

临床研究

利用三种点尿估算方法评估和验证中国人群 24 小时尿钠排泄量

孙怡, 伯坚*, 彭亚光, 侯彦, 陈辉, 王兴宇, 尹潞, 王杨, 刘远立, 李卫,
代表 PURE-China 课题协作组

摘要

目的: 本研究旨在验证和评价 Kawasaki、INTERSALT 和 Tanaka 三种方法估算 24 h 尿钠排泄量在中国人群中应用的可行性和准确性。

方法: 本研究是前瞻性城乡流行病学研究(PURE)的子研究, 抽取 120 名受试者(城乡各 60 名), 同时收集受试者的空腹晨尿和 24 h 尿液标本, 检测点尿和 24 h 尿液中钠、钾和肌酐水平。使用 Bland-Altman 法比较三种方法所估算出的 24 h 尿钠排泄量和实际尿钠排泄量之间的一致性。

结果: 最终 116 名受试者被纳入到最终的统计分析。实测钠排泄的平均值为 6 343 mg/d (约为盐 16.2 g/d)。Kawasaki 法是 3 种方法中偏差最小的, 平均偏差值(估测值减 24 h 实际观察值)为 -740.49 mg/d。Tanaka 法的平均偏差值是 -2 305.05 mg/d。差距最大的是 INTERSALT 法, 平均偏差值为 -2 797.39 mg/d。尽管与其他方法相比, Kawasaki 法的估测值与 24 h 实测值之间的差距较小, Bland-Altman 图显示仍有 9 人(7.76%)超出均数 ± 1.96 倍标准差的一致性界线。

结论: Kawasaki 法、INTERSALT 法和 Tanaka 法三种方法估算中国城乡人群的 24 h 尿钠排泄量均存在不同程度的低估和局限, 故需制定一个适合中国人群的估算 24 h 尿钠排泄量方法, 从而更准确地评估中国人群的盐摄入量。

关键词 尿钠排泄; 24 h 尿; 时点尿

Evaluation and Validation of 24-hour Urinary Sodium Excretion by 3 Estimating Methods

SUN Yi, BO Jian, PENG Ya-guang, HOU Yan, CHEN Hui, WANG Xing-yu, YIN Lu, WANG Yang, LIU Yuan-li, LI Wei
(on behalf of PURE-China Investigators).

State Key Laboratory of Cardiovascular Disease, Cardiovascular Institute and Fu Wai Hospital, CAMS and PUMC, Beijing
(100037), China

Corresponding Author: LI Wei, Email: liwei@mrbc-nccd.com

Abstract

Objective: To validate and evaluate the feasibility and accuracy of 24-hour urinary sodium excretion (USE) in Chinese population by 3 estimating approaches of Kawasaki, INTERSALT and Tanaka methods.

Methods: Our research was a sub-study of "prospective urban rural epidemiology (PURE)". A total of 120 participants were selected including 60 from urban and 60 from rural areas. Morning fasting urine and 24-hour urine specimens were collected to examine the levels of sodium, potassium and creatinine in each participant. The consistencies between estimated 24-hour USE and real measured 24-hour USE were compared by Bland-Altman plots in each method respectively.

Results: There were 116 participants were enrolled for final analysis. The mean level of sodium excretion was 6343 mg/day (about 16.2 g/day of salt). Among 3 methods, Kawasaki method had the minimum mean exponent bias (estimated 24-hour USE minus real measured 24-h USE) as -740 mg/day, the mean exponent bias in Tanaka method was -2305 mg/day, in INTERSALT method was -2797 mg/day which was the maximum. Although Kawasaki method had the minimum mean exponent bias, Bland-Altman plots showed that the differences in 9 (7.8%) patients were still beyond the mean ± 1.96 standard deviation.

