

高钠置换液连续性血液净化治疗在儿童 脑水肿中的应用*

熊道学¹ 姜建渝¹ 冯琰¹

[摘要] 目的:探讨高钠置换液连续性血液净化治疗在儿童脑水肿中的应用价值。方法:将 42 例合并脑水肿且具备连续性血液净化指征的患儿随机分为 2 组,常规组 20 例,高钠组 22 例。常规组连续性血液净化治疗选用钠浓度为 140 mmol/L 的置换液,高钠组选用钠浓度为 148 mmol/L 的置换液,比较 2 组患儿治疗期间血钠水平、并发症发生率及治疗结局。结果:以入院 1 周为时间截点,常规组共进行连续性血液净化治疗 48 次,高钠组 45 次。常规组及高钠组治疗期间血钠高值分别为(136.7±4.6)mmol/L 和(140.4±6.1)mmol/L,2 组间差异有统计学意义($P<0.05$);常规组及高钠组治疗结束时血钠分别为(135.4±5.2)mmol/L 和(138.3±6.2)mmol/L,2 组间差异有统计学意义($P<0.05$)。常规组治疗结束时血钠与治疗前的(133.8±4.3)mmol/L 相比,差异无统计学意义($P>0.05$);高钠组治疗结束时与治疗前的(133.1±4.5)mmol/L 相比,差异有统计学意义($P<0.05$)。2 组患儿治疗过程中均未出现明显高血钠及高血压病例;常规组低血压发生率为 16.7%(8/48),高钠组为 2.2%(1/45),2 组间差异有统计学意义($P<0.05$)。结论:对于合并脑水肿的患儿,在连续性血液净化治疗期间,适当提高置换液钠浓度,能够提升患儿血钠水平,减少低血压发生率,优化连续性血液净化治疗对脑水肿的疗效。

[关键词] 脑水肿;连续性血液净化;高钠置换液;儿童

DOI:10.13201/j.issn.1009-5918.2023.04.004

[中图分类号] R720.5 **[文献标志码]** A

High-sodium replacement fluid for continuous blood purification in children with cerebral edema

XIONG Daoxue JIANG Jianyu FENG Yan

(Department of Pediatric Intensive Medicine, Chongqing University Three Gorges Hospital, Chongqing, 404000, China)

Corresponding author: JIANG Jianyu, E-mail: 13594704198@126.com

Abstract Objective: To assess the value of applying high-sodium replacement fluid to continuous blood purification(CBP) in children with cerebral edema. **Methods:** Forty-two cases complicated with cerebral edema and indicated for CBP were randomized into two groups, with one group($n=20$) administered with routine CBP(rCBP group) and the other($n=22$) receiving CBP with high-sodium replacement fluid(hsCBP group). The rCBP group underwent CBP with 140 mmol/L sodium, while the hsCBP group used replacement fluid containing 148 mmol/L sodium to compare blood sodium during treatment, complication rate, and treatment outcomes between the two groups. **Results:** Within the first week of hospitalization, the rCBP and hsCBP groups underwent 48 and 45 CBP sessions, respectively. During treatment, high-level blood sodium reached(136.7±4.6)mmol/L in the rCBP group and(140.4±6.1)mmol/L in the hsCBP group, suggesting a difference of statistical significance($P<0.05$); at the end of the treatment course, blood sodium was(135.4±5.2)mmol/L in the rCBP group and(138.3±6.2)mmol/L in the hsCBP group, demonstrating a significant difference between the two groups($P<0.05$). In the rCBP group, blood sodium did not differ greatly before and after treatment: (133.8±4.3)mmol/L vs(135.4±5.2)mmol/L; in the hsCBP group, the pre-treatment blood sodium was(133.1±4.5)mmol/L, significantly different from the blood sodium level(138.3±6.2)mmol/L at the end of treatment($P<0.05$). High blood sodium and hypertension were not evident in either group throughout the treatment course; besides, hypotension had an incidence of 16.7%(8/48) in the rCBP group and merely 2.2%(1/45) in the hsCBP group, representing a difference of statistical significance between the two groups($P<0.05$). **Conclusion:** In children complicated with cerebral edema, the sodium concentration of the replacement fluid for CBP should be mildly increased to raise the blood sodium level, reduce the risk of hypotension and improve the efficacy of CBP.

