

· 论著 ·

轻度下调血液透析液钠浓度可有效降低处于干体重的行维持性血液透析的终末期肾病伴高血压患者血压和血钠：多中心、自身对照研究



扫描二维码查看
原文 + 培训视频

张寅¹, 周亦伦^{1*}, 赵海丹², 申玉兰³, 马云伶⁴, 郭增玉⁵,
周培一⁶, 李红⁷, 李建军⁸, 丁霞¹, 龚勇¹, 刘婧¹

【摘要】 背景 高血压是终末期肾病维持性血液透析患者常见并发症之一, 研究表明降低血液透析液钠浓度可改善终末期肾病维持性血液透析伴高血压患者水钠负荷并降低其血压, 但多数研究样本量较小, 降低血液透析液钠浓度的临床意义尚存在争议。目的 通过扩大样本量而进一步证实降低血液透析液钠浓度对处于干体重的行维持性血液透析的终末期肾病伴高血压患者血压、血钠的影响, 并验证其安全性。方法 本研究为多中心、自身对照研究, 共选取2018年9—11月在北京市7家血液净化中心行维持性血液透析的终末期肾病伴高血压患者154例, 2018年12月开始将其血液透析液钠浓度调整至138 mmol/L并维持1个月(干预前), 2019年1月开始下调其血液透析液钠浓度至136 mmol/L并维持4个月(干预后)。比较所有患者干预前1个月最后1周、干预后1周血液透析前血红蛋白、血白蛋白、血钙、血磷、甲状旁腺激素、收缩压、舒张压及血液透析前后血钠、血液透析间期干体重增长数, 记录所有患者使用降压药物种数及血液透析过程中不良事件发生情况。结果 154例患者干预后血液透析前平均血红蛋白、血白蛋白、血钙、血磷、甲状旁腺激素与干预前比较, 差异无统计学意义($P>0.05$), 干预后血液透析前后平均血钠、血液透析间期干体重增长数、血液透析前收缩压及舒张压、使用降压药物种数较干预前降低($P<0.05$)。154例患者干预前后血液透析过程中低血压、肌肉痉挛发生率比较, 差异无统计学意义($P>0.05$)。结论 轻度下调血液透析液钠浓度可有效降低处于干体重的行维持性血液透析的终末期肾病伴高血压患者血压、血钠, 且安全性较高, 宜于在基层血液透析机构推广应用。

【关键词】 高血压; 血液透析; 血液透析液; 钠; 血压; 多中心研究

【中图分类号】 R 544.1 R 459.5 R 944.1 **【文献标识码】** A DOI: 10.12114/j.issn.1007-9572.2020.00.514

张寅, 周亦伦, 赵海丹, 等. 轻度下调血液透析液钠浓度可有效降低处于干体重的行维持性血液透析的终末期肾病伴高血压患者血压和血钠: 多中心、自身对照研究[J]. 中国全科医学, 2020, 23(36): 4585-4589. [www.chinagp.net]

ZHANG Y, ZHOU Y L, ZHAO H D, et al. Mildly lowering dialysate sodium concentration may effectively reduce the blood pressure and plasma sodium in end-stage renal disease patients with hypertension, dry weight, and maintenance hemodialysis: a multicenter, self-controlled study [J]. Chinese General Practice, 2020, 23(36): 4585-4589.

Mildly Lowering Dialysate Sodium Concentration May Effectively Reduce the Blood Pressure and Plasma Sodium in End-stage Renal Disease Patients with Hypertension, Dry Weight, and Maintenance Hemodialysis: a Multicenter, Self-controlled Study ZHANG Yin¹, ZHOU Yilun^{1*}, ZHAO Haidan², SHEN Yulan³, MA Yunling⁴, GUO Zengyu⁵, ZHOU Peiyi⁶, LI Hong⁷, LI Jianjun⁸, DING Xia¹, GONG Yong¹, LIU Jing¹

1.Department of Nephrology, Beijing Tiantan Hospital, Capital Medical University, Beijing 100070, China

2.Department of Nephrology, Peking University Shougang Hospital, Beijing 100144, China

3.Department of Nephrology, Beijing Miyun District Hospital, Beijing 101500, China

