

# 床旁重症超声引导的容量管理在急性肾损伤供者维护的应用

刘晓緬 庞飞雄 冉果 李甲志 赖彦华

**【摘要】** **目的** 探讨床旁重症超声在急性肾损伤（AKI）供者容量管理中的应用效果。**方法** 收集广西壮族自治区人民医院移植中心2020年10月1日至2022年5月31日56例AKI供者及对应106例受者的临床资料，根据容量管理方法分为重症超声组（34例供者，66例受者）和传统中心静脉压（CVP）组（22例供者，40例受者），比较分析两组AKI分期和恢复耗时、肾功能指标[血清肌酐（Scr）、胱抑素C、估算肾小球滤过率]、供肾Remuzzi评分、冷缺血时间、两联升压药使用率及使用时间、移植肾功能延迟恢复（DGF）发生率和恢复耗时、术后6个月和12个月肾功能指标等。**结果** 两组供受者性别、年龄、体质量、AKI分期、获取前肾功能指标、两联升压药使用率、术后6个月和12个月肾功能指标、DGF恢复耗时、供肾Remuzzi评分、冷缺血时间等差异均无统计学意义（均为 $P>0.05$ ）。重症超声组供者AKI恢复耗时、连续性肾脏替代治疗率、两联升压药使用时间均短于或低于传统CVP组（均为 $P<0.05$ ）。重症超声组受者DGF发生率低于传统CVP组（ $P<0.05$ ），亚组分析发现，重症超声组受者术后6个月和12个月Scr差异无统计学意义（ $P>0.05$ ），而传统CVP组受者术后12个月Scr高于术后6个月（ $P<0.05$ ）。**结论** AKI供肾经过积极维护后可应用于肾移植，床旁重症超声在AKI供者容量管理中具有独特优势，在一定程度上可改善AKI供肾功能。

**【关键词】** 床旁重症超声；容量管理；急性肾损伤；肾移植；终末期肾病；供肾功能；移植肾功能延迟恢复；血清肌酐

**【中图分类号】** R617, R692 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1674-7445 (2025) 05-0012-07

## Application of bedside critical ultrasound-guided volume management in the maintenance of acute kidney injury donors

Liu Xiaomian, Pang Feixiong, Ran Guo, Li Jiazhi, Lai Yanhua. Transplantation Center, People's Hospital of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530021, China

Corresponding author: Lai Yanhua, Email: drlaiyanhua@163.com

**【Abstract】** **Objective** To explore the application effect of bedside critical ultrasound in volume management of acute kidney injury (AKI) donors. **Methods** Clinical data of 56 AKI donors and 106 recipients from the Transplantation Center of People's Hospital of Guangxi Zhuang Autonomous Region from October 1, 2020 to May 31, 2022 were collected. They were divided into the critical ultrasound group (34 donors, 66 recipients) and the traditional central venous pressure (CVP) group (22 donors, 40 recipients) according to the volume management methods. The AKI stage and recovery time, renal function indicators (serum creatinine (Scr), cystatin C, estimated glomerular filtration rate), donor Remuzzi score, cold ischemia time, biventricular inotrope usage rate and time, delayed graft function (DGF) incidence and recovery time, and renal function indicators at 6 and 12 months after surgery were compared and analyzed between the two

DOI: 10.12464/j.issn.1674-7445.2025069

基金项目: 广西卫健委科研课题 (S2018086)

作者单位: 530021 南宁, 广西壮族自治区人民医院移植中心

作者简介: 刘晓緬 (ORCID 0000-0002-9080-1842), 硕士, 主治医师, 研究方向为肾移植, Email: 540249277@qq.com

通信作者: 赖彦华 (ORCID 0000-0001-6103-6638), 博士, 主任医师, 研究方向为器官移植临床与基础研究, Email: drlaiyanhua@

