

超纯透析液联合高通量透析治疗对终末期肾病 MHD 患者氧化应激、微炎症状态和 钙磷代谢的影响

张 健, 杨颖嘉, 王丰平, 丁 琦*

(四川省成都市第二人民医院肾病内科, 四川 成都 610017)

[摘要] 目的 探讨超纯透析液联合高通量透析治疗对终末期肾病维持性血液透析(maintenance hemodialysis, MHD)患者氧化应激、微炎症状态和钙磷代谢的影响。方法 回顾性分析我院收治的终末期肾病 MHD 患者 120 例临床资料, 根据透析方式不同分为超纯透析液组($n=60$)和非超纯透析液组($n=60$), 其中非超纯透析液组采用常规透析液, 超纯透析液组透析液以超纯水+中心供液提供浓缩 A 液+B 粉筒配置。均进行高通量透析, 比较 2 组治疗后的血清氧化应激指标[丙二醛(malondialdehyde, MDA)、谷胱甘肽过氧化酶(glutathione peroxidase, GSH-px)]、微炎症状态[白细胞介素 6(interleukin-6, IL-6)、白细胞介素 13(interleukin-13, IL-13)、C 反应蛋白(C-reaction protein, CRP)、白蛋白(albumin, ALB)、血红蛋白(hemoglobin, Hb)、血细胞比容(hematocrit, HCT)]、肾功能指标[尿素氮(blood urea nitrogen, BUN)、肌酐(serum creatinine, SCr)、 β_2 微球蛋白(β_2 microglobulin, β_2 -MG)、肾小球滤过率(estimated glomerular filtration rate, eGFR)]及钙磷代谢情况。结果 治疗后, 2 组 MDA、IL-6、CRP、ALB、Hb、HCT 及血钙水平均显著升高($P<0.05$), GSH-px、IL-13、BUN、SCr、 β_2 -MG、eGFR 及血磷、钙磷乘积水平均显著降低($P<0.05$), 且超纯透析液组上述指标除 ALB、HCT 外与非超纯透析液组差异均有统计学意义($P<0.05$)。结论 超纯透析液联合高通量透析治疗能有效改善终末期肾病 MHD 患者体内氧化应激反应及微炎症状态, 利于稳定钙磷代谢平衡, 延缓残肾功能丢失, 值得临床应用。

[关键词] 肾功能衰竭, 慢性; 超纯透析液; 高通量透析 doi:10.3969/j.issn.1007-3205.2024.12.007

[中图分类号] R692.5 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1007-3205(2024)12-1399-05

Effects of ultra-pure dialysate combined with high flux dialysis on oxidative stress, microinflammatory state and calcium-phosphorus metabolism in patients with end-stage renal disease undergoing MHD

ZHANG Jian, YANG Ying-jia, WANG Feng-ping, DING Qi*

(Department of Nephrology, the Second People's Hospital of Chengdu City,
Sichuan Province, Chengdu 610017, China)

[Abstract] **Objective** To observe and explore the effects of ultra-pure dialysate combined with high flux dialysis on oxidative stress, microinflammatory state and calcium-phosphorus metabolism in patients with end-stage renal disease (ESRD) undergoing maintenance hemodialysis (MHD). **Methods** Clinical data of 120 patients with ESRD undergoing MHD who were treated in our hospital were retrospectively analyzed, and the patients were divided into ultra-pure dialysate group ($n=60$) and non-ultra-pure dialysate group ($n=60$) according to different dialysis methods. The non-ultra-pure dialysate group received conventional dialysate, and the ultra-pure dialysate group received ultra-pure water + central liquid supply of

[收稿日期] 2023-05-16

[基金项目] 四川省科技计划项目(2019YFS0445)