4.Department of Nephrology, Beijing Yanqing District Hospital, Beijing 102100, China

基金项目: 北京市卫生和计划生育委员会北京市卫生与健康科技成果和适宜技术推广项目(2018-TF-32); 北京市医院管理中心“登峰”计划专项(DFL20190502); 北京市医院管理局“扬帆计划”重点医学专业资助项目(ZYLX201820)

1.100070 北京市, 首都医科大学附属北京天坛医院肾内科 2.100144 北京市, 北京大学首钢医院肾内科 3.101500 北京市密云区医院肾内科 4.102100 北京市延庆区医院肾内科 5.101200 北京市, 北京友谊医院平谷医院肾内科 6.102600 北京市大兴区人民医院肾内科 7.100022 北京市朝阳区中西医结合急诊抢救中心血液透析室 8.101121 北京市, 北京中医药大学东直门医院通州院区肾内科

*通信作者: 周亦伦, 教授, 主任医师; E-mail: zhouyilun2008@sina.cn

数字出版日期: 2020-07-10

5.Department of Nephrology, Beijing Friendship Hospital Pinggu Hospital, Beijing 101200, China

6.Department of Nephrology, Beijing Daxing District People's Hospital, Beijing 102600, China

7.Hemodialysis Room, Beijing Chaoyang Integrative Medicine Emergency Medical Center, Beijing 100022, China

8.Department of Nephrology, Tongzhou Branch, Dongzhimen Hospital, Beijing University of Chinese Medicine, Beijing 101121, China

*Corresponding author: ZHOU Yilun, Professor, Chief physician; E-mail: zhouyilun2008@sina.cn

【Abstract】 Background Hypertension is one of the common complications in end-stage renal disease patients undergoing maintenance hemodialysis. Previous studies have shown that lowering dialysate sodium concentration could adjust the water and sodium retention and thus reduce the blood pressure in end-stage renal disease patients with hypertension and maintenance hemodialysis, however, most of these studies have a small sample size, and the clinical significance of lowering dialysate sodium concentration is still controversial. **Objective** To verify the effect and safety of lowering dialysate sodium concentration for controlling blood pressure and plasma sodium in a large sample of end-stage renal disease patients with hypertension, dry weight and maintenance hemodialysis. **Methods** In this multicenter, self-controlled study, 154 end-stage renal disease patients with hypertension and maintenance hemodialysis from seven blood purifying centers in Beijing were enrolled between September and November 2018. The dialysate sodium concentration of them was adjusted to 138 mmol/L on December 1, 2018 and maintained to December 31, 2018 (defined as pre-intervention), then adjusted to 136 mmol/L on January 1, 2019 and maintained to April 30, 2019 (defined as post-intervention). Pre-hemodialysis plasma hemoglobin, albumin, calcium, phosphorus, parathormone, systolic and diastolic blood pressure, pre- and post-hemodialysis plasma sodium measured in the last week of December 2018 and the first week of May 2019 were compared. Interdialytic dry weight gain, kinds of antihypertensive drugs being used and incidence of adverse events during hemodialysis were recorded. **Results** The average pre- and post-intervention pre-hemodialysis plasma hemoglobin, albumin, calcium, phosphorus and parathormone in all cases were not significantly different ($P>0.05$), but the average pre- and post-hemodialysis plasma sodium, pre-hemodialysis systolic and diastolic blood pressure, and interdialytic dry weight gain as well as the kinds of antihypertensive drugs being used showed significant reduction after intervention ($P<0.05$). There was no significant difference in incidence of hypotension or muscle spasm during hemodialysis before and after intervention ($P>0.05$). **Conclusion** Mildly lowering dialysate sodium concentration may effectively reduce the blood pressure and plasma sodium in end-stage renal disease patients with hypertension, dry weight, and maintenance hemodialysis, with relatively high safety, which is worthy of appropriate promotion in primary hemodialysis institutions.

