

## 碘佛醇、碘克沙醇和碘普罗胺对充血性心力衰竭患者肾功能的影响

王胜奇<sup>a</sup>, 汪爱丹<sup>b</sup>, 王晶<sup>a</sup>

(首都医科大学宣武医院 a. 急诊科; b. 放射科, 北京 100045)

**【摘要】目的:** 观察碘佛醇、碘克沙醇和碘普罗胺对充血性心力衰竭患者肾功能的影响。**方法:** 选取2017年3—12月入住首都医科大学宣武医院行强化CT的充血性心力衰竭患者198例, 随机分为碘佛醇组64例、碘克沙醇组65例与碘普罗胺组69例。所有入组患者均在行强化CT检查前及检查后第5、10天查血肌酐 (serum creatinine, SCr)、尿素氮 (blood urea nitrogen, BUN) 及尿微量白蛋白与肌酐比值 (urinary albumin/creatinine ratio, mAlb/Cr), 计算肾小球滤过率 (estimated glomerular filtration rate, eGFR), 比较3组肾功能指标变化及造影剂肾病 (contrast-induced nephropathy, CIN) 发生率。**结果:** 强化CT检查5d后3组患者SCr、BUN及mAlb/Cr均较检查前升高 ( $P < 0.05$ ), eGFR较检查前降低 ( $P < 0.05$ )。检查10d后碘佛醇组mAlb/Cr与eGFR、碘普罗胺组mAlb/Cr仍未恢复至检查前水平 ( $P < 0.05$ ); 强化CT检查5d后碘克沙醇组SCr、mAlb/Cr明显低于碘佛醇组 ( $P < 0.05$ ), eGFR明显高于碘佛醇组 ( $P < 0.05$ ); 碘普罗胺组eGFR明显高于碘佛醇组 ( $P < 0.05$ )。碘佛醇组CIN发生率明显高于碘克沙醇组 ( $P < 0.05$ ), 但与碘普罗胺组CIN发生率无明显统计学差异 ( $P > 0.05$ )。**结论:** 在充血性心力衰竭患者中选择等渗造影剂 (如碘克沙醇) 可以减低CIN发生率, 造影剂黏度对CIN影响较小。

**【关键词】** 造影剂肾病; 充血性心力衰竭; 碘佛醇; 碘克沙醇; 碘普罗胺

BFQ] 【中图分类号】 R981.1

【文献标志码】 A

【文章编号】 1672-3384(2019)03-0025-05

doi:10.3969/j.issn.1672-3384.2019.03.007

## Effects of ioversol, iodixanol and iopromide on renal function in patients with congestive heart failure

WANG Sheng-qi<sup>a</sup>, WANG Ai-dan<sup>b</sup>, WANG Jing<sup>a</sup>

(a. Department of Emergency; b. Department of Radiology, Xuanwu Hospital, Capital Medical University, Beijing 100045, China)

**【Abstract】 Objective:** To observe the effects of ioversol, iodixanol, and iopromide on renal function in patients with congestive heart failure. **Methods:** A total of 198 patients with congestive heart failure (CHF) who prepared for enhanced CT examination were randomly divided into ioversol group (64 cases), iodixanol group (65 cases), and iopromide group (69 cases). All the patients were admitted to Xuanwu Hospital, Capital Medical University from March to December 2017. The blood urea nitrogen (BUN), creatinine (Scr), and urinary albumin/creatinine ratio (mAlb/Cr) were checked before and 5, 10 days after the CT scan, respectively. The glomerular filtration rates (eGFR) were calculated. The renal function indexes, incidences of contrast-induced nephropathy (CIN) were compared among the 3 groups. **Results:** The levels of SCr, BUN, and mAlb/Cr after 5 days of enhanced CT examination were higher than that before in each groups ( $P < 0.05$ ), while the eGFR was lower than that before ( $P < 0.05$ ). The mAlb/Cr, eGFR of ioversol group and the mAlb/Cr of iopromide group did not recover after 10 days of enhanced CT examination ( $P < 0.05$ ). The SCr and mAlb/Cr of iodixanol group were significantly lower than that of ioversol group 5 days after CT examination ( $P < 0.05$ ), while the eGFR was significantly higher ( $P < 0.05$ ). The SCr of iopromide group was significantly lower than that of ioversol group ( $P < 0.05$ ). The incidence of CIN was significantly higher in ioversol group than that in iodixanol group ( $P < 0.05$ ), but there was no significant difference between iopromide group and ioversol group ( $P > 0.05$ ). **Conclusion:** Isotonic contrast agents (iodixanol) can reduce the incidence of CIN in patients with CHF. The viscosity of the contrast media has little effect on CIN.