[作者简介] 张健(1976-), 男, 四川成都人, 四川省成都市第二

人民医院主治医师, 医学学士, 从事肾内科疾病诊治研究。

* 通信作者。E-mail: 1733765690@qq.com

concentrated A solution + B powder cylinder configuration. All patients underwent high flux dialysis. Serum oxidative stress indicators [malondialdehyde (MDA), glutathione peroxidase (GSH-px)], microinflammatory state [interleukin-6 (IL-6), interleukin-13 (IL-13), C-reactive protein (CRP), albumin (ALB), hemoglobin (Hb), hematocrit (HCT)], renal function indicators [blood urea nitrogen (BUN), serum creatinine (SCr), β 2 microglobulin (β 2-MG), estimated glomerular filtration rate (eGFR)] and calcium-phosphorus metabolism were compared between the two groups after treatment. **Results** After treatment, the levels of MDA, IL-6, CRP, ALB, Hb, HCT and blood calcium in both groups were significantly increased ($P < 0.05$), while the levels of GSH-px, IL-13, BUN, SCr, β 2-MG, eGFR, blood phosphorus and calcium-phosphorus product were significantly decreased ($P < 0.05$), and the above indicators except ALB and HCT were significantly different between ultra-pure dialysate group and non-ultra-pure dialysate group ($P < 0.05$). **Conclusion** Ultra-pure dialysate combined with high flux dialysis can effectively improve the body's oxidative stress response and microinflammatory state, help stabilize the balance of calcium-phosphorus metabolism and delay the loss of residual kidney function in patients with ESRD undergoing MHD, and it is worthy of clinical promotion and application.

[Key words] renal failure, chronic; ultra-pure dialysate; high flux dialysis

慢性肾脏病 (chronic kidney disease, CKD) 是指肾脏结构和功能因各种原因发生障碍超过 3 个月的一种疾病, 目前该病多数难以根治, 加上社会人口老龄化日益严重, 导致 CKD 进展至终末期肾病的比例逐渐升高, 极大危害人类健康^[1-2]。随着透析技术的不断发展和完善, 维持性血液透析 (maintenance hemodialysis, MHD) 仍是终末期肾病患者的首要治疗方式, 能明显提高患者生活质量, 延长存活时间^[3]。但透析液质量与终末期肾病 MHD 患者远期预后密切相关, 污染的透析液不仅会加速患者体内氧化应激反应, 还会影响微炎症和营养状态, 促使患者死亡风险增加^[4]。而透析液用量可观, 是 MHD 治疗的核心, 且透析过程中其与患者血液只隔一层半透膜, 透析液的优劣将直接影响透析质量的高低, 故临床中对透析液的纯度和精度要求很高^[5]。由于有关透析液制备的行业标准尚未形成统一, 相应的临床研究仍不够深入, 为此, 本研究旨在观察探讨超纯透析液联合高通量透析治疗对终末期肾病 MHD 患者氧化应激、微炎症状态和钙磷代谢的影响, 具体报告如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性分析 2021 年 6 月—2022 年 12 月我院收治的 120 例终末期肾病 MHD 患者临床资料。纳入标准: ①符合终末期肾病诊断标准^[6]者; ②病情稳定, 且接受 MHD (3 次/周, 3.5~4 h/次) ≥ 3 个月; ③年龄 18~80 岁, 右利手; ④已自愿签署知情同意书。排除标准: ①有急性肾衰竭或肾

移植病史者; ②合并重大精神疾病、脑外伤、脑肿瘤、颅内感染、脑卒中及其他慢性疾病史者; ③近 3 个月内发生严重感染、系统性红斑狼疮、血管炎、急性心血管事件者; ④近 1 个月有甲状腺疾病、胃肠道疾病者; ⑤近 6 个月服用激素或免疫抑制剂者; ⑥有酒精或药物滥用史者; ⑦不配合治疗及实验室检查导致临床资料不完整者。根据透析方式不同将纳入研究的患者分为超纯透析液组 ($n = 60$) 和非超纯透析液组 ($n = 60$), 2 组一般资料比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 具有可比性。见表 1。

本研究经医院伦理委员会批准通过。

1.2 治疗方法 2 组均给予基础治疗, 如控制血糖、血压, 纠正贫血、酸中毒及补充钙剂等。均使用德朗 16H 高通量透析器进行高通量透析, 超滤系数为 $60 \text{ mL} \cdot \text{mmHg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ($1 \text{ mmHg} = 0.133 \text{ kPa}$), 膜面积为 1.4 m^2 , 透析器均为单次使用。非超纯透析液组采用常规透析液, 即标准碳酸氢钠盐透析液 (天津天安药业股份有限公司, 国药准字 H12020543), 超纯透析液组透析液以超纯水 + 中心供液提供浓缩 A 液 + B 粉筒配置, 超纯水采用水处理装置 Aquaboss EcoRO II 获得, 其细菌菌落计数 $< 0.1 \text{ CFU/mL}$, 内毒素含量 $< 0.03 \text{ EU/mL}$; 采用 Ecomix 中心配液供液机供 A 液, B 液为 B 粉筒联机产生, 超纯透析液细菌菌落计数 $< 0.1 \text{ CFU/mL}$, 内毒素含量 $< 0.03 \text{ EU/mL}$ 。透析时血流速为 $200 \sim 300 \text{ mL/min}$, 透析液流量为 500 mL/min , 均使用低分子肝素抗凝 (有出血倾向或出血者使用无肝素或枸橼酸钠透析治疗), 治疗共进行 12 周。