*基金项目:重庆市万州区科卫联合医学科科研项目(No:wzstc-kw2020026)

¹重庆大学附属三峡医院儿童重症医学科(重庆,404000)

通信作者:姜建渝,E-mail:13594704198@126.com

Key words cerebral edema; continuous blood purification; high-sodium replacement fluid; children

脑水肿在危重症患者中有较高发病率,是导致颅内压升高的最常见原因之一,往往会加剧受损组织的功能障碍,与疾病死亡率及患者后期生活质量密切相关^[1-2]。目前,脑水肿的治疗主要包括:高渗疗法、过度通气、温度调节、脑脊液转移、手术减压、代谢抑制等,其中高渗盐水已被证实对脑水肿的控制中疗效确切^[3-4]。近年来,连续性血液净化(continuous blood purification,CBP)越来越多地应用于各种危重症的抢救^[5]。对于合并脑水肿的患儿,CBP可通过超滤脱水,缓解液体超负荷,也被认为是对脑水肿患儿比较理想的治疗方式^[6]。本研究充分利用CBP处方设置的优势,在CBP治疗过程中联合应用高钠置换液模式,进一步探讨CBP对

于脑水肿患儿的合理优化措施,现报道如下。

1 资料与方法

1.1 临床资料

选取2020年1月—2021年12月重庆大学附属三峡医院儿童重症医学科符合纳入标准的患儿42例。42例患儿性别、年龄、体重、原发疾病分布及病例特点见表1。

采用随机数字表法,将42例患儿分为2组,常规组20例,高钠组22例。2组患儿性别、年龄、体重、入院时格拉斯哥昏迷评分(GCS)、血钠水平及凝血功能指标等一般资料比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。见表2、表3。本研究经我院医学伦理委员会批准[No:2020年科研第(88)号]。

表1 42例患儿原发疾病及病例特点

例序	性别	年龄	体重/kg	原发疾病	伴随症状						机械通气		
					意识障碍	头痛	惊厥	呕吐	前囟隆起	瞳孔改变		高血压	颅脑影像
1	女	10月2天	9.0	支气管异物	+		+		+	+			+
2	女	13岁	43.0	甲亢危象	+			+				+	+
3	女	1岁9月	8.0	急性坏死性脑病	+		+			+		+	+
4	男	6岁10月	20.5	FIRES	+		+			+			+
5	男	10岁4月	51.0	暴发性心肌炎		+		+					+
6	女	1岁7月	9.5	纵隔脓肿				+				+	
7	男	5月7天	8.5	铜绿假单胞菌败血症					+			+	
8	男	8岁	27.0	溶血尿毒症综合征								+	
9	女	14岁	46.0	暴发性心肌炎	+	+							+
10	女	1岁4月	7.0	丙酸血症	+			+					
11	男	1岁5月	11.5	化脓性脑膜炎	+		+				+		
12	女	5岁5月	20.0	暴发性心肌炎	+			+				+	
13	女	10月12天	8.0	严重复合创伤	+		+				+		
14	女	12岁4月	23.0	急性肾衰竭		+		+			+		
15	男	11岁1月	31.0	脓毒症	+		+					+	
16	男	12岁11月	35.0	狼疮危象		+						+	
17	男	9岁8月	26.0	毒蕈中毒				+				+	
18	女	9岁7月	16.5	严重复合创伤	+		+			+	+	+	+
19	男	3岁	13.5	脓毒性休克	+					+		+	
20	男	9岁2月	45.0	特重度烧伤	+								+
21	男	11岁10月	35.0	斯-琼综合征		+		+					+
22	女	7岁7月	22.0	化脓性脑膜炎	+	+	+			+	+	+	
23	男	6岁9月	18.5	急性肝衰竭	+			+		+			
24	女	9岁9月	29.0	暴发性心肌炎		+		+					+
25	男	13岁3月	50.0	特重度烧伤	+								+
26	女	6岁5月	16.5	毒蕈中毒	+			+				+	+
27	男	8岁10月	28.0	重症肺炎	+			+					+
28	女	12岁8月	50.0	异丙嗪中毒	+								+
29	女	6岁8月	20.0	重症肺炎			+	+					+