**【Key words】** contrast-induced nephropathy; congestive heart failure; ioversol; iodixanol; iopromide

[收稿日期] 2019-01-19

[作者简介] 王胜奇, 男, 硕士, 主治医师; 研究方向: 急诊医学; Tel: 13522478091; E-mail: wsq.cums@163.com

造影剂肾病 (contrast-induced nephropathy, CIN) 是指 CT 检查或造影后 24 ~ 48 h 出现的急性肾功能不全, 临床上约有 10% 的医源性急性肾衰竭是由 CIN 导致<sup>[1]</sup>。全世界每年大约有 15 万人发病, 其中至少 1% 的患者需要透析治疗<sup>[2]</sup>, CIN 的发生会明显延长患者住院时间, 增加病死率并导致医疗费用的增长<sup>[3]</sup>。在 CIN 发病中, 充血性心力衰竭 (congestive heartfailure, CHF) 是 CIN 重要的危险因素之一<sup>[4-5]</sup>。CHF 患者罹患 CIN 风险甚至高于高龄、贫血、糖尿病患者<sup>[5]</sup>。因此, CHF 患者的造影剂选择尤为重要。目前国内外研究对造影剂的渗透压、黏度及分子毒性哪个对肾功能影响更大尚无定论。造影剂对严重心功能不全患者肾功能的影响也无明确研究。本研究选取临床常用的非离子型含碘造影剂碘佛醇、碘克沙醇和碘普罗胺, 观察其对

CHF 患者肾功能的影响, 以期对临床造影剂的选择起到一定指导作用。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料

选取 2017 年 3—12 月入住首都医科大学宣武医院行强化 CT 的 CHF 患者 198 例, 其中男 107 例, 女 92 例。心力衰竭诊断参照《中国心力衰竭诊断和治疗指南 2014》<sup>[6]</sup>。将入组患者编号 1 ~ 198, 应用 SPSS 软件由计算机随机分为 3 组: 碘佛醇组 64 例、碘克沙醇组 65 例与碘普罗胺组 69 例, 按就诊先后顺序分配盲号。3 组年龄、性别、体质指数 (body mass index, BMI)、基础疾病状况、心功能指标及强化 CT 检查前肾功能各项指标比较, 差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ ), 见表 1。