Conclusion: Kawasaki, INTERSALT and Tanaka methods have underestimation and limitation for evaluating 24-hour

作者单位: 100037 北京市, 北京协和医学院 中国医学科学院 国家心血管病中心 阜外医院 心血管疾病国家重点实验室(孙怡、伯坚、彭亚光、侯彦、陈辉、王兴宇、尹潞、王杨、李卫); 中国医学科学院 北京协和医学院(刘远立)

作者简介: 孙怡 硕士研究生 主要从事流行病学与卫生统计研究 Email: sun_yi@mrbc-nccd.com * 为共同第一作者 共同通讯作者: 刘远立
Email: yliu@pumc.edu.cn 李卫 Email: liwei@mrbc-nccd.com

中图分类号: R541 文献标识码: A 文章编号: 1000-3614 (2016) 11-1115-05 doi:10.3969/j.issn.1000-3614.2016.11.017

USE in Chinese population; it is necessary to develop a suitable method for measuring 24-hour USE in order to assess the salt intake amount in Chinese population.

Key word Urinary sodium excretion; 24-hour urine; spot urine

(Chinese Circulation Journal, 2016,31:1115.)

大量研究表明, 日常饮食中的高钠摄入与高血压、冠心病、中风等疾病发生有很大程度上关联性^[1-7]。虽然一些指南制定了钠盐摄入的建议用量^[8, 9], 但仍存在一定争议。因此, 有必要在人群调查中对钠摄入量进行测量。目前, 24 h 尿钠排泄量是评估钠摄入量的金标准, 但是由于采样繁琐和成本较高, 这种方法往往缺乏可行性。因此有一些相对简便的方法和计算公式, 可以通过点尿样本估算 24 h 尿钠排泄量, 常见的方法如 Kawasaki 法^[10], INTERSALT 法^[11]和 Tanaka 法^[12]。然而, 这些方法是基于外国人群制定的, 是否同样适用于中国人群尚不清楚。本研究目的就是验证和评价这三种方法估算 24h 尿钠排泄量在中国人群中应用的可行性和准确性。

1 资料与方法

研究对象: 本研究是前瞻性城乡流行病学研究(PURE)的子研究, 选取 120 名年龄在 35~70 岁的受试者(来自山西的城市和农村各 60 名)纳入此研究, 除满足 PURE 研究纳入和排除标准之外^[13], 愿意配合研究者在规定时间内完成 24 h 尿钠和晨间点尿, 并且不满足如下排除标准者即为合格:(1) 怀孕或正在

哺乳期的女性;(2) 因慢性病有饮食限制者(如肾脏疾病、癌症、艾滋病、肾衰或心力衰竭);(3) 数据不完整、缺失或违背研究方案者^[14]。

尿液采集: 对 120 名受试者进行 24 h 尿液样本的采集, 以及 24 h 尿样采集结束时清晨第一次尿液样本(MFU)的采集, 并且记录受试者尿液采集的起止时间, 如果尿液漏采, 需记录漏采时间。所有样本被标记冷藏送往北京高血压联盟实验室, 尿钠(Na⁺)、尿钾(K⁺)使用电极法, 尿肌酐(Cr)使用酶法进行检测和分析。

24 h 尿钠排泄计算方法:(1) 实际观察值: 24 h 尿钠排泄(mg/d)=24 h 尿钠浓度(mmol/L)×24 h 尿量(L/d)×Na⁺分子量(23 Na⁺)。(2) 24 h 尿钠排泄的估计值: 通过 Kawasaki 法, INTERSALT 法和 Tanaka 法三种方法计算(详见表 1)。(3) 平均偏差值=估计值-24 h 实际观察值。

统计学方法: 所有数据使用 SAS 9.4 软件进行统计分析。本数据符合正态分布且方差齐性, 故连续变量用均值±标准差表示, 并使用 t 检验对两组样本的差异进行比较验证; 分类变量表示为频数(百分比)。Bland-Altman 法^[15, 16]用来评价三种方法的估计值与 24h 尿钠排泄实际测量值的一致性。 $P<0.05$ 被认为具有统计学意义。

表 1 三种方法计算 24 h 尿钠排泄的估算公式(mg/d)