163.com

groups. **Results** There were no statistically significant differences in gender, age, body weight, AKI stage, pre-acquisition renal function indicators, biventricular inotrope usage rate, renal function indicators at 6 and 12 months after surgery, DGF recovery time, donor Remuzzi score and cold ischemia time of the donors and recipients between two groups (all  $P>0.05$ ). The AKI recovery time, continuous renal replacement therapy rate and biventricular inotrope usage time of donors in the critical ultrasound group were shorter or lower than those in the traditional CVP group (all  $P<0.05$ ). The incidence of DGF in recipients of the critical ultrasound group was lower than that of the traditional CVP group ( $P<0.05$ ). Subgroup analysis showed that there was no statistically significant difference in Scr at 6 and 12 months after surgery in recipients of the critical ultrasound group ( $P>0.05$ ), while the Scr at 12 months after surgery was higher than that at 6 months in recipients of the traditional CVP group ( $P<0.05$ ). **Conclusions** AKI kidneys may be used for kidney transplantation after active maintenance. Bedside critical ultrasound has unique advantages in volume management of AKI donors and may improve the function of AKI kidneys to a certain extent.

**【Key words】** Bedside critical ultrasound; Volume management; Acute kidney injury; Kidney transplantation; End-stage kidney disease; Donor kidney function; Delayed graft function; Serum creatinine

肾移植是目前治疗终末期肾病最有效的手段之一，但受限于供肾短缺<sup>[1]</sup>。合理使用急性肾损伤（acute kidney injury, AKI）供肾能有效缓解当今肾脏供需不平衡的矛盾<sup>[2-3]</sup>。既往研究提示 AKI 供肾移植术后 3 年移植物的存活率和功能类似于理想供肾移植，有效改善尿毒症患者的生存质量<sup>[4]</sup>。然而，每年仍有超 20% 供肾被弃用，特别是 AKI 供肾<sup>[5-6]</sup>。

自全面实行公民逝世后器官捐献以来，住院患者 AKI 发生率为 7%~18%，而重症患者发生率高达 30%~60%<sup>[7-8]</sup>。容量管理是改善 AKI 患者肾脏预后的重要措施，液体过量或不足均会加剧 AKI<sup>[9-10]</sup>。AKI 患者的容量状态较为复杂且动态变化，准确评估容量状态及合理的液体管理，优化血流动力学，对肾功能恢复具有关键作用<sup>[11]</sup>。床旁重症超声具有方便快捷、安全、无辐射、重复性强等优势，目标导向容量管理可达到快速液体复苏的目的和保证肾脏灌注、循环稳定、血管活性药物下降的效果，有利于重症 AKI 患者的恢复<sup>[12-13]</sup>。本研究旨在通过分析 56 例 AKI 供者及对应 106 例受者的临床资料，探索床旁重症超声在 AKI 供者容量管理中的应用效果，为精准管理 AKI 供者容量提供临床参考。

## 1 资料与方法

### 1.1 研究对象

本研究采用回顾队列研究，分析广西壮族自治区人民医院移植中心 2020 年 10 月 1 日至 2022 年 5 月 31 日 56 例 AKI 供者及对应 106 例受者的资料，其中重症超声组供肾 68 个，弃用 2 个；传统中心静脉压（central venous pressure, CVP）组供肾 44 个，弃用

4 个。排除随访资料不全的受者。本研究经广西壮族自治区人民医院医学伦理委员会批准（批号：KY-SY-2018-086），供者家属及受者均签署知情同意书。

### 1.2 分组方法

根据供者容量管理策略调整时间节点分为两组：（1）重症超声组（34 例供者和 66 例受者）为 2021 年 1 月 1 日后入院的供者，采用重症超声指导容量管理；（2）传统 CVP 组（22 例供者和 40 例受者）为 2021 年 1 月 1 日前入院的供者，采用传统 CVP 指导容量管理。供者纳入标准：（1）年龄 18~60 岁；（2）脑死亡捐献者。供者排除标准：（1）既往存在慢性肾病或最近一次入院血清肌酐（serum creatine, Scr）高于正常值；（2）有药物中毒、重金属物质损伤、外伤等肾实质损伤病史；（3）心肺复苏时长 $\geq 20$  min；（4）合并胸廓严重畸形或大量皮下气肿，无法进行肺部和心脏超声检查。