表 1 3 组患者一般资料比较

组别	碘佛醇组 (n=64)	碘克沙醇组 (n=65)	碘普罗胺组 (n=69)	F/ $\chi^2$ 值	P 值
年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$ )	63.8 ± 18.3	69.2 ± 22.5	69.9 ± 17.8	1.890	0.693
性别 (男/女)	31/33	34/31	35/34	0.195	0.907
BMI (kg · m <sup>-2</sup> , $\bar{x} \pm s$ )	23.9 ± 4.7	24.3 ± 5.3	23.5 ± 4.2	0.480	0.733
NYHA 分级 [n(%)]				0.188	0.910
III 级	34 (53.1)	37 (56.9)	38 (55.1)		
IV 级	30 (46.9)	28 (43.1)	31 (44.9)		
基础疾病 [n(%)]					
冠心病	45 (70.3)	48 (73.8)	55 (79.7)	1.595	0.450
先天性心脏病	1 (1.6)	0 (0.0)	0 (0.0)	1.848	0.330
心脏瓣膜病	23 (35.9)	27 (41.5)	19 (27.5)	2.940	0.230
高血压	58 (90.6)	49 (75.4)	53 (76.8)	5.920	0.052
心律失常	11 (17.2)	9 (13.8)	15 (21.7)	1.448	0.485
慢性阻塞性肺疾病	8 (12.5)	12 (18.5)	10 (14.5)	0.927	0.629
基础用药 [n(%)]					
抗血小板药物	35 (54.7)	43 (66.2)	47 (68.1)	2.952	0.229
$\beta$ 受体拮抗剂	31 (48.4)	38 (58.5)	29 (42.0)	3.658	0.161
ACEI	19 (29.7)	16 (24.6)	21 (30.4)	0.651	0.722
ARB	32 (50.0)	23 (35.4)	26 (37.7)	3.306	0.191
钙拮抗剂	12 (18.8)	25 (38.5)	18 (26.1)	6.397	0.041
他汀类降脂药	23 (35.9)	19 (29.2)	25 (36.2)	0.919	0.632
地高辛	11 (17.2)	8 (12.3)	6 (8.7)	2.179	0.336
华法林	7 (10.9)	5 (7.7)	7 (10.1)	0.428	0.807
利尿剂	21 (32.8)	18 (27.7)	13 (18.8)	3.449	0.178
LVEF (% , $\bar{x} \pm s$ )	38.5 ± 10.5	39.6 ± 10.3	37.8 ± 9.9	0.520	0.611
NT-proBNP (pg · mL <sup>-1</sup> , $\bar{x} \pm s$ )	13 034.3 ± 5221.3	12 831.7 ± 4911.4	14 034.3 ± 4679.7	1.155	0.509
HGB (g · L <sup>-1</sup> , $\bar{x} \pm s$ )	12.3 ± 3.1	11.9 ± 4.4	12.4 ± 5.1	0.266	0.701
SCr ( $\mu$ mol · L <sup>-1</sup> , $\bar{x} \pm s$ )	73.7 ± 16.5	74.2 ± 14.1	71.3 ± 12.2	0.768	0.310
BUN (mmol · L <sup>-1</sup> , $\bar{x} \pm s$ )	6.5 ± 1.6	6.8 ± 1.1	6.2 ± 1.9	2.428	0.092
mAlb/Cr (mg · mmol <sup>-1</sup> , $\bar{x} \pm s$ )	1.8 ± 0.5	2.1 ± 0.8	2.0 ± 0.9	2.719	0.069
eGFR (mL · min <sup>-1</sup> · 1.73 m <sup>-2</sup> , $\bar{x} \pm s$ )	88.3 ± 8.7	85.9 ± 6.8	89.0 ± 7.6	2.914	0.057

注: BMI 为体质指数; NYHA 为心功能指标纽约分级; ACEI 为血管紧张素转换酶抑制剂; ARB 为血管紧张素 II 受体拮抗剂; LVEF 为左室射血分数; NT-proBNP 为 N-末端脑钠肽原; HGB 为血色素; SCr 为血肌酐; BUN 为尿素氮; mAlb/Cr 为尿微量白蛋白与肌酐比值; eGFR 为肾小球滤过率

## 1.2 方法

**1.2.1 纳入与排除标准** ①纳入标准: 年龄 > 18 周岁; 患者符合射血分数降低的心力衰竭 (heart failure with reduced ejection fraction, HFrEF) 诊断标准典型的症状 (即呼吸困难、踝部肿胀和疲乏) 和体征 (即颈静脉压升高、肺部啰音和心尖搏动移位), 辅助检查有心力衰竭的客观证据即 N-末端脑钠肽原 (N-terminal pro-brain natriuretic peptide, NT-proBNP) > 450 pg · mL<sup>-1</sup> (< 50 岁) 或 > 900 pg · mL<sup>-1</sup> (50 ~ 75 岁) 或 > 1800 pg · mL<sup>-1</sup> (> 75 岁), 和 (或) 左室射血分数 (left ventricular ejection fraction, LVEF) < 40%; 心功能纽约分级 (New York heart association, NYHA) III ~ IV 级; 行血管 (肺动脉、主动脉、冠状动脉、脑血管) 强化 CT 的患者。②排除标准: 碘过敏患者; 未经控制、有明显症状的甲状腺功能亢进患者; 合并肾功能不全患者; 合并贫血患者; 合并糖尿病的患者; 合并低血压患者; 妊娠期、哺乳期女性; 与本研究不配合者。本研究方案经医院伦理委员会审核批准, 所有入组患者均签署知情同意书。