表1 2组一般资料比较

Table 1 Comparison of general data between the two groups

(n=60)

组别	性别(例数)		年龄 ($\bar{x} \pm s$, 岁)	透析龄 ($\bar{x} \pm s$, 个月)	原发病(例数)				
	男性	女性			糖尿病肾病	慢性肾小球肾炎	高血压肾病	多囊肾	其他
超纯透析液组	33	27	63.15±5.71	26.92±5.15	28	14	10	2	6
非超纯透析液组	34	26	62.74±5.89	25.38±5.73	26	16	12	1	5
χ^2/t 值	0.034		0.334	0.337	0.135	0.178	0.223	0.342	0.100
P 值	0.854		0.739	0.737	0.714	0.672	0.637	0.559	0.752

1.3 标本采集 治疗前后空腹采集患者透析前静脉血4 mL,离心(4℃,2000 r/min,5 min)取血清,-80℃保存备用。

1.4 观察指标 ①氧化应激指标:治疗前后检测血清丙二醛(malondialdehyde,MDA)、谷胱甘肽过氧化酶(glutathione peroxidase,GSH-px)水平,其中MDA采用硫代巴比妥酸比色法检测,GSH-px采用酚偶联分光光度法检测。②微炎症状态:治疗前后检测血清白细胞介素6(interleukin-6,IL-6)、白细胞介素13(interleukin-13,IL-13)、C反应蛋白(C-reactionprotein,CRP)、白蛋白(albumin,ALB)、血红蛋白(hemoglobin,Hb)、血细胞比容(hematocrit,HCT)水平,其中IL-6和IL-13采用酶联免疫吸附测定法检测,ALB采用全自动生化分析仪测定,Hb及HCT采用血细胞分析仪测定。③肾功能指标:治疗前后检测血清尿素氮(blood urea nitrogen,BUN)、肌酐(serum creatinine,SCr)、 β_2 微球蛋白(β_2 microglobulin, β_2 -MG)、肾小球滤过率(estimated glomerular filtration rate,eGFR)水平,其中BUN、SCr采用全自动生化分析仪(型号:贝克曼DXC600)测定, β_2 -MG采用胶乳比浊法检测。④钙磷代谢:治疗前后采用全自动生化分析仪检测血清钙磷代谢情况及钙磷乘积。

1.5 统计学方法 应用SPSS 22.0统计软件分析数据。计量资料比较采用独立样本t检验和配对t检验,计数资料比较采用 χ^2 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 2组氧化应激指标比较 治疗前,2组MDA

和GSH-px水平比较差异无统计学意义($P > 0.05$);治疗后,2组MDA水平较治疗前均升高,GSH-px水平较治疗前均降低,差异有统计学意义($P < 0.05$),超纯透析液组MDA水平低于非超纯透析液组,GSH-px水平高于非超纯透析液组,差异有统计学意义($P < 0.05$)。见表2。

表2 2组氧化应激指标比较

Table 2 Comparison of oxidative stress indicators between the two groups

(n=60, $\bar{x} \pm s$, $\mu\text{mol/L}$)

组别	MDA		GSH-px	
	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
超纯透析液组	9.32±1.07	10.69±1.72*	89.16±10.42	81.68±9.34*
非超纯透析液组	9.26±1.03	13.45±1.89*	89.54±10.19	67.23±8.26*
t 值	0.313	8.366	0.202	8.977
P 值	0.755	<0.001	0.840	<0.001

* P 值<0.05 与治疗前比较(配对t检验)