方法	尿液样本	24 h 尿钠排泄计算公式
Kawasaki	清晨第二次尿样*	$23 \times 16.3 \times (\text{点尿钠} / \text{点尿肌酐} \times \text{预测 24 h 尿肌酐})^{0.5}$ 预测 24h 尿肌酐(男)= $15.12 \times \text{体重} + 7.39 \times \text{身高} - 12.63 \times \text{年龄} - 79.9$ 预测 24h 尿肌酐(女)= $8.58 \times \text{体重} + 5.09 \times \text{身高} - 4.72 \times \text{年龄} - 74.95$
INTERSALT	随机点尿	男: $23 \times [(25.46 + 0.46 \times \text{点尿钠}) - 2.75 \times \text{点尿肌酐} - 0.13 \times \text{点尿钾} + 4.10 \times \text{BMI} + 0.26 \times \text{年龄}]$ 女: $23 \times [(5.07 + 0.34 \times \text{点尿钠}) - 2.16 \times \text{点尿肌酐} - 0.09 \times \text{点尿钾} + 2.39 \times \text{BMI} + 2.35 \times \text{年龄} - 0.03 \times \text{年龄}^2]$
Tanaka	随机点尿	$23 \times 21.98 \times (\text{点尿钠} / \text{点尿肌酐} \times \text{预测 24h 尿肌酐})^{0.392}$ 预测 24h 尿肌酐= $14.89 \times \text{体重} + 16.14 \times \text{身高} - 2.04 \times \text{年龄} - 2244.45$

注: *: 本研究中采用清晨第一次尿液样本。BMI: 体重指数=体重/身高²(kg/m²)。计量单位: 体重: kg; 身高: cm; 年龄: 岁; 点尿钠、点尿钾: mmol/L; 点尿肌酐: mg/dl; 预测 24 h 尿肌酐: mg/d。钠的分子量为 23 mg/mmol

2 结果

116 名受试者的人口学资料(表 2): 120 例受试者通过问卷询问是否有尿液漏采的情况, 其中 4 人

因留尿不全或失访缺失数据被剔除, 最终有 116 名受试者被纳入分析, 女性 79 名(68.1%), 血清肌酐的均值为 74.8 μmol/L。116 名受试者 24 h 尿量平均值为(1869.05±817.14) ml。

116 名受试者三种估算方法与 24 h 尿钠排泄

观察值比较: 116 名受试者 24 h 实际测量尿钠排泄平均值为 (6343.02 ± 2470.52) mg/d。三种方法算出的 24 h 尿钠排泄估计值均低于实际观测值;Kawasaki 法是三种方法中差异最小的, 平均偏差值为 -740.49 mg/d, 95% 可信区间 (CI) 为 (-1223.80~-257.18);INTERSALT 法差异最大, 平均偏差值为 -2 797.39 mg/d, 95% CI (-3250.15~-2344.62); 男性受试者的 24 h 实际观察值 (T 值 =-2.14, P=0.0342) 和 INTERSALT 法的平均估计值 (T 值 =-8.25, P<0.001) 高于女性; 而 Kawasaki 法的平均估计值则低于女性 (T 值 =4.17, P<0.001), 差异均有统计学意义 (表 3)。个体水平的平均 24 h 尿钠排泄量为 6.343 mg/d, 换算后约为盐 16.2 g/d (1 mg Na+ ≈ 2.54 mg NaCl)。

Bland-Altman 法评价三种估算方法与 24 h 尿钠排泄实际测量值的一致性结果 (图 1): Bland-Altman 图显示, 使用 Kawasaki 法, 有 9 名 (7.76%) 超出均数 ± 1.96 倍标准差的一致性界线, 92.24% 估计值分布在一致性界线之间。INTERSALT 法和 Tanaka 法得出离群值较少, 分别为 6 名和 8 名, 但其估计值与实测值之间的平均偏差 (即均值参考线与 0 点差距) 明显大于 Kawasaki 法。三种方法得出的估算值均有不同程度的低估 (即均值参考线低于 0), 并且存在比例误差的情况, 即观察值和估计值之间的差异会随着尿钠排泄水平的升高而增大。