**1.2.2 治疗方法** 将 3 组药品, 制成外观、包装和标签等完全一致, 统一按随机数编号。根据随机表分配药品。采用双盲法, 2 次揭盲。所有入组患者均在行强化 CT 检查前行心脏彩超, 抽血查血红蛋白 (hemoglobin, HGB)、NT-proBNP, 血肌酐 (serum creatinine, SCr)、尿素氮 (blood urea nitrogen, BUN), 留取晨尿查尿微量白蛋白与肌酐比值 (urinary albumin/creatinine ratio, mAlb/Cr), 计算患者肾小球滤过率 (estimated glomerular filtration rate, eGFR)。所有入组患者在检查前 24 小时停用所有肾毒性药物, 于检查前给予 5% 碳酸氢钠每小时 3 mL · kg<sup>-1</sup> 补液 1 h, 在 CT 检查后给予 5% 碳酸氢钠每小时 1 mL · kg<sup>-1</sup> 补液 6 h<sup>[4]</sup>。碘佛醇组予碘佛醇 (碘佛醇 320, 生产厂家: 江苏恒瑞医药股份有限公司, 批准文号: 国药准字 H20067896, 规格: 50 mL: 33.9 g) 作为造影剂, 碘克沙醇组予碘克沙醇 (威视派克 320, 生产厂家: 爱尔兰 GE Healthcare Ireland Limited, 批准文号: 国药准字 J20140157, 规格: 50 mL: 16 g)

作为造影剂, 碘普罗胺组予碘普罗胺 (商品名: 优维显, 生产厂家: 德国拜耳医药保健有限公司, 批准文号: 国药准字 J20130157, 规格: 100 mL: 76.89 g) 作为造影剂, 各组给药量均为 1.0 mL · kg<sup>-1</sup>, 以双筒高压注射器注射, 注射流速为 5 mL · s<sup>-1</sup>。在检查后第 5、10 天分别抽血查 SCr、BUN, 并留取晨尿查 mAlb/Cr, 计算患者 eGFR, 并统计各组 CIN 发生率。CIN 诊断参照欧洲泌尿生殖放射协会造影剂安全委员会的定义: 使用造影剂后 48 h 内 SCr 水平升高 ≥ 25%, 或 SCr 水平升高 ≥ 44 μmol · L<sup>-1</sup> (0.5 mg · dL<sup>-1</sup>)<sup>[4]</sup>。

## 1.3 统计分析

应用 SPSS 17.0 软件进行数据统计和分析。计量资料用  $\bar{x} \pm s$  表示, 组内比较采用 *t* 检验, 组间单因素方差分析 (one-way ANOVA); 计数资料用率 (%) 表示, 采用  $\chi^2$  检验或 Fisher 精确概率法检验; CT 检查前后不同时间肾功能各项指标比较采用重复测量资料的方差分析。以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

**组内比较:** 与强化 CT 检查前肾功能比较, 检查 5 d 后 3 组患者 SCr、BUN 及 mAlb/Cr 均较检查前升高 ( $P < 0.05$ ), eGFR 较检查前降低 ( $P < 0.05$ )。强化 CT 检查 10 d 后碘佛醇组及碘普罗胺组 mAlb/Cr 较检查前仍明显升高 ( $P < 0.05$ ), eGFR 较检查前降低 ( $P < 0.05$ ), 而碘克沙醇组各项指标较检查前无明显差异 ( $P > 0.05$ )。见表 2。

**组间比较:** 强化 CT 检查 5 d 后碘克沙醇组 SCr、BUN 明显低于碘佛醇组 ( $P < 0.05$ ), eGFR 明显高于碘佛醇组 ( $P < 0.05$ ); 碘普罗胺组 SCr 明显低于碘佛醇组 ( $P < 0.05$ ), eGFR 明显高于碘佛醇组 ( $P < 0.05$ )。强化 CT 检查 10 d 后碘佛醇组 eGFR 仍明显低于碘克沙醇组 ( $P < 0.05$ ), 而碘克沙醇组与碘普罗胺组肾功能检查各项指标无明显差异 ( $P > 0.05$ )。CIN 发生率比较, 碘克沙醇组明显低于碘佛醇组 ( $P < 0.05$ ), 而碘普罗胺组与其余 2 组比较, 差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。见表 2。