### 1.3 AKI 诊断及治疗方案

AKI 定义为发病后 7 d 内 Scr 升高和（或）尿量减少，根据 Scr 或尿量水平将 AKI 分为 1~3 期<sup>[11, 14]</sup>（表 1）。AKI 恢复耗时指 AKI 发生后至进入多尿期的时间。移植肾功能延迟恢复（delayed graft function, DGF）指移植术后 7 d 内需要进行透析治疗或 Scr 未降至 400  $\mu\text{mol/L}$  以下<sup>[15]</sup>。供肾零点穿刺病理评分参照 Remuzzi 评分标准<sup>[16]</sup>，所有供肾均未使用 LifePort 灌注。

重症超声指导容量管理方案为每日至少早晚各进行 1 次床旁重症超声评估，具体步骤如下：（1）心脏评估，采用胸骨旁左室长轴切面、短轴切面、心尖四腔心切面及剑突下四腔心切面，评估心脏功能及心

表1 AKI的诊断分期

Table 1 The diagnostic staging of acute kidney injury

AKI分期	尿量	Scr水平
1期	<0.5 mL/(kg·h), 持续6~12 h	48 h内升高 $\geq$ 0.3 mg/dL (26.5 $\mu$ mol/L); 7 d内升高达基线值的1.5~1.9倍
2期	<0.5 mL/(kg·h), 持续>12 h	升高达基线值的2.0~2.9倍
3期	<0.3 mL/(kg·h), 持续 $\geq$ 24 h; 无尿 $\geq$ 12 h	升高达基线值的3.0倍; 升高达 $\geq$ 4.0 mg/dL (353.6 $\mu$ mol/L); 开始CRRT <sup>①</sup> ; 或年龄<18岁, eGFR <sup>②</sup> 下降达<35 mL/(min·1.73 m <sup>2</sup> )

注: ①CRRT为连续性肾脏替代治疗; ②eGFR为估算肾小球滤过率。

腔大小。(2)容量评估,采用剑突下下腔静脉长轴和短轴切面,结合心腔大小,综合评估患者容量状态。(3)肺脏评估,采用急重症床旁肺脏超声检查流程,评估肺水肿、胸腔积液及肺部氧合状态。(4)肾脏评估,采用二维超声检查肾脏形态、大小及回声强度,采用彩色多普勒超声4级法半定量分级评估肾脏血流灌注,采用脉冲多普勒超声检查肾脏血流波形及阻力指数,动态评估肾脏功能。若出现以下任一指标,应立即终止补液:心腔增大(提示心腔明显增大或左室内径变化率<25%)、下腔静脉直径增宽>2.1 cm、下腔静脉塌陷指数<40%、肺水增加(B线、火箭征或胸腔积液增加)<sup>[17-19]</sup>。

常规CVP指导容量管理方案即每日至少早晚各1次评估患者CVP,目标CVP为8~12 cmH<sub>2</sub>O(1 cmH<sub>2</sub>O=0.098 kPa),若CVP<8 cmH<sub>2</sub>O则快速输液,若CVP>12 cmH<sub>2</sub>O则限制输液。CVP测量步骤:患者取平卧位,压力传感器置于患者右心房水平(通常为腋中线第4肋间),并分别连接心电监护仪,经右侧颈内静脉留置的中心静脉导管(尖端位于上腔静脉与右心房交界处),零点处校准,调整心电监护仪CVP模块显示出CVP波形数值<sup>[20]</sup>。

#### 1.4 观察指标

随访截止时间为2023年11月30日,随访时间为12个月。收集供受者的一般资料,包括供者性别、年龄、合并基础疾病(糖尿病、高血压)、体质量、AKI分期和恢复耗时、肾功能指标[Scr、胱