2.2 2组微炎症状态比较 治疗前,2组IL-6、CRP、ALB、Hb及HCT水平比较差异无统计学意义($P > 0.05$);治疗后,2组IL-6、CRP、ALB、Hb及HCT水平较治疗前均升高,IL-13水平均降低,差异有统计学意义($P < 0.05$),超纯透析液组IL-6水平低于非超纯透析液组,IL-13和Hb水平高于非超纯透析液组,差异有统计学意义($P < 0.05$)。见表3。

2.3 2组肾功能指标比较 治疗前,2组BUN、SCr、 β_2 -MG及eGFR水平比较差异无统计学意义($P > 0.05$);治疗后,2组BUN、SCr、 β_2 -MG及eGFR水平较治疗前均降低,超纯透析液组均低于非超纯透析液组,差异有统计学意义($P < 0.05$)。见表4。

表3 2组微炎症状态比较

Table 3 Comparison of microinflammatory state between the two groups

(n=60, $\bar{x} \pm s$)

组别	IL-6(ng/L)		IL-13(ng/L)		CRP(mg/L)	
	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
超纯透析液组	21.29±3.46	26.91±3.82*	11.31±1.63	10.17±1.45*	6.42±1.25	7.19±1.44*
非超纯透析液	21.58±3.22	35.07±5.54*	11.57±1.78	8.34±1.19*	6.47±1.38	8.25±1.62*
t 值	0.475	9.393	0.834	7.557	0.208	3.788
P 值	0.636	<0.001	0.406	<0.001	0.835	<0.001

表3 (续)

组别	ALB(g/L)		Hb(g/L)		HCT(g/L)	
	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
超纯透析液组	35.19±6.58	39.58±4.29*	98.95±14.52	111.73±12.61*	0.28±0.07	0.36±0.09*
非超纯透析液	35.65±6.24	38.13±4.73*	97.69±13.75	105.16±11.32*	0.29±0.06	0.33±0.08*
<i>t</i> 值	0.393	1.759	0.499	3.003	1.282	1.929
<i>P</i> 值	0.695	0.081	0.618	0.003	0.202	0.056

* *P* 值<0.05 与同组治疗前比较(配对 *t* 检验)

表4 2组肾功能指标比较

Table 4 Comparison of renal function indicators between the two groups

(*n* = 60, $\bar{x} \pm s$)

组别	BUN(mmol/L)		SCr(μ mol/L)		β 2-MG(mg/L)		eGFR[mL·min ⁻¹ ·(1.73 m ²) ⁻¹]	
	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
超纯透析液组	21.33±3.53	10.35±1.76*	901.67±106.28	447.85±67.37*	37.58±5.61	24.29±3.42*	10.83±1.05	8.92±0.98*
非超纯透析液	21.67±3.20	11.81±1.45*	897.20±105.15	533.24±80.24*	37.44±5.24	29.65±4.61*	10.93±1.18	8.36±0.91*
<i>t</i> 值	0.551	4.959	0.329	6.313	0.141	7.233	0.490	3.245
<i>P</i> 值	0.583	<0.001	0.743	<0.001	0.888	<0.001	0.625	0.001

* *P* 值<0.05 与同组治疗前比较(配对 *t* 检验)

2.4 2组钙磷代谢情况比较 治疗前,2组血钙水平、血磷、钙磷乘积水平比较差异无统计学意义(*P*>0.05);治疗后,2组血钙水平较治疗前均升高,血磷、钙磷乘积水平较治疗前均降低(*P*<

0.05),超纯透析液组血钙水平高于非超纯透析液组,血磷和钙磷乘积水平低于非超纯透析液组,差异有统计学意义(*P*<0.05)。见表5。

表5 2组钙磷代谢情况比较

Table 5 Comparison of calcium-phosphorus metabolism between the two groups

(*n* = 60, $\bar{x} \pm s$)

组别	血钙(mmol/L)		血磷(mmol/L)		钙磷乘积(mg ² /dL ²)	
	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
超纯透析液组	2.04±0.46	2.52±0.15*	3.58±0.25	2.77±0.29*	79.62±12.81	52.53±8.65*
非超纯透析液组	2.06±0.41	2.27±0.18*	3.53±0.22	3.11±0.34*	78.49±13.44	63.88±9.73*
<i>t</i> 值	0.251	8.265	1.163	5.893	0.471	6.753
<i>P</i> 值	0.802	<0.001	0.247	<0.001	0.638	<0.001

* *P* 值<0.05 与同组治疗前比较(配对 *t* 检验)