表 2 3 组患者强化 CT 前及第 5、10 天肾功能指标比较

组别	SCr ( $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}, \bar{x} \pm s$ )	BUN ( $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}, \bar{x} \pm s$ )	mAlb/Cr ( $\text{mg} \cdot \text{mmolL}^{-1}, \bar{x} \pm s$ )	eGFR ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73 \text{ m}^{-2}, \bar{x} \pm s$ )	CIN [ $n(\%)$ ]
碘佛醇组 ( $n=64$ )					
强化 CT 检查前	73.7 ± 16.5	6.5 ± 1.6	1.8 ± 0.5	88.3 ± 8.7	
检查 5 d 后	107.4 ± 34.2 <sup>a</sup>	16.8 ± 7.1 <sup>a</sup>	3.5 ± 2.1 <sup>a</sup>	66.1 ± 13.1 <sup>a</sup>	
检查 10 d 后	89.5 ± 25.3 <sup>b</sup>	7.6 ± 4.1 <sup>b</sup>	2.7 ± 1.2 <sup>a,b</sup>	71.8 ± 9.3 <sup>a,b</sup>	12(18.7)
F 值	26.217	88.021	22.767	76.463	
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	
碘克沙醇组 ( $n=65$ )					
强化 CT 检查前	74.2 ± 14.1	6.8 ± 1.1	2.1 ± 0.8	85.9 ± 6.8	
检查 5 d 后	92.2 ± 27.9 <sup>a,c</sup>	12.5 ± 4.2 <sup>a,c</sup>	3.7 ± 3.6 <sup>a</sup>	79.6 ± 11.8 <sup>a,c</sup>	
检查 10 d 后	79.6 ± 19.6 <sup>b</sup>	7.8 ± 3.9 <sup>b</sup>	2.2 ± 1.3 <sup>b</sup>	84.8 ± 9.5 <sup>b,c</sup>	2(3.1) <sup>c</sup>
F 值	12.221	53.034	10.245	8.008	
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	
碘普罗胺组 ( $n=69$ )					
强化 CT 检查前	71.3 ± 12.2	6.2 ± 1.9	1.5 ± 0.4	89.0 ± 7.6	
检查 5 d 后	102.6 ± 27.7 <sup>a</sup>	11.2 ± 6.0 <sup>a</sup>	3.3 ± 2.2 <sup>a</sup>	70.2 ± 12.7 <sup>a,d</sup>	
检查 10 d 后	77.2 ± 23.4 <sup>b</sup>	7.2 ± 4.8 <sup>b</sup>	2.5 ± 1.1 <sup>a,b</sup>	78.2 ± 9.8 <sup>b</sup>	8(11.6)
F/ $\chi^2$ 值	39.119	23.128	27.111	58.478	8.046
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.018

注:与本组强化 CT 前比较,<sup>a</sup> $P < 0.05$ ;与本组检查 5 d 后比较,<sup>b</sup> $P < 0.05$ ;碘普罗胺组、碘克沙醇组分别与碘佛醇组同期比较,<sup>c</sup> $P < 0.05$ ;碘普罗胺组与碘克沙醇组比较,<sup>d</sup> $P < 0.05$ 。SCr 为血肌酐;BUN 为尿素氮;mAlb/Cr 为尿微量白蛋白与肌酐比值;eGFR 为肾小球滤过率;CIN 为造影剂肾病