续表 1

例序	性别	年龄	体重/kg	原发疾病	伴随症状						机械通气	
					意识障碍	头痛	惊厥	呕吐	前囟隆起	瞳孔改变		高血压
30	男	12 岁 8 月	60.0	蜂螫伤	+							+
31	男	1 岁 11 月	11.5	肝衰竭	+						+	
32	男	2 岁 7 月	12.0	毒蕈中毒	+			+	+			
33	男	5 岁 4 月	17.0	重症肺炎		+						+
34	女	13 岁 9 月	46.0	狼疮危象	+		+		+		+	
35	男	13 岁 11 月	50.0	脓毒性休克				+			+	
36	男	2 岁 11 月	7.4	有机磷中毒	+							+
37	男	4 月 19 天	8.0	脓毒症			+				+	
38	男	13 岁 2 月	49.0	百草枯中毒		+		+			+	
39	男	6 岁 9 月	23.5	肝衰竭				+		+		
40	女	8 岁 2 月	23.5	蜂螫伤	+				+		+	
41	女	7 岁 7 月	17.0	毒蕈中毒				+			+	
42	男	6 岁 4 月	22.0	毒蕈中毒	+	+					+	

注:FIRES,热性感染相关性癫痫综合征;意识障碍,昏迷或昏睡;瞳孔改变,瞳孔不等大或扩大;颅脑影像,头颅 CT 和(或)MRI 提示脑水肿;MODS,2 个及以上器官功能障碍。

表 2 2 组患儿入院时一般资料比较

M(Q₁,Q₃), $\bar{X} \pm S$

组别	例数	性别/例		年龄/月	体重/kg	GCS 评分/分	血钠/(mmol/L)
		男	女				
常规组	20	10	10	89(17.5,130.8)	20.3(9.1,34)	8.2±3.2	134.6±5.5
高钠组	22	14	8	91(72.3,152)	22.8(16.9,46.8)	7.7±2.4	132.7±4.7
t/Z/χ ²		0.795		0.907	1.147	0.597	1.185
P		0.372		0.365	0.252	0.554	0.243

表 3 2 组患儿入院时凝血功能指标比较

M(Q₁,Q₃)

组别	例数	血小板/	凝血酶原	活化部分凝血酶	国际标准	纤维蛋白原/
		(×10 ⁹ /L)	时间/s	时间/s	化值	(g/L)
常规组	20	174.5(105.8,212.5)	12.4(11.4,22.5)	36.2(30.2,43.4)	1.1(1.0,2.0)	2.3(1.6,3.2)
高钠组	22	220.0(89.8,322.8)	13.0(12.1,21.3)	33.7(27.4,40.8)	1.1(1.0,1.9)	2.5(1.4,3.5)
Z		0.970	0.277	0.919	0.189	0.391
P		0.332	0.782	0.358	0.850	0.696

纳入标准:①存在脑水肿表现且需具备 CBP 指征。脑水肿诊断标准^[7]:临床具有以下主要体征 1 项,次要体征 2 项,或具有头颅 CT 和(或)MRI 提示脑水肿证据。主要体征:呼吸不规则、高血压、神经视乳头水肿、瞳孔改变、前囟紧张或隆起;次要体征:昏迷、惊厥、呕吐、头痛、使用甘露醇后症状明显缓解。CBP 指征^[8]:急性肾损伤 2 期及以上;严重全身炎症反应性疾病,包括严重脓毒症或脓毒性休克、重症胰腺炎等;中重度中毒;急性肝衰竭;各种代谢病危象;难治性自身免疫性疾病、溶血尿毒综合征或合并器官功能衰竭;以及各种危重症出现液体超负荷(>10%),危及生命或常规治疗无效的电解质紊乱及酸碱失衡。②患儿家属知情同意。

排除标准:①存在 CBP 禁忌证;②CBP 介入前

存在明显高钠或低钠血症(血钠>155 mmol/L 或 <125 mmol/L);③在 CBP 治疗期间曾静脉输注高渗盐水;④首次 CBP 介入时已超过入院 48 h;⑤因死亡或放弃治疗等因素导致住院时间<1 周;⑥临床呈现脑死亡者。

1.2 方法

1.2.1 常规治疗 所有病例均给予常规内科治疗,如脓毒症予以扩容、抗休克、抗感染,中毒者促进毒物排泄、应用解毒剂,呼吸循环衰竭者予以机械通气、血管活性药物,抽搐者积极控制惊厥发作等。同时维护内环境稳定、保护心肝肾等重要脏器功能。所有患儿均给予 20%甘露醇降颅压,部分患儿联合予以速尿、白蛋白、激素等。