【Key words】 Hypertension; Hemodialysis; Hemodialysis solutions; Sodium; Blood pressure; Multicenter study

高血压是终末期肾病维持性血液透析患者常见并发症之一,而长期血压控制不佳可加重终末期肾病维持性血液透析患者心血管系统负荷并引发左心室肥厚、充血性心力衰竭等,严重影响患者预后。水钠潴留是导致终末期肾病维持性血液透析患者高血压的常见原因,既往研究表明降低血液透析液钠浓度可促进患者体内水、钠清除并有利于控制血液透析间期体重增长、改善血压控制效果等^[1-3],但既往研究样本量较小、适用范围有限。近年研究表明,血液透析前血钠与终末期肾病维持性血液透析患者预后呈“U”型相关,即严重低钠血症可能反而增加患者不良预后发生风险^[4],但目前通过降低血液透析液钠浓度控制终末期肾病伴高血压患者血压仍存在一定争议。本研究为多中心、自身对照研究,旨在通过扩大样本量以进一步证实降低血液透析液钠浓度对终末期肾病伴高血压患者血压、血钠的影响,并验证其安全性,现报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取2018年9—11月在北京市7家血

液净化中心(所在医院分别为北京大学首钢医院、北京市密云区医院、北京市延庆区医院、北京友谊医院平谷医院、北京市大兴区人民医院、北京市朝阳区中西医结合急诊抢救中心、北京中医药大学东直门医院通州院区)行维持性血液透析的终末期肾病伴高血压患者154例,其中男90例,女64例;年龄21~88岁,平均年龄 (51.6 ± 10.7) 岁;透析龄16~179个月,中位透析龄 $53.5(26.8, 98.5)$ 个月;原发病:糖尿病肾病53例,慢性肾小球肾炎45例,高血压肾病28例,慢性间质性肾炎11例,多囊肾8例,原因不明9例。

1.2 纳入与排除标准 纳入标准:(1)规律血液透析时间 >1 年;(2)降低血液透析液钠浓度前血白蛋白 >35 g/L、血红蛋白 >100 g/L;(3)降低血液透析液钠浓度前血钠 >138 mmol/L;(4)降低血液透析液钠浓度前收缩压 ≥ 160 mm Hg(1 mm Hg=0.133 kPa);(5)符合干体重的临床诊断标准,即无颜面及下肢水肿、颈静脉怒张、胸闷、气促。排除标准:(1)存在明显营养不良及贫血;(2)合并恶性肿瘤。本研究经牵头单

位首都医科大学附属北京天坛医院医学伦理委员会审核批准,所有患者对本研究知情同意。

1.3 血液透析液钠浓度调整方案 2018年9月开始对7家血液净化中心所用透析机进行电导度校准并将基础血液透析液钠浓度按标准设定为138 mmol/L;2018年12月开始将本研究纳入患者血液透析液钠浓度调整至138 mmol/L并维持1个月(干预前);2019年1月开始下调本研究纳入患者血液透析液钠浓度至136 mmol/L并维持4个月(干预后)。血液透析液组成:钠138或136 mmol/L,钾2.5 mmol/L,钙1.5 mmol/L,氯109.5 mmol/L,镁0.5 mmol/L,碳酸氢根32 mmol/L。所有患者接受4 h/次、3次/周的规律血液透析。

1.4 观察指标

1.4.1 实验室检查指标 分别于干预前1个月最后1周、干预后1周检测所有患者第2次血液透析前血红蛋白、血白蛋白、血钙、血磷、甲状旁腺激素,注意患者采血前需空腹8 h以上且采血后2 h内送所在医院检验科。

1.4.2 血钠及干体重增长数 分别于干预前1个月最后1周、干预后1周检测所有患者第2次血液透析前后血钠;各血液净化中心由同一位医师负责评估患者干体重并调整血液透析液组成,记录所有患者干预前1个月最后1周、干预后1周3次血液透析间期干体重增长数并取平均值。

1.4.3 血压及使用降压药物种数 分别干预前1个月最后1周、干预后1周测量所有患者3次血液透析前收缩压、舒张压并取平均值,记录患者使用降压药物种数。

1.4.4 不良事件发生情况 记录所有患者血液透析过程中不良事件发生情况,主要包括低血压和肌肉痉挛,其中低血压指收缩压下降 >20 mm Hg或平均动脉压下降 >10 mm Hg,并伴有需要护理干预的临床症状;肌肉痉挛指需要紧急药物干预或输注0.9%氯化钠溶液的肌肉痉挛,但不伴血压下降。