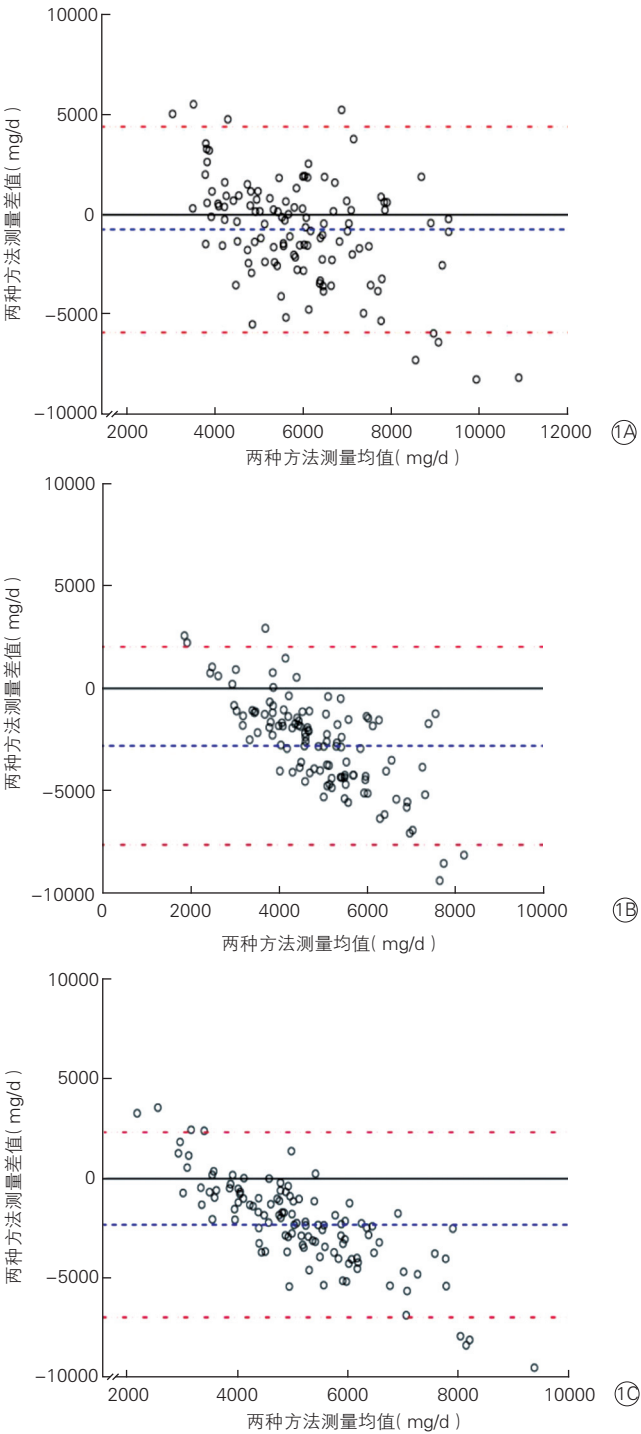
表 2 受试者的人口学资料 (n=116, $\bar{x} \pm s$)

项目	数值
年龄	53.16 ± 8.09
年龄 >45 岁 [例 (%)]	99 (85.3)
女性 [例 (%)]	79 (68.1)
体重 (kg)	63.23 ± 10.67
身高 (cm)	159.85 ± 8.44
体重指数 (kg/m ²)	25.61 ± 6.02
清晨第一次尿样	
钠离子浓度 (mmol/L)	174.24 ± 70.60
钾离子浓度 (mmol/L)	59.20 ± 31.14
肌酐浓度 (mmol/L)	9.97 ± 6.28
24 h 尿样	
钠离子浓度 (mmol/L)	157.93 ± 50.06
钾离子浓度 (mmol/L)	27.59 ± 11.69
尿量 (ml)	1869.05 ± 817.14

表 3 受试者三种估算方法与 24 h 尿钠排泄观察值比较 (mg/d, $\bar{x} \pm s$)

	人数	24h 实际测量值	Kawasaki 法	INTERSALT 法	Tanaka 法
全部	116	6343.02 ± 2470.52	5602.53 ± 1471.40	3545.63 ± 873.86	4037.97 ± 772.31
女性	79	6011.69 ± 2481.83	5967.53 ± 1451.18	3181.57 ± 555.69	4026.70 ± 760.94
男性	37	7050.45 ± 2323.01*	4823.21 ± 1198.59*	4322.95 ± 926.55**	4062.03 ± 806.17
平均偏差值		参照值	-740.49	-2797.39	-2305.05
95% 可信区间		参照值	(-1223.80~-257.18)	(-3250.15~-2344.62)	(-2739.58~-1870.52)

注: 与女性受试者比较 *P<0.05 **P<0.01



注: 1A:Kawasaki 与 24 小时尿钠排泄两种方法的 Bland-Altman 图; 1B: INTERSALT 与 24 小时尿钠排泄两种方法的 Bland-Altman 图; 1C: Tanaka24 小时尿钠排泄两种方法的 Bland-Altman 图