抑素C、估算肾小球滤过率(estimated glomerular filtration rate, eGFR)]、连续性肾脏替代治疗率、两联升压药使用率及使用时间等,受者性别、年龄、合并基础疾病(糖尿病、高血压)、体质量、移植术后6个月和12个月肾功能指标(Scr、胱抑素C、eGFR)、DGF发生率和恢复耗时、供肾Remuzzi评分、冷缺血时间等。

#### 1.5 统计学方法

应用SPSS 20.0统计软件对数据进行分析,符合正态分布的计量资料以均数 $\pm$ 标准差表示。采用两独立样本 $t$ 检验进行组间差异分析。偏态分布的计量资料以中位数(下四分位数,上四分位数)表示,采用Mann-Whitney  $U$ 检验进行组间差异分析。不同时间点配对计量资料采用Wilcoxon符号秩检验进行组内分析。计数资料以率表示,采用 $\chi^2$ 检验比较组间差异。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 供者一般资料比较

两组供者均无心肺复苏病史,两组性别、年龄、合并基础疾病(糖尿病、高血压)、体质量、AKI分期、供肾获取前肾功能指标(Scr、胱抑素C、eGFR)差异均无统计学意义(均为 $P>0.05$ )。重症超声组供者AKI恢复耗时、连续性肾脏替代治疗率均短于或低于传统CVP组(均为 $P<0.05$ )。所有供者维护期间均需单用去甲肾上腺素或联合多巴胺维持目标收缩性血压[130~140 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa)],两组两联升压药使用率差异无统计学意义( $P>0.05$ ),但重症超声组两联升压药使用时间短于传统CVP组( $P<0.05$ )(表2)。

### 2.2 受者一般资料比较

所有受者和移植术后随访12个月均存活。两组受者性别、年龄、合并基础疾病(糖尿病、高血压)、体质量、术后6个月和12个月肾功能指标(Scr、胱抑素C、eGFR)、DGF恢复耗时、供肾Remuzzi评分、冷缺血时间差异均无统计学意义(均为 $P>0.05$ )。重症超声组受者DGF发生率低于传统CVP组( $P<0.05$ )(表3)。亚组分析发现,重症超声组受者术后6个月和12个月Scr差异无统计学意义( $P>0.05$ ),而传统CVP组术后12个月Scr高于术后6个月Scr( $P<0.05$ )(图1)。

表 2 两组供者的一般资料比较

Table 2 Comparison of general data of donors between two groups

指标	重症超声组 (n=34)	传统CVP组 (n=22)	统计值	P值
男性[n (%)]	21 (62)	14 (64)	0.020	0.888
年龄 ( $\bar{x}\pm s$ , 岁)	44±10	46±10	0.564	0.575
基础疾病[n (%)]			0.207	0.649
高血压	32 (94)	20 (91)		
糖尿病	2 (6)	2 (9)		
体质量 ( $\bar{x}\pm s$ , kg)	59±10	57±10	0.717	0.476
AKI分期[n (%)]			0.208	0.901
1期	16 (47)	9 (41)		
2期	14 (41)	10 (45)		
3期	4 (12)	3 (14)		
Scr [ $M(P_{25}, P_{75})$ , $\mu\text{mol/L}$ ]	194 (162, 252)	172 (154, 222)	1.351	0.177
胱抑素C ( $\bar{x}\pm s$ , mg/L)	2.7±0.8	2.9±0.9	0.572	0.569
eGFR [ $\bar{x}\pm s$ , mL/(min·1.73m <sup>2</sup> )]	32±12	33±10	0.091	0.928
AKI恢复耗时 [ $M(P_{25}, P_{75})$ , d]	4 (3, 5)	5 (4, 7)	2.783	0.005
CRRT <sup>①</sup> [n (%)]	5 (15)	9 (41)	4.891	0.027
两联升压药[n (%)]	9 (26)	8 (36)	0.618	0.432
两联升压药时间 [ $M(P_{25}, P_{75})$ , d]	0.5 (0.5, 1.0)	1.0 (1.0, 1.8)	2.380	0.017