1.5 统计学方法 应用SPSS 21.0统计学软件进行数据分析,符合正态分布的计量资料以 $(\bar{x} \pm s)$ 表示,干预前后数据的比较采用配对 t 检验;不符合正态分布的计

本研究价值:

本研究通过扩大样本量、多中心研究证实,对临床评估为干体重的行维持性血液透析的终末期肾病伴高血压患者,轻度下调血液透析液钠浓度可有效改善其血压控制效果且耐受性良好,同时轻度下调血液透析液钠浓度不增加医疗成本、简便易行,宜于在基层血液透析机构推广应用。

本研究局限性:

(1)本研究随访时间较短,尚缺乏长期、动态观察结果;(2)本研究缺乏临床终点事件观察,降低血液透析液钠浓度改善血压之后是否能改善患者最终预后尚需进一步观察;(3)本研究未对降低血液透析液钠浓度改善血压的机制进行深入分析,如组织钠含量评估等,降低血液透析液钠浓度与血压改善的因果关系尚缺少确凿理论依据。

量资料以 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示,干预前后数据的比较采用非参数检验。计数资料以相对数表示。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 实验室检查指标 154例患者干预后血液透析前平均血红蛋白、血白蛋白、血钙、血磷、甲状旁腺激素与干预前比较,差异无统计学意义($P>0.05$,见表1)。

2.2 血钠及干体重增长数 154例患者干预后血液透析前后平均血钠及血液透析间期干体重增长数较干预前降低,差异有统计学意义($P<0.05$,见表2)。

2.3 血压及使用降压药物种数 154例患者干预后血液透析前平均收缩压、舒张压及使用降压药物种数较干预前降低,差异有统计学意义($P<0.05$,见表3)。

2.4 不良事件发生情况 154例患者干预前血液透析过程中低血压、肌肉痉挛发生率分别为5.2%(8/154)、1.9%(3/154),干预后分别为4.5%(7/154)、1.9%(3/154);干预前后血液透析过程中低血压($\chi^2=2.019$, $P=0.142$)、肌肉痉挛($\chi^2=1.558$, $P=0.208$)发生率比较,差异无统计学意义。

表1 患者干预前后血液透析前实验室检查指标比较($n=154$)

Table 1 Comparison of pre-hemodialysis laboratory examination results before and after lowering dialysate sodium concentration in 154 patients

时间	血红蛋白 ($\bar{x} \pm s$, g/L)	血白蛋白 ($\bar{x} \pm s$, g/L)	血钙 ($\bar{x} \pm s$, mmol/L) ^a	血磷 [$M(P_{25}, P_{75})$, mmol/L]	甲状旁腺激素 [$M(P_{25}, P_{75})$, ng/L]
干预前	113 ± 11	39 ± 3	2.22 ± 0.19	1.81 (1.46, 2.20)	254.2 (119.5, 451.8)
干预后	115 ± 12	39 ± 3	2.29 ± 0.17	1.86 (1.48, 2.32)	210.2 (128.4, 390.4)
差值	2 ± 1	2.0 ± 0.1	0.09 ± 0.81	0.02 ± 0.45	-25.0 ± 176.5
$t_{\text{配对}}(u)$ 值	1.805	-0.536	0.853	1.000 ^b	-0.967 ^b
P 值	0.073	0.593	0.397	0.319	0.333

注:^a为血钙数据经血白蛋白校正,校正血钙(mmol/L)=血钙测量值(mmol/L)+0.02×[40-血白蛋白(g/L)];^b为 u 值

表2 患者干预前后血液透析前后血钠及血液透析间期干体重增长数比较 ($\bar{x} \pm s$, $n=154$)

Table 2 Comparison of pre- and post-hemodialysis plasma sodium, and interdialytic dry weight gain before and after lowering dialysate sodium concentration in 154 patients