1.2.2 CBP 实施 CBP 治疗使用 Gambro 公司

的 Prismaflex 床旁血滤机和配套管路滤器(体重 30 kg 以下儿童采用 M60 型,30 kg 及以上儿童采用 M100 型)。血管通路为股静脉或颈内静脉单针双腔置管(7.0~8.5F)。凝血功能正常者选取体内肝素抗凝,凝血功能异常者选取体外肝素或枸橼酸钠抗凝。均采用连续性静脉-静脉血液透析滤过(CVVHDF)治疗模式,置换液治疗剂量:30~50 mL/(kg·h),透析液与置换液比例 1:1;血流量:3~5 mL/(kg·min)。CBP 治疗前后各测血电解质 1 次,治疗过程中每 2~4 小时监测血电解质 1 次。

常规组:透析液及置换液均选用血液滤过置换基础液,碳酸氢钠、氯化钾按比例配合(每 4 000 mL 配合 5%碳酸氢钠 250 mL、10%氯化钾 13.5 mL),以上配方渗透压为 280 mOsm/L,离子浓度为:葡萄糖 10.00 mmol/L,钠离子 140.00 mmol/L,氯离子 110.00 mmol/L,镁离子 0.75 mmol/L,钙离子 1.50 mmol/L,碳酸盐 35.00 mmol/L,钾离子 4.5 mmol/L。

高钠组:透析液与常规组一致,置换液在透析液基础上,每 4 000 mL 加入 10%氯化钠 20 mL,使钠离子浓度提升至 148 mmol/L。

1.3 观察指标

以入院 1 周为时间截点,记录患儿每次 CBP 治疗前后血钠值、CBP 治疗过程中血钠高值,以及治疗结束时血氯值及酸碱平衡指标,包括 pH 值、碳酸氢根及剩余碱;监测 CBP 过程中低血压、高血钠及高血压等并发症发生率,以及病情转归情况。低血压界定标准:①基础血压正常者,出现收缩压低于该年龄组正常值 2 个标准差以下;②基础血压低于正常者,出现收缩压下降超过基础血压 10%和(或)需要调节血管活性药用量以维持血压。高血钠界定标准:任一次血钠 > 155 mmol/L。高血

压界定标准:①基础血压正常者,收缩压高于该年龄组正常值 2 个标准差以上;②基础血压高于正常者,出现收缩压上升超过基础血压 10%。病情转归评估标准:结合患儿入院 1 周临床体征、GCS 评分、头颅影像学结果与之前结果进行对比,将病情转归定义:①好转:患儿临床体征减轻或消失,或 GCS 评分较前提高 > 3 分,或头颅影像学提示脑水肿减轻。②无效:患儿临床体征无改善或恶化,或 GCS 评分较前提高 ≤ 3 分,或头颅影像学提示脑水肿无减轻或加重。

1.4 统计学方法

采用 SPSS 25.0 软件对数据进行处理,计量资料符合正态分布的以 $\bar{X} \pm S$ 表示,组间比较采用 t 检验,同组治疗前后比较采用配对 t 检验;非正态分布定量资料以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示,组间比较采用非参数秩和检验,同组治疗前后采用非参数配对秩和检验。计数资料以例数和百分数表示,比较采用 χ^2 校正检验。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

常规组共进行 CBP 治疗 48 次,每次持续时间中位数 9 h;高钠组共进行 CBP 治疗 45 次,每次持续时间中位数 10 h。治疗期间 2 组血钠高值比较,差异有统计学意义($P < 0.05$);治疗结束时 2 组血钠比较,差异有统计学意义($P < 0.05$)。常规组治疗结束时血钠与治疗前比较,差异无统计学意义($P > 0.05$);高钠组治疗结束时与治疗前比较,差异有统计学意义($P < 0.05$)。2 组患儿治疗过程中均未出现明显高血钠及高血压病例。治疗期间低血压发生率,2 组间差异有统计学意义($P < 0.05$)。见表 4。

2 组患儿治疗结束时血氯比较,差异有统计学意义($P < 0.05$);治疗结束时 pH 值、碳酸氢根及剩余碱比较,差异无统计学意义($P > 0.05$)。见表 5。

表 4 2 组患儿 CBP 治疗期间临床资料比较

组别	CBP 次数	CBP 前血钠/ (mmol/L)	CBP 中血钠高值/ (mmol/L)	CBP 结束时血钠/ (mmol/L)	CBP 中低血压次数/ 次(%)
常规组	48	133.8±4.3	136.7±4.6	135.4±5.2	8(16.7)
高钠组	45	133.1±4.5	140.4±6.1	138.3±6.2 ¹⁾	1(2.2)
t/χ^2		0.817	3.256	2.473	4.015
P		0.416	0.002	0.015	0.045