### 3 讨论

非离子型碘造影剂因其较小的毒副作用<sup>[7]</sup>,在临床中得到广泛应用,其对肾功能影响取决于两种物理特性黏度及渗透压<sup>[8]</sup>。高黏度造影剂会增加血浆及尿液黏度,阻塞肾小管,最终导致肾小管损伤及肾小球滤过率降低<sup>[9-11]</sup>。但造影剂黏度的降低通常会伴随其渗透压的升高<sup>[8]</sup>,而渗透压对 CIN 发生也有着重要影响,相比高渗造影剂,低渗造影剂会明显降低 CIN 发生率<sup>[12]</sup>,但渗透压和黏度哪个因素对 CIN 发生作用更大尚无明确说法,RECOVER 研究认为造影剂渗透压比黏度对肾功能影响更大<sup>[13]</sup>。但 Solomon<sup>[11]</sup>的研究认为渗透压并不能独立引起 CIN,而造影剂黏度及其本身的分子毒性在 CIN 发病中起到更重要的作用。同样,在低渗造影剂与等渗造影剂的选择上目前也有一定争议,NEPHRIC 研究认为等渗造影剂可以明显降低高危患者 CIN 的发生率<sup>[14]</sup>,而 CARE 研究则认为等渗造影剂与低渗造影剂在 CIN 发病率上无明显差异<sup>[15]</sup>。这些争议的存在说明目前医学上对 CIN 的认识还不充分,造影剂种类及用量、研究对象的基础疾病情况、终点事件的选择对实验结果都会影响实验结果。

本研究中选取了目前临床常用的 3 种非离子型造影剂,其中碘佛醇与碘普罗胺为低渗性造影剂,其渗透压为 600 ~ 650  $\text{mOsm} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,其差别在于苯环 1、3 位分子结构与亲水基团不同,而碘克沙醇为等渗性造影剂,渗透压可低至 290  $\text{mOsm} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,明显低于前两者,而黏度则明显高于前两者。通过这 3 种造影剂,我们希望观察渗透压相似分子结构不同以及不同渗透压情况下造影剂对肾功能的影响。

在经典的 CIN 高危因素的 Mehran 评分中,充血性心衰患者 CIN 发生风险高于轻中度肾功能不全、糖尿病、高龄患者<sup>[16]</sup>。目前对于 CIN 尚无特效治疗,对于临床病情需行强化 CT 或造影的高危患者,除水化等预防性治疗外<sup>[17]</sup>,碘造影剂的选择是影响 CIN 的重要因素。本实验选取了 NYHA III ~ IV 级的 CHF 患者,同时排除糖尿病、肾功能不全对 CIN 的影响,并在检查前进行了充分水化治疗以排除低血容量对 CIN 的影响。既往研究发现,患者 SCr 通常在使用造影剂后 3 ~ 5 d 达到高峰,在 1 ~ 3 周逐渐下降<sup>[18]</sup>。因此,我们选取在检查后第 5、10 天分别检查患者肾功能。从实验结果可看出,3 组患者在应用碘造影剂后 5 d,肾功能各项指标均较

用药前恶化,这说明无论低渗还是等渗造影剂均对CHF患者肾功能有明显的影响。在强化CT检查后10 d,碘克沙醇组肾功能均恢复正常,而碘伏醇组及碘普罗胺组除mAlb/Cr外其余指标也均恢复正常,这提示在CHF患者,CIN发生后肾功能恶化通常是可逆性的,而在肾功能各项指标中,mAlb/Cr可能恢复较慢,也更为敏感。而在3种不同造影剂的对比中,碘克沙醇组的患者检查后5 d肾功能恶化程度均较其余2组要轻微,CIN发生率也较低。考虑到碘克沙醇较低渗透压的特性,我们推测造影剂渗透压可能对CHF患者CIN发生率影响更大。而在渗透压类似的碘佛醇组和碘普罗胺组对比中,检查后肾功能各项指标无明显差异,碘伏醇组CIN发生率高于碘普罗胺组,但无统计学差异。在3组造影剂中,碘克沙醇黏度最大,碘佛醇次之<sup>[19]</sup>,这与CIN发病率高高低并不吻合,因此我们认为造影剂黏度可能对CHF患者肾功能影响相对较小。

综上,我们认为对CHF患者选择等渗造影剂(如碘克沙醇)可能会减低CIN发生率,而造影剂黏度则对CIN发生率影响较小。但本实验样本量偏低,同时在选择入组患者时我们选取较为单纯的CHF患者,排除了糖尿病、肾功能不全等合并症,而临床患者往往多种疾病共存,本实验结果可能对有多种合并症的CHF患者的指导意义有限。此外,我们在使用造影剂前进行了充分的水化治疗,而这在门诊检查患者中很难做到,因此,对未进行水化的CHF患者造影剂选择仍需进一步研究。