图 1 三种 24 h 尿钠排泄量估算方法的 Bland-Altman 图

3 讨论

本研究使用清晨第一次尿液估计尿钠排泄的

三种方法对 24 h 尿钠排泄量均有不同程度的低估。Bland-Altman 图显示 INTERSALT 法、Tanaka 法与 24 h 尿钠排泄的实测值存在明显的比例误差, 水平越高出现的偏倚越大。Kawasaki 法的这种误差较小, 92.24% 估计值分布在一致性界线之间, 当尿钠排泄水平较高或较低时准确性会降低。24 h 尿钠排泄水平与钠离子浓度和体积相关, 并且可能与饮酒量和出汗量相关。尿液中的肌酐排泄被认为是恒定的^[17], 所以可以用它调节钠浓度以避免波动。本研究的结果与 PURE 的全球研究结果相一致, Kawasaki 法是估算 24 h 尿钠排泄最有效且偏差最小的方法, 可以在人群流行病学研究中的应用^[13]。

然而, 根据 2013 年美国社会营养年度会议研讨会摘要^[18], 美国人群通过点尿样本和公式计算, Kawasaki 法(使用清晨第二次尿液样本)估算 24 h 尿钠排泄平均偏差最大, 而 INTERSALT 法(使用早晨、下午或晚上尿液样本)和 Tanaka 法(使用隔夜尿液样本, 即清晨第一次尿液)偏差较小^[19]。Kawasaki 使用日本人群清晨第二次尿液样本得出相关系数 0.73。Tanaka 通过类似的估计方法, 但使用随机点尿样本, 得出日本人群的相关系数为 0.54^[12]。另一项在美国的研究中, 所有通过点尿样本和预测方程算出的估计值与 24 h 观测值只有中度相关, 即相关系数在 0.4~0.6 之间。估计值与实测值一致性的波动说明各方法应用于不同人群时存在差异。本研究是结合中国 PURE 研究随访流程, 故只选用清晨第一次尿液来估计 24 h 尿钠排泄量, 而其他时点的尿液样本算出的估计值与 24 h 观测值的相关程度需要进一步评估和验证。

尽管与其他方法相比, Kawasaki 法与 24 h 观测水平之间的差距较小, Bland-Altman 图仍描绘出了一定的低估和局限性, 这将会影响此方法利用清晨第一次尿液估计 24 h 尿钠排泄量的有效性和准确性。准确性低可能与中国人群饮食的高盐摄入有关。这也表明, 使用这三种方法估测中国人群 24 h 尿钠排泄量并不合适, 也可能不适用于高盐摄入水平的人群。在 2002 年中国全国营养健康调查^[20]中, 城市人群钠摄入量 6 007 mg/d(约为盐 15.4 g/d), 农村人群钠摄入量 6 369 mg/d(约为盐 15.6 g/d)。另一项中国城市和农村人口食品消费的调查表明^[21](包含来自中国 31 个省份的 68 962 名参与者), 利用 24 h 膳食回忆法得出中国人群盐摄入量的平均水平为 12 g/d(农村 12 g/d、城市 11 g/d)。一项 INTERMAP^[22]流行病学横断面研究, 包括来自四个国家(美国、中

国、英国、日本)的 4 680 名参与者, 发现中国的 24 h 尿钠排泄的平均水平偏高, 为 13.4 g/d, 而日本为 11.7 g/d, 美国为 9.6 g/d, 英国为 8.6 g/d。研究者对其中的中国人群进一步分析表明, 北京、山西、广西三个地区 24 h 尿钠排泄均值分别约为 16.1 g/d、15.7 g/d、和 8.1 g/d。本研究的人群来自山西省农村和城市的普通居民, 受试者的血清肌酐的均值为 74.8 $\mu\text{mol/L}$, 间接说明本研究纳入人群肾功能正常。通过 24 h 尿钠排泄得出的平均水平与上述研究基本一致, 提示中国人群的 24 h 尿钠排泄偏高, 经换算后的盐摄入量约 16.2 g/d。其中, 农村盐摄入量约为 16.9 g/d, 略高于城市盐摄入量 15.5 g/d。