与本组 CBP 前血钠比较,¹⁾ $P < 0.05$ 。

表 5 2 组患儿 CBP 治疗结束时血氯及酸碱指标比较

组别	CBP 次数	血氯/(mmol/L)	pH 值	碳酸氢根/(mmol/L)	剩余碱/(mmol/L)
常规组	48	103.1±4.3	7.44±0.07	24.9±3.8	0.9±4.6
高钠组	45	105.1±3.9	7.41±0.08	24.0±4.4	-0.7±5.0
t		2.367	1.762	1.080	1.578
P		0.020	0.081	0.283	0.118

入院 1 周时病情转归比较, 2 组间差异无统计学意义($P > 0.05$)。见表 6。2 组患儿分别死亡 1 例, 原发病为严重创伤及百草枯中毒。存活病例均随访半年, 常规组遗留神经系统后遗症 4 例, 高钠组遗留神经系统后遗症 1 例。

表 6 2 组患儿入院 1 周治疗结局比较 例(%)

组别	例数	好转	无效
常规组	20	15(75.0)	5(25.0)
高钠组	22	19(86.4)	3(13.6)
χ^2			0.295
P			0.587

3 讨论

危重症患儿往往存在多脏器功能障碍甚至衰竭, 其中合并急性颅内高压及脑水肿者, 死亡率和神经系统后遗症发生率更高^[9]。在创伤性脑损伤(TBI)中, 脑水肿也往往与其预后不良相关^[10]。对明确存在脑水肿的患儿, 及时采取综合有效的干预措施, 对缓解患儿病情、改善临床预后具有重要意义。目前, 对于脑水肿, 渗透性脱水是最常用的治疗措施, 临床常用的渗透性脱水剂为甘露醇和高渗盐水。适当提高血钠水平能够提升血浆渗透压, 减轻脑水肿, 故推荐在神经危重症患者脑水肿中使用高渗钠溶液^[11-12]。有学者认为, 为达到良好控制颅内高压的目的, 可将血钠 145~155 mmol/L 和血渗透压 310~320 mOsm/L 作为治疗的适宜参照指标^[13]。目前, 补充血钠的方式以静脉注射高渗盐水为主^[14], 但高渗盐水的输注, 尤其是间断输注, 无疑会导致血钠水平的高低起伏, 影响临床疗效。

近年来^[8], CBP 在重症医学界取得了重要发展, 已成为各种危重病救治重要的支持措施。目前认为, 对于经验丰富的团队, CRRT 可以应用于任何年龄和体重的急性肾损伤和体液超负荷的危重儿童^[15]。CBP 可以超滤脱水, 缓解液体超负荷, 对于合并有脑水肿及颅内高压的患儿, 可在其中明显获益, 为控制脑水肿开辟了新的途径, 呈现出良好的应用前景。CBP 在理论上可通过透析液和(或)置换液补充所需钠离子, 维持较平稳的血钠水平。也有学者通过数学模型证明高钠 CBP 对脑水肿治疗的可行性, 且成功在肝衰竭、心肺复苏后合并脑水肿的患者中使用^[16-17]。本研究即充分利用了 CBP 处方设置的优势, 对于合并有脑水肿, 且临床本身存在 CBP 治疗适应证的危重患儿, 在超滤脱水的基础上, 联合应用高钠置换液模式, 使用钠离子浓度为 148 mmol/L 的置换液, 替代传统钠离子浓度为 140 mmol/L 的置换液, 观察其疗效。经对比分析, 通过调整置换液钠浓度, 患儿能够在其整个治疗期间及治疗后维持较高血钠水平。而适当的高

