠饮用含硅水可以降低子代血清 LDL-C 含量;硅含量越高,对亲代小鼠血清 TC 和 TG 的降低作用越明显[9]。

为进一步探讨水质与小鼠肥胖相关指标的可能关系,将 3 个组别中有明显变化的效应指标与水质指标进行相关性分析,发现雌性小鼠血清 LDL-C 含量与 ORP 之间呈正相关。ORP 越高,水氧化性越强,氧化性越强的水,可能越容易导致机体发生氧化应激,有证据表明代谢综合征的发病机制与氧化应激有关[10-11]。

综上所述,在饮食充足条件下,水质可能对雌性小鼠血脂代谢产生影响。由于本研究饮水周期可能不够长,大多数的效应指标变化不明显,但从一些趋势上的变化,可推测长期饮用纯净水可能会引起体内脂肪流失,影响机体健康;饮用高偏硅酸天然矿泉水可能有利于雌性小鼠维持良好的体重、体型,调整血脂成分比例,其具体机制还有待于进一步研究。

参考文献

[1] 阮国洪. 水的科学与健康[M]. 上海:复旦大学出版社,2012:87-88.

[2] Low S, Chin MC, Deurenberg-Yap M. Review on epidemic of obesity[J]. Annals Academy of Medicine Singapore, 2009, 38(1):57.

[3] Gooren L. Obesity: new aspects[J]. Journal of Men's Health, 2008, 5(3):249-256.

[4] 国家标准局. GB/T 5750—2006. 生活饮用水标准检验方法[S]. 北京:中国标准出版社,2006.

[5] 禹海文,李妍妍,苏秀榕. 浒苔对营养性肥胖小鼠减肥功能的研究[J]. 食品科学,2012,33(7):247-250.

[6] 汤先伟,金一和,那治洲,等. 商品水对小鼠体重与耐力和生物化学指标的影响[J]. 中国公共卫生,2002,18(1):55-56.

[7] 曾艳,孙淑芬,姜英勤. 碱性离子水对胆固醇和三油酸甘油酯乳化作用的研究[J]. 沈阳医学院学报,2002,4(1):24-25.

[8] Hu M, Li Y, Decker EA, et al. Role of calcium and calcium-binding agents on the lipase digestibility of emulsified lipids using an *in vitro* digestion model[J]. Food Hydrocolloids, 2010, 24(8):719-725.

[9] 崔真真. 饮水中硅对高脂饮食亲代及子代小鼠的相关健康效应研究[D]. 长春:吉林大学硕士论文,2011.

[10] Furukawa S, Fujita T, Shimabukuro M, et al. Increased oxidative stress in obesity and its impact on metabolic syndrome[J]. Journal of Clinical Investigation, 2004, 114(12):1752-1761.

[11] Holvoet P, Lee DH, Steffes M, et al. Association between circulating oxidized low-density lipoprotein and incidence of the metabolic syndrome[J]. JAMA, 2008, 299(19):2287-2293.

收稿日期:2013-06-26　　(解学魁编校)

中国公共卫生 CPH