然而, 本研究也存在一定局限性。第一、在中国, 尤其是农村地区, 多数年轻人和男性会外出工作, 常住在家里的妇女和中老年人在此研究人群中占了很大比例(女性占 68.1%, 年龄超过 45 岁者占 85.3%)。Kawasaki 法和 INTERSALT 法的计算公式取决于性别, 它会在一定程度上避免性别差异。而年轻和老年人群在 24 h 尿钠排泄量估算方法上的潜在差异需要进一步的研究; 第二、人体中尿液的钠浓度会随时间截点变化而变化, 从而估算的 24 h 尿钠排泄量也会产生很大变动, 也有研究表明下午或晚上的点尿样本钠浓度能够更好地估算 24 h 尿钠排泄^[23]。因本研究是在中国 PURE 研究随访基础上开展的, 研究对象需在上午来门诊采集空腹血样, 采集清晨尿液更容易操作实施, 故此次留尿的时点是在清晨做 24 h 尿钠测定之前, 而不是测定的 24 h 之中的随机点尿, 不能准确的代表当天尿钠排泄量, 这也可能是导致一致性较差的原因之一。第三、虽然 24 h 尿钠排泄量是评估人群整体平均钠摄入量的推荐方法, 但是因人体尿钠排泄随时受到自身及环境等因素的影响, 一次测量 24 h 尿钠排泄的方法对于估计个人水平的钠摄入量并不够准确。

综上所述, Kawasaki 法, INTERSALT 法和 Tanaka 法三种方法估算中国城乡人群的 24 h 尿钠排泄量均存在一定程度的低估, 其中 Kawasaki 法偏差最少。更精确的 24 h 尿钠排泄估算方法需要针对中国人群制定和验证, 特别是高盐摄入人群, 从而更方便用于大型流行病学调查准确评估中国人群的盐摄入量。

致谢

作者对在招募受试者和收集数据中做出贡献的 PURE-China 课题协作组所有成员表示感谢。

PURE-China 研究者: 刘力生^{**}, 李卫^{**}, 陈

春明, 王克安, 侯希新, 赵文华, 张红叶, 常晓红, 何新叶, 伯坚*, 孙毅, 陈辉, 刘旭, 白秀林, 刘冰, 胡泊, 郭晋, 李健, 李娟, 杨军, 张莉, 邓卿, 陈涛, 徐涛, 王伟, 成小如, 王兴宇, 赵秀文, 贾宣, 王杨, 高楠, 李东*, 陈狄*, 金辉, 田继文, 张军, 李印东*, 何朝, 游凯, 程文龙, 田秀珍*, 李鸿泓*, 周强, 孙宏岩, 王玫, 狄晋玲, 吴建权, 吴建方*, 顾建新*, 周义红, 强德仁, 许敏锐, 石素逸, 钱珍珍*, 刘正榕, 董长林*, 向全勇*, 万明, 李俊*, 唐金华, 莫永珍*, 卞茸文, 姜青林, 路方红*, 刘振东*, 孙尚文, 张华, 赵颖馨, 孙法连, 侯彦*, 王俊英, 马桂兰, 吴银生*, 刘国钦, 刘天璐*, 王慧娟*, 李晓霞*, 高峰, 刘迎葛, 安瑞祺, 智亚红, 张鹏*, 郭宝霞*, 刘瑜*, 付敏繁, 邢晓杰, 李宁*, 汤新成, 叶舒黎, 邹丹, 甘启芦, 雷仁生*, 胡丽华; 张世英*, 曹民治*, 韩爱英, 武建国*, 艾德尔艾力·阿有甫*, 米提乌拉, 热萨莱提, 王慧, 文前, 廖晓阳*, 赵茜, 刘健康, 许国番, 邓文清, 张晓琳