血钠水平及血管内高渗透压无疑对进一步降低颅内压、减轻脑水肿有利^[18]。

另一方面, 儿童, 尤其是婴幼儿, 血容量少, 加上危重患儿往往自身即存在休克、低血压等组织灌注不足表现, 会导致患儿对 CBP 治疗耐受性下降^[19]。CBP 治疗过程中的体外循环、超滤脱水, 以及随着溶质清除导致的血浆渗透压下降, 均可能增加患儿低血压风险, 从而影响脑灌注压, 甚至会进一步加重脑水肿。尽管随着血液净化通路和回路技术的进步, 更小容量的回路得以生产并应用于临床, 使 CBP 在儿童患者中的实施更为安全、可靠, 但仍不能完全避免其低血压等并发症的发生^[20]。有研究发现, CBP 治疗时低血压发生率可高达 49.7%^[21], 本研究中常规治疗组低血压发生率也达 16.7%。Lund 等^[22]通过观察 13 例接受颅内压(intracranial pressure, ICP)监测的患者在间歇性血液透析(intermittent hemodialysis, IHD)或连续性肾脏替代治疗(continuous renal replacement therapy, CRRT)期间 ICP 的变化情况, 发现血液透析与神经危重症患者的 ICP 升高有关, 且最大 ICP 增加与透析方式无关。如果在 CBP 治疗过程中, 联合应用高钠置换液, 即可平稳地在血管与脑组织之间建立渗透梯度, 驱使水分从细胞内和组织间隙进入血管, 增加血管再充盈度, 补充超滤脱水造成的血容量下降, 减轻 CBP 对患儿血压的影响^[23-24]。本研究显示, 通过对脑水肿患儿 CBP 置换液钠浓度的调整, 能够明显降低治疗过程中低血压发生率, 从而减轻由 CBP 导致的脑水肿加重风险。

目前, 在慢性维持性透析患者中, 较为认同的观点是, 采用高钠透析模式, 在降低患者治疗过程中低血压发生率的同时, 可提高患者非期望高血压及高血钠发生率^[25]。但通过本研究发现, 在 CBP 期间, 即使使用较高钠浓度置换液, 患儿在整个治疗过程中及治疗结束后, 并未出现明显高血压及高血钠病例, 所有纳入病例在治疗实施过程中, 其血钠高限值为 155 mmol/L, 在继续执行原方案 CBP 处方情况下, 血钠自行下降。考虑与患儿 CBP 期间透析液仍采用常规钠浓度, 潜在的高血钠能够被其有效缓冲有关。同时, 我们认为, 与日常即需限制钠摄入及严格控制血压的慢性疾病, 例如慢性肾脏病等相比, 危重症脑水肿患儿对轻度高血钠的耐受性更高, 适当的高血钠水平反而能使患儿获益。

鉴于本研究中置换液钠浓度提高是通过向置换液中加入氯化钠而实现, 在提高了钠浓度的同时也提高了氯离子浓度, 理论上存在增加代谢性酸中毒的风险。因此, 在实施过程中, 我们同时监测了患儿氯离子浓度及酸碱平衡指标, 结果显示, 应用此种方法确会在一定程度上会提高患儿血氯水平, 但并未出现明显代谢性酸中毒表现, 我们考虑与

CBP治疗中置换液及透析液本身具有缓冲酸碱失衡功能有关。

在病情转归上,本研究显示,采用常规钠浓度及高钠置换液后的患儿,其入院1周好转率差异无统计学意义,且2组随访均有死亡病例及遗留神经系统后遗症病例。我们认为,与本次研究病例数量偏少,且原发疾病分布不同有关,需在以后临床工作中进一步深入探讨。