时间	血液透析前血钠 (mmol/L)	血液透析后血钠 (mmol/L)	血液透析间期干体 重增长数 (kg)
干预前	138.2 ± 2.7	137.4 ± 2.2	3.0 ± 0.8
干预后	137.2 ± 3.5	136.6 ± 1.5	2.9 ± 0.9
差值	-1.9 ± 2.4	-0.8 ± 2.4	-0.1 ± 0.6
$t_{\text{配对}}$ 值	-7.585	-4.039	-2.152
P 值	<0.001	<0.001	0.035

表3 患者干预前后血液透析前血压及使用降压药物种数比较 ($\bar{x} \pm s$, $n=154$)

Table 3 Comparison of pre-hemodialysis blood pressure and kinds of antihypertensive drugs being used before and after lowering dialysate sodium concentration in 154 patients

时间	收缩压 (mm Hg)	舒张压 (mm Hg)	使用降压药物 种数 (种)
干预前	164 ± 19	88 ± 11	2.3 ± 1.2
干预后	150 ± 16	80 ± 10	1.9 ± 1.2
差值	-15 ± 10	-8 ± 9	-0.4 ± 0.7
$t_{\text{配对}}$ 值	-10.418	-11.029	-4.442
P 值	<0.001	<0.001	<0.001

3 讨论

高血压是终末期肾病维持性血液透析患者常见并发症之一,也是左心室肥厚、充血性心力衰竭、心脑血管疾病及死亡的重要危险因素,因此积极控制血压可改善终末期肾病维持性血液透析患者生活质量并提高患者生存率。研究表明,维持性血液透析患者高血压发生机制较复杂,水钠潴留是导致维持性血液透析患者出现高血压的重要原因,而维持性血液透析患者钠平衡主要取决于饮食中的钠、水摄入和透析过程中的钠清除^[5]。近期一项国内研究结果显示,维持性血液透析患者对低钠饮食的知晓率仅为40.54%,处于中下水平,大部分患者无法识别高钠食物且对血液透析治疗、饮食控制的依从性会随着透析龄延长而逐渐变差^[6],由此可见,多数维持性血液透析患者钠摄入控制效果并不理想。鉴于上述情况及维持性血液透析患者肾脏维持水钠平衡的功能严重受损或丧失,增加血液透析钠清除对改善终末期肾病维持性血液透析患者钠负荷过重至关重要。

BASILE等^[4]通过文献回顾发现,不同研究关于下调血液透析液钠溶度降低血压的有效性和安全性尚存在分歧,笔者分析不同国家和/或地区、不同血液透析中心得出的不同研究结果可能主要受以下因素影响:首先,由于需排除容量因素、研究纳入的患者需经临床评估已达干体重且血压控制不佳,因此多数研究样本量较

小;其次,不同研究纳入的患者人种、饮食结构不同;再次,不同血液透析中心制定的血液透析液钠溶度降低标准存在明显差异,如有研究将血液透析液钠浓度降低2~3 mmol/L,也有研究将血液透析液钠浓度降低6~7 mmol/L^[4]。此外,不同国家和/或地区处方血液透析液钠浓度与实际血液透析液钠浓度也可能存在差异^[7]。笔者所在课题组前期进行的针对中国人群的小样本量研究发现,轻度下调血液透析液钠浓度(自138 mmol/L下调至136 mmol/L)可明显改善已达干体重的维持性血液透析患者居家血压(血压降幅达14.6/9.6 mm Hg)且未增加低血压、肌肉痉挛等不良事件发生风险^[8],并可降低透析患者血压变异性^[9],减轻患者左心室肥厚及大动脉僵硬度^[10]。本研究在前期研究基础上进一步通过多中心研究扩大样本量,最终纳入来自7家血液净化中心的154例患者,干预前其血液透析前平均血钠为138.2 mmol/L,通过轻度下调血液透析液钠浓度(自138 mmol/L下调至136 mmol/L)4个月,即干预后其血液透析前平均血钠为137.2 mmol/L,较干预前仅下降1 mmol/L,而其干预前后血液透析过程中低血压、肌肉痉挛发生率无明显差异,证实轻度下调血液透析液钠浓度可有效降低处于干体重的行维持性血液透析的终末期肾病伴高血压患者血钠,且安全性较高。