注: *: 主要研究者; *: 分中心主要研究者

参考文献

- [1] Conlin PR. Eat your fruits and vegetables but hold the salt. *Circulation*, 2007, 116: 1530-1531.
- [2] Elliott P, Walker LL, Little MP, et al. Change in salt intake affects blood pressure of chimpanzees: implications for human populations. *Circulation*, 2007, 116: 1563-1568.
- [3] Anderson CA, Appel L J, Okuda N, et al. Dietary sources of sodium in China, Japan, the United Kingdom, and the United States, women and men aged 40 to 59 years: the INTERMAP study. *J Am Diet Assoc*, 2010, 110: 736-745.
- [4] He FJ, Li J, Macgregor GA. Effect of longer term modest salt reduction on blood pressure: Cochrane systematic review and meta-analysis of randomised trials. *BMJ*, 2013, 346: 1325.
- [5] Cook NR, Cutler JA, Obarzanek E, et al. Long term effects of dietary sodium reduction on cardiovascular disease outcomes: observational follow-up of the trials of hypertension prevention (TOHP). *BMJ*, 2007, 334: 885-888.
- [6] 王文. 我国高血压流行趋势与防治状况. *中国循环杂志*, 2011, 26: 407-409.
- [7] 刘国仗, 张宇清. 高血压及其危险因素的综合防治. *中国循环杂志*, 2011, 16: 323.
- [8] WHO. Prevention of Cardiovascular Disease: Guidelines for assessment and management of cardiovascular risk. WHO Press 2007.
- [9] Eckel RH, Jakicic JM, Ard JD, et al. 2013 AHA/ACC guideline on lifestyle management to reduce cardiovascular risk: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *J Am Coll Cardiol*, 2014, 63: 2960-2984.
- [10] Kawasaki T, Itoh K, Uezono K, et al. A simple method for estimating 24 h urinary sodium and potassium excretion from second morning voiding urine specimen in adults. *Clin Exp Pharmacol Physiol*, 1993, 20: 7-14.
- [11] Brown IJ, Dyer AR, Chan Q, et al. Estimating 24-hour urinary sodium excretion from casual urinary sodium concentrations in Western populations: the INTERSALT study. *Am J Epidemiol*, 2013, 177: 1180-1192.
- [12] Tanaka T, Okamura T, Miura K, et al. A simple method to estimate population 24-h urinary sodium and potassium excretion using a casual urine specimen. *J Hum Hypertens*, 2002, 16: 97-103.
- [13] Mente A, O'Donnell MJ, Dagenais G, et al. Validation and comparison of three formulae to estimate sodium and potassium excretion from a single morning fasting urine compared to 24-h measures in 11 countries. *J Hypertens*, 2014, 32: 1005-1015.
- [14] Teo K, Chow CK, Vaz M, et al. The Prospective Urban Rural Epidemiology (PURE) study: Examining the impact of societal influences on chronic noncommunicable diseases in low-, middle-, and high-income countries. *Am Heart J*, 2009, 158: 1-7.
- [15] Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*, 1986, 1: 307-310.
- [16] 李鑑冲, 李晓松. 两种测量方法定量测量结果的一致性评价. *现代预防医学*, 2007, 34: 3263-3266.
- [17] Kawasaki T, Uezono K, Itoh K, et al. Prediction of 24-hour urinary creatinine excretion from age, body weight and height of an individual and its application. *Nihon Kosho Eisei Zasshi*, 1991, 38: 567-574.
- [18] Cogswell ME, Elliott P, Wang CY, et al. Assessing U. S. sodium intake through dietary data and urine biomarkers. *Adv Nutr*, 2013, 4: 560-562.
- [19] Cogswell ME, Wang CY, Chen TC, et al. Validity of predictive equations for 24-h urinary sodium excretion in adults aged 18-39 y. *Am J Clin Nutr*, 2013, 98: 1502-1513.
- [20] 李立明, 饶克勤, 孔灵芝, 等. 中国居民 2002 年营养与健康状况调查. *中华流行病学杂志*, 2005, 26: 478-484.
- [21] 翟凤英, 何宇纳, 马冠生, 等. 中国城乡居民食物消费现状及变化趋势. *中华流行病学杂志*, 2005, 26: 485-488.
- [22] Elliott P, Stamler J, Dyer AR, et al. Association between protein intake and blood pressure: the INTERMAP Study. *Arch Intern Med*, 2006, 166: 79-87.
- [23] Dyer AR, Martin GJ, Burton WN, et al. Blood pressure and diurnal variation in sodium, potassium, and water excretion. *J Hum Hypertens*, 1998, 12: 363-371.

(收稿日期: 2016-01-15)

(编辑: 曹洪红)