3 讨论

MHD治疗终末期肾病主要是模仿肾部分功能以清除患者体内大量蓄积的毒性代谢产物和减轻水钠潴留,但目前MHD技术主要清除对象仍是小分子毒素,对相对分子质量超过500 000的中、大分子清除效果有限^[7]。因此,探寻安全高效的血液净化方式一直是临床研究重点。

研究^[8]显示,高通量透析使用的透析膜具有很好的水力学通透性和生物相容性,可通过弥散、对流及吸附的方式将血液中相对分子质量较大的溶质移至透析液中,能有效提高对中、大分子物质及炎症因子的清除效果。但相关研究^[9-10]表明,能通过低通量透析膜的部分细菌产物和一些内毒素片段同样能通过高通量透析膜,加上受反超滤的影响,随着透析时间的延长,常规透析液中的细菌和微生物更容易在透析滤过时进入体内,进一步影响患者氧化应激和炎症状态,不利于终末期肾病MHD患者内环境

稳态的恢复。而多数终末期肾病患者肾功能严重受损甚至丧失,导致肾脏代谢氧化产物的作用及清除炎症因子的能力均降低,氧化/抗氧化及促炎/抗炎能力失衡,氧自由基及炎症介质被大量释放,而普遍存在的氧化应激反应和微炎症状态是影响患者预后的最重要病因^[11]。其中MDA和GSH-px是反映机体氧化和抗氧化能力的常用指标之一,前者大量堆积可进一步损伤终末期肾病患者患者的残余肾功能,后者主要发挥抗氧化作用提高机体抗氧化能力^[12]。IL-6、IL-13及CRP则是反映机体微炎症状态的常用指标,IL-6和CRP与炎症反应程度相关,其水平会随透析周期延长而增加,IL-13可中和过量的促炎介质以减轻机体炎症反应^[13]。本研究采用超纯透析液,结果显示,超纯透析液组患者MDA、IL-6、CRP水平明显低于非超纯透析液组,GSH-px、IL-13水平明显高于非超纯透析液组,而肾功能指标水平虽呈下降趋势,但eGFR水平明显高于非超纯透析液组,表明超纯透析液联合高通量透析治疗可有

效抑制终末期肾病 MHD 患者氧化应激反应和微炎症状态的持续加重,促使机体氧化/抗氧化能力及促炎/抗炎能力平衡恢复,延缓残肾功能的丢失。研究^[14]显示,导致终末期肾病 MHD 患者残余肾功能丧失的独立因素之一为透析液的微生物纯度。本研究采用超纯透析液具有较一定优势,首先是超纯水中的细菌、内毒素含量极低,能达到静脉注射用水的标准,采用 Ecomix 中心配液供液机配置的方式获得超纯透析液,可提高透析液配置精度,加上 B 液为 B 粉筒联机产生,能最大程度减少生物污染,促使细菌和微生物入血机会低于普通透析用水,减少这类物质对机体产生的刺激,减轻对 MHD 患者氧化应激水平的影响,从而降低脂质过氧化所引发的炎症损伤,改善微炎症状态;其次是超纯透析液在循环管路中传输应用的管路不同于普通透析用水,特点是管路最短、管路无缝连接、管路内表面光滑、环形通路无死腔,且全程密闭输送透析液至透析机,有效避免了输送过程中超纯透析液的二次污染,使得透析液的微生物纯度得到有效保障^[15-16]。

机体肾功能正常的情况下,血液中的钙磷此消彼长,处于一个平衡状态,当肾功能受损时,钙磷代谢发生紊乱,血清中的磷增加,发生高磷血症的风险也相应增加,是以钙磷代谢失衡和营养不良是终末期肾病 MHD 患者常见并发症^[17]。本研究结果显示,超纯透析液组 Hb 及血钙水平更高,血磷、钙磷乘积水平更低,提示超纯透析液联合高通量透析治疗有助于促进终末期肾病 MHD 患者维持体内钙磷平衡稳定。考虑是超纯透析液联合高通量透析治疗清除了血液中大量蓄积的磷,促使患者体内钙磷平衡达到稳定,且有研究^[18]显示使用超纯透析液可改善 MHD 患者营养状况,有助于提高其胃肠等消化、吸收功能,进而增加钙摄入量,进一步促进钙磷平衡和改善微炎症状态。

综上所述,超纯透析液联合高通量透析治疗能有效改善终末期肾病 MHD 患者体内氧化应激反应及微炎症状态,利于稳定钙磷代谢平衡,延缓残肾功能丢失,值得临床推广应用。

[参考文献]

[1] Dorans KS, Wright Nunes JA, Schaubel DE, et al. Associations of anxiety during the COVID-19 pandemic with patient characteristics and behaviors in CKD patients: findings from the chronic renal insufficiency cohort (CRIC) study[J]. *Kidney360*,2022,3(8):1341-1349.