人体内的钠除了可与水结合的渗透活性钠之外,还有一部分为渗透惰性钠,而渗透惰性钠主要在骨骼、软骨、皮肤和肌肉等组织贮存,不参与水钠潴留过程,但占了人体内钠总含量的50%以上^[11]。KOPP等^[12]通过²³Na核磁共振对渗透惰性钠进行定量评估发现,成年人高血压患者组织钠含量较健康者明显增高,提示渗透惰性钠可能在高血压的发生、发展过程中具有重要作用。有研究表明规律血液透析患者组织钠含量明显高于与年龄相匹配的健康对照者,而血液透析可清除其组织中的钠^[13],也有研究表明钠负荷增高除增加容量负荷外,还可通过提高血管紧张素Ⅱ水平、增加交感神经输出、造成内皮细胞僵硬和心肌及血管平滑肌肥厚等而引发高血压^[14],因此降低血液透析液钠浓度可能通过清除组织渗透惰性钠而改善终末期肾病维持性血液透析伴高血压患者血压控制效果^[15]。本研究结果显示,154例患者干预后血液透析前平均收缩压、舒张压及血液透析间期干体重增长数均较干预前降低,与既往研究结果一致^[2, 3, 16],但血液透析间期干体重增长数的降低幅度尚不足以解释血压的明显下降,提示降低血液透析液钠浓度而改善处于干体重的行维持性血液透析的终末期肾病伴高血压患者血压可能存在非容量机制。

综上所述,轻度下调血液透析液钠浓度可有效降低处于干体重的行维持性血液透析的终末期肾病伴高血压

患者血压、血钠,且安全性较高,而由于轻度下调血液透析液钠浓度不增加医疗成本、简便易行,因此适于在基层血液透析机构推广应用,但轻度下调血液透析液钠浓度能否改善处于干体重的行维持性血液透析的终末期肾病伴高血压患者远期预后(如心脑血管事件)等仍需通过延长随访时间、进一步扩大样本量等进行验证,同时应深入探讨其作用机制。

作者贡献:张寅、周亦伦进行研究的构思与设计;张寅进行数据整理及统计学处理;张寅、周亦伦、刘婧撰写论文;周亦伦、丁霞、龚勇进行研究的实施与可行性分析;周亦伦进行论文修订,并对文章整体负责,监督管理;赵海丹、申玉兰、马云伶、郭增玉、周培一、李红、李建军负责各分中心数据收集。