#### 【参考文献】

- [1] Deek H, Newton P, Sheerin N, et al. Contrast media induced nephropathy: a literature review of the available evidence and recommendations for practice [J]. *Aust Crit Care*, 2014, 27 (4): 166-171.
- [2] Feldkamp T, Kribben A. Contrast media induced nephropathy: definition, incidence, outcome, pathophysiology, risk factors and prevention [J]. *Minerva Med*, 2008, 99 (2): 177-196.
- [3] Murphy S W, Barrett B J, Parfrey P S. Contrast nephropathy [J]. *J Am Soc Nephrol*, 2000, 11 (1): 177-182.
- [4] Stacul F, Van der Molen A J, Reimer P, et al. Contrast induced nephropathy: updated ESUR Contrast Media Safety Committee guidelines [J]. *Eur Radiol*, 2011, 21 (12): 2527-2541.
- [5] Jorgensen A L. Contrast-induced nephropathy: pathophysiology and preventive strategies [J]. *Crit Care Nurse*, 2013, 33 (1): 37-46.
- [6] 中华医学会心血管病学分会,《中华心血管病杂志》编辑委员会. 中国心力衰竭诊断和治疗指南 2014 [J]. *中华心血管病杂志*, 2014, 42 (2): 98-122.
- [7] Katayama H, Yamaguchi K, Kozuka T, et al. Adverse reactions to ionic and nonionic contrast media. A report from the Japanese Committee on the Safety of Contrast Media [J]. *Radiology*, 1990, 175 (3): 621-662.
- [8] Azzalini L, Spagnoli V, Ly H Q, et al. Contrast-induced nephropathy: from pathophysiology to preventive strategies [J]. *Can J Cardiol*, 2016, 3 (2): 247-255.
- [9] Seeliger E, Sendeski M, Rihal C S, et al. Contrast-induced kidney injury: mechanisms, risk factors, and prevention [J]. *Eur Heart J*, 2012, 33 (16): 2007-2015.
- [10] Mamoulakis C, Tsarouhas K, Fragkiadoulaki I, et al. Contrast-induced nephropathy: basic concepts, pathophysiological implications and prevention strategies [J]. *Pharmacol Ther*, 2017, 180: 99-112.
- [11] Solomon R. The role of osmolality in the incidence of contrast-induced nephropathy: a systematic review of angiographic contrast media in high risk patients [J]. *Kidney Int*, 2005, 68 (5): 2256-2263.
- [12] Barrett B J, Carlisle E J. Metaanalysis of the relative nephrotoxicity of high- and low-osmolality iodinated contrast media [J]. *Radiology*, 1993, 188 (1): 171-178.
- [13] Jo S, Youn T J, Koo B W, et al. Renal toxicity evaluation and comparison between visipaque (Iodixanol) and hexabrix (Ioxaglate) in patients with renal insufficiency undergoing coronary angiography: the RECOVER study: a randomized controlled trial [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2006, 48 (5): 924-930.
- [14] Aspelin P, Aubry P, Fransson S, et al. Nephrotoxic effects in high-risk patients undergoing angiography [J]. *N Engl J Med*, 2003, 348 (6): 491-499.
- [15] Solomon R J, Natarajan M K, Doucet S, et al. Cardiac angiography in renally impaired patients (CARE) study: a randomized double-blind trial of contrast-induced nephropathy in patients with chronic kidney disease [J]. *Circulation*, 2007, 115 (25): 3189-3196.
- [16] Mehran R, Aymong E D, Nikolsky E, et al. A simple risk score for prediction of contrast-induced nephropathy after percutaneous coronary intervention: development and initial validation [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2004, 44 (7): 1393-1399.
- [17] Bader B D, Berger E D, Heede M B, et al. What is the best hydration regimen to prevent contrast media-induced nephrotoxicity [J]. *Clin Nephrol*, 2004, 62 (1): 1-7.
- [18] McCullough P A, Sandberg K R. Epidemiology of contrast-induced nephropathy [J]. *Rev Cardiovasc Med*, 2003, 4 (Suppl 5): S3-S9.
- [19] Pannu N, Wiebe N, Tonelli M. Prophylaxis strategies for contrast-induced nephropathy [J]. *JAMA*, 2006, 295 (23): 2765-2779.

(本文编辑:温玲玲)