[2] Gusev E, Solomatina L, Zhuravleva Y, et al. The pathogenesis of end-stage renal disease from the standpoint of the theory of

general pathological processes of inflammation[J]. *Int J Mol Sci*,2021,22(21):11453.

[3] Chen J, Wang J, Liu Y, et al. Mortality and associated risk factors between young and elderly maintenance haemodialysis patients: a multicentre retrospective cohort study in China[J]. *BMJ Open*,2023,13(2):e066675.

[4] 葛珊珊,陈洪宇,曾佳丽,等.腹膜透析患者容量超负荷、腹膜纤维化的中西医结合诊治[J].*中国中西医结合肾病杂志*,2020,21(2):187-188.

[5] 赵璐,张慧玲,刘佳雯,等.透析用水细菌及内毒素含量在热消毒和化学消毒全过程中的动态规律特征研究[J].*中国感染控制杂志*,2022,21(5):469-475.

[6] Levey, Andrew S. A decade after the KDOQI CKD guidelines [J]. *Am J Kidney Dis*,2012,60(5):683-685.

[7] Lim JH, Kim JH, Jeon Y, et al. The benefit of planned dialysis to early survival on hemodialysis versus peritoneal dialysis: a nationwide prospective multicenter study in Korea [J]. *Sci Rep*,2023,13(1):6049.

[8] 杨彦平,李海燕,刘国.腹膜透析与高通量血液透析对老年终末期肾病患者氧化应激水平及细胞免疫功能的影响[J].*中国现代医学杂志*,2020,30(16):77-80.

[9] Abe M, Masakane I, Wada A, et al. High-performance dialyzers and mortality in maintenance hemodialysis patients [J]. *Sci Rep*,2021,11(1):12272.

[10] Cimino C, Burnett Y, Vyas N, et al. Post-dialysis parenteral antimicrobial therapy in patients receiving intermittent high-flux hemodialysis[J]. *Drugs*,2021,81(5):555-574.

[11] 丁芳.老年终末期肾病患者血液透析时心血管疾病发生及影响因素[J].*中国老年学杂志*,2021,41(4):870-873.

[12] 刘爱英,冯国徽,孙秀丽.血液透析与腹膜透析对终末期肾病患者血脂、氧化应激及炎症因子的影响[J].*中国煤炭工业医学杂志*,2020,23(1):57-61.

[13] 李建伟,张丽娜,张英民,等.miR-203 基因启动子区甲基化与肥胖膝关节炎患者滑膜炎水平相关性研究[J].*中国医药导报*,2020,17(12):32-35,60.

[14] 金李,郑婕,邵耀中,等.改良渐进性腹膜透析的临床疗效[J].*肾脏病与透析肾移植杂志*,2021,30(6):541-546.

[15] Rootjes PA, Nubé MJ, Zuijdewijn CLM, et al. Effect of various dialysis modalities on intradialytic hemodynamics, tissue injury and patient discomfort in chronic dialysis patients: design of a randomized cross-over study (HOLLANT)[J]. *BMC Nephrol*,2021,22(1):131.

[16] Carvalho GC, Bugno A, Almodovar AAB, et al. Validation and applicability of an alternative method for dialysis water and dialysate quality analysis[J]. *J Bras Nefrol*,2020,42(2):163-174.

[17] 鲁冰,任东升,陶雅非,等.维持性血液透析与持续不卧床腹膜透析对终末期肾病患者钙磷代谢及氧化应激的影响比较[J].*新乡医学院学报*,2022,39(9):833-837.

[18] 姚晶,赵佳钰,严书玲,等.CDDS 超纯水血液透析与普通透析对维持性血透患者在营养状况方面的影响对比[J].*国际护理学杂志*,2021,40(7):1226-1228.