本文无利益冲突。

参考文献

- [1] MANLUCU J, GALLO K, HEIDENHEIM P A, et al. Lowering postdialysis plasma sodium (conductivity) to increase sodium removal in volume-expanded hemodialysis patients: a pilot study using a biofeedback software system [J]. *Am J Kidney Dis*, 2010, 56 (1): 69-76. DOI: 10.1053/j.ajkd.2009.12.037.
- [2] KIM D Y, KIM B, MOON K H, et al. Effect of gradually lowering dialysate sodium concentration on the interdialytic weight gain, blood pressure, and extracellular water in anuric hemodialysis patients [J]. *Ren Fail*, 2014, 36 (1): 23-27. DOI: 10.3109/0886022X.2013.830360.
- [3] MENDOZA M J, BAYES L Y, SUN S, et al. Effect of lowering dialysate sodium concentration on interdialytic weight gain and blood pressure in patients undergoing thrice-weekly in-center nocturnal hemodialysis: a quality improvement study [J]. *Am J Kidney Dis*, 2011, 58 (6): 956-963. DOI: 10.1053/j.ajkd.2011.06.030.
- [4] BASILE C, PISANO A, LISI P, et al. High versus low dialysate sodium concentration in chronic haemodialysis patients: a systematic review of 23 studies [J]. *Nephrol Dial Transplant*, 2016, 31 (4): 548-563. DOI: 10.1093/ndt/gfv084.
- [5] RHEE C M, RAVEL V A, AYUS J C, et al. Pre-dialysis serum sodium and mortality in a national incident hemodialysis cohort [J]. *Nephrol Dial Transplant*, 2016, 31 (6): 992-1001.
- [6] 曾英, 张颖君, 袁怀红, 等. 维持性血液透析患者对低钠饮食的认知及行为调查 [J]. *中国血液净化*, 2019, 18 (11): 787-790. DOI: 10.3969/j.issn.1671-4091.2019.11.015.
ZENG Y, ZHANG Y J, YUAN H H, et al. Cognitive and behavioral investigation of low-sodium diet in maintenance hemodialysis patients [J]. *Chinese Journal of Blood Purification*, 2019, 18 (11): 787-790. DOI: 10.3969/j.issn.1671-4091.2019.11.015.
- [7] HECKING M, WONG M M Y, PORT F K, et al. Regional differences in the associations between prescribed dialysate sodium concentration and interdialytic weight gain in the dialysis outcomes and practice patterns study [J]. *Am J Kidney Dis*, 2017, 70 (3): 450-451. DOI: 10.1053/j.ajkd.2017.03.024.
- [8] 刘婧, 马丽洁, 孙芳, 等. 负钠梯度透析对处于干体重的透析患者高血压的影响 [J]. *中国中西医结合肾病杂志*, 2014, 15 (5): 408-411.
LIU J, MA L J, SUN F, et al. Effects of negative sodium gradient dialysis on hypertension in hemodialysis patients on dry weight [J]. *Chinese Journal of Integrated Traditional and Western Nephrology*, 2014, 15 (5): 408-411.
- [9] CHEN Z, SUN F, SHEN Y, et al. Impact of dialysate sodium concentration lowering on home blood pressure variability in hemodialysis patients [J]. *Ther Apher Dial*, 2019, 23 (2): 153-159. DOI: 10.1111/1744-9987.12771.
- [10] LIU J, SUN F, MA L J, et al. Increasing dialysis sodium removal on arterial stiffness and left ventricular hypertrophy in hemodialysis patients [J]. *J Ren Nutr*, 2016, 26 (1): 38-44. DOI: 10.1053/j.jrn.2015.08.005.
- [11] TITZE J. Water-free sodium accumulation [J]. *Semin Dial*, 2009, 22 (3): 253-255. DOI: 10.1111/j.1525-139X.2009.00569.x.
- [12] KOPP C, LINZ P, DAHLMANN A, et al. ²³Na magnetic resonance imaging-determined tissue sodium in healthy subjects and hypertensive patients [J]. *Hypertension*, 2013, 61 (3): 635-640. DOI: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.111.00566.
- [13] DAHLMANN A, DÖRFELT K, EICHER F, et al. Magnetic resonance-determined sodium removal from tissue stores in hemodialysis patients [J]. *Kidney Int*, 2015, 87 (2): 434-441. DOI: 10.1038/ki.2014.269.
- [14] 胡鑫, 郝丽荣. 透析液钠浓度对血液透析患者的影响 [J]. *医学综述*, 2019, 25 (21): 4271-4275. DOI: 10.3969/j.issn.1006-2084.2019.21.021.
HU X, HAO L R. Effects of dialysate sodium concentration on hemodialysis patients [J]. *Medical Recapitulate*, 2019, 25 (21): 4271-4275. DOI: 10.3969/j.issn.1006-2084.2019.21.021.
- [15] 陶玲玲, 李敏, 程静. 低钙透析液联合可调钠和超滤曲线对血液透析合并顽固性高血压的效果 [J]. *实用临床医学*, 2017, 18 (6): 88-90, 96. DOI: 10.13764/j.cnki.lcsy.2017.06.036.
TAO L L, LI M, CHENG J. Efficacy of low calcium dialysate combined with adjustable sodium and ultrafiltration curve in hemodialysis patients with refractory hypertension [J]. *Practical Clinical Medicine*, 2017, 18 (6): 88-90, 96. DOI: 10.13764/j.cnki.lcsy.2017.06.036.
- [16] WONG M M Y, MCCULLOUGH K P, BIEBER B A, et al. Interdialytic weight gain: trends, predictors, and associated outcomes in the International Dialysis Outcomes and Practice Patterns Study (DOPPS) [J]. *Am J Kidney Dis*, 2017, 69 (3): 367-379. DOI: 10.1053/j.ajkd.2016.08.030.

(收稿日期: 2020-02-26; 修回日期: 2020-06-04)

(本文编辑: 鹿飞飞)