综上所述,在CBP治疗实施过程中,适当提高其置换液钠浓度,能够提高患儿血钠水平,减少低血压等并发症发生率,可进一步优化CBP对于脑水肿的临床疗效,且安全性高,值得推广应用。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Halstead MR, Geocadin RG. The medical management of cerebral edema: past, present, and future therapies [J]. *Neurotherapeutics*, 2019, 16(4): 1133-1148.
- [2] Hinduja A, Gokun Y, Ibekwe E, et al. Risk factors for development of cerebral edema following cardiac arrest [J]. *Resuscitation*, 2022, 181: 297-303.
- [3] Cook AM, Morgan Jones G, Hawryluk GWJ, et al. Guidelines for the acute treatment of cerebral edema in neurocritical care patients [J]. *Neurocrit Care*, 2020, 32(3): 647-666.
- [4] Holden DN, Mucksavage JJ, Cokley JA, et al. Hypertonic saline use in neurocritical care for treating cerebral edema: A review of optimal formulation, dosing, safety, administration and storage [J]. *Am J Health Syst Pharm*, 2023, 80(6): 331-342.
- [5] 刘春峰. 血液净化技术在儿童重症疾病中的应用 [J]. *中华实用儿科临床杂志*, 2020, 35(18): 1365-1368.
- [6] 胡马洪, 赖志珍, 孟建标, 等. 大容量血液滤过改善重型颅脑损伤患者脑功能的多中心随机对照研究 [J]. *中华危重症医学杂志(电子版)*, 2019, 12(2): 98-103.
- [7] 江载芳, 申昆玲, 沈颖. 诸福棠实用儿科学 [M]. 8版. 北京: 人民卫生出版社, 2015: 2725-2735.
- [8] 儿童危重症连续性血液净化应用共识工作组. 连续性血液净化在儿童危重症应用的专家共识 [J]. *中华儿科杂志*, 2021, 59(5): 352-360.
- [9] Laws JC, Jordan LC, Pagano LM, et al. Multimodal neurologic monitoring in children with acute brain injury [J]. *Pediatr Neurol*, 2022, 129: 62-71.
- [10] Jha RM, Kochanek PM, Simard JM. Pathophysiology and treatment of cerebral edema in traumatic brain injury [J]. *Neuropharmacology*, 2019, 145 (Pt B): 230-246.
- [11] Shi JM, Tan LH, Ye J, et al. Hypertonic saline and mannitol in patients with traumatic brain injury: a systematic and meta-analysis [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2020, 99(35): e21655.
- [12] Desai A, Damani R. Hyperosmolar therapy: a century of treating cerebral edema [J]. *Clin Neurol Neurosurg*, 2021, 206: 106704.
- [13] 陈胜龙, 曾红科. 高渗盐水在脑水肿颅高压患者中的临床应用 [J]. *中华急诊医学杂志*, 2014, 23(12): 1305-1306.
- [14] Regensburger AP, Konrad V, Trollmann R, et al. Treatment of severe traumatic brain injury in German pediatric intensive care units—a survey of current practice [J]. *Childs Nerv Syst*, 2019, 35(5): 815-822.
- [15] Erkol Tuncer GH, Ekim M, Okulu E, et al. Continuous renal replacement therapy in critically ill children: single-center experience [J]. *Turk J Med Sci*, 2021, 51(1): 188-194.
- [16] Hamdi T, Yessayan L, Yee J, et al. High sodium continuous veno-venous hemodialysis with regional citrate anticoagulation and online dialysate generation in patients with acute liver failure and cerebral edema [J]. *Hemodial Int*, 2018, 22(2): 184-191.
- [17] Fang DA, Chabrier-Rosello JO, McMahon BA, et al. Achieving osmotic stability in the context of critical illness and acute kidney injury during continuous renal replacement therapy [J]. *ASAIO J*, 2020, 66(7): e90-e93.
- [18] Ságová M, Wojke R, Maierhofer A, et al. Automated individualization of dialysate sodium concentration reduces intradialytic plasma sodium changes in hemodialysis [J]. *Artif Organs*, 2019, 43(10): 1002-1013.
- [19] Fernández Lafever SN, López J, González R, et al. Hemodynamic disturbances and oliguria during continuous kidney replacement therapy in critically ill children [J]. *Pediatr Nephrol*, 2021, 36(7): 1889-1899.
- [20] Sanderson KR, Harshman LA. Renal replacement therapies for infants and children in the ICU [J]. *Curr Opin Pediatr*, 2020, 32(3): 360-366.
- [21] Fernández S, Santiago MJ, González R, et al. Hemodynamic impact of the connection to continuous renal replacement therapy in critically ill children [J]. *Pediatr Nephrol*, 2019, 34(1): 163-168.
- [22] Lund A, Damholt MB, Wiis J, et al. Intracranial pressure during hemodialysis in patients with acute brain injury [J]. *Acta Anaesthesiol Scand*, 2019, 63(4): 493-499.
- [23] Kanbay M, Ertuglu LA, Afsar B, et al. An update review of intradialytic hypotension: concept, risk factors, clinical implications and management [J]. *Clin Kidney J*, 2020, 13(6): 981-993.
- [24] Álvarez-Nadal M, Martín-Capón I, Viera-Ramírez ER, et al. Impact of dialysate sodium concentration on vascular refilling [J]. *Hemodial Int*, 2022, 26(1): 30-37.
- [25] 刘静, 邓亚楠, 李静. 血液透析液钠浓度与尿毒症合并高血压患者血压变异性及预后的相关性 [J]. *实验与检验医学*, 2021, 39(4): 951-955.

(收稿日期: 2022-09-07)