注：①CRRT为连续性肾脏替代治疗。

### 3 讨论

AKI 是一种多因素导致的异质性综合征，有效循环血容量不足和血流动力学不稳定是重症患者最常见的危险因素<sup>[21]</sup>。早期识别并纠正病因，能有效快速逆转功能性 AKI<sup>[22-23]</sup>。合并脑损伤的重症患者成为供者前常使用甘露醇和高渗盐水等渗透剂脱水以保护脑组织，但也会带来有效血流量不足、血流动力学不稳定及肾脏毒性药物等因素增加 AKI 发生和恶化的风险<sup>[24]</sup>。既往研究发现神经重症患者 AKI 发生率 > 20%<sup>[25-26]</sup>。除避免使用肾脏毒性药物外，优化液体管理因能补充有效血容量和稳定血流动力学而成为神经重症患者成为供者后改善 AKI 重要措施<sup>[27-28]</sup>。有效血容量不足的 AKI 供者，液体复苏可能是最有效方法，而液体过负荷会诱发肾静脉充血和间质水肿进一步加重 AKI<sup>[29]</sup>。这提示，AKI 供者进行液体复苏中需要动态监测并精准管理液体。

床旁重症超声成为当今 AKI 重症患者管理的重要措施，其优势在于：（1）能像 CVP 动态评估血容量，重复性强，操作便捷；（2）动态无创监测心肺功能；（3）动态评估血容量不足因素；（4）相较于脉搏指示连续心输出量监测技术，能有效指导容量管理，而且能降低患者经济负担和降低患者有创损伤带来的感染风险；（5）动态干预肾脏血流灌注<sup>[21, 30-31]</sup>。床旁重症超声在 AKI 供者维护中优势机制主要体现在其能够早期发现休克、鉴别休克类型（低血容量性、分布性、心源性、梗阻性）并针对性指导干预，同时全面评估肾功能，具体表现如下：（1）心脏超声的应用，心脏超声能够及时识别并干预影响血流动力学不稳定的因素，如有效循环血容量不足、心脏收缩功能不全以及心输出量不足等，从而维持供者的血流动力学稳定；（2）肺脏超声的应用，肺脏超声能够早期发现肺水肿、肺实变、肺炎、气胸及肺栓塞等影响肺部氧合指数的病因，并通过早期干预有效防治

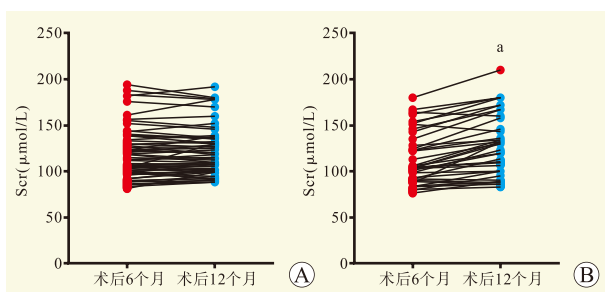
表 3 两组受者的一般资料比较

Table 3 Comparison of general data of recipients between two groups

指标	重症超声组 (n=66)	传统CVP组 (n=40)	统计值	P值
男性[n (%)]	39 (59)	22 (55)	0.171	0.680
年龄 ( $\bar{x}\pm s$ , 岁)	44±10	46±10	0.065	0.949
基础疾病[n (%)]			0.042	0.838
糖尿病	3 (5)	3 (7)		
高血压	63 (95)	37 (93)		
体质量 ( $\bar{x}\pm s$ , kg)	58±10	59±10	0.527	0.599
术后6个月Scr [ $M(P_{25}, P_{75})$ , $\mu\text{mol/L}$ ]	110 (99, 131)	105 (92, 141)	0.528	0.597
术后6个月胱抑素C [ $M(P_{25}, P_{75})$ , mg/L]	1.6 (1.2, 2.0)	1.7 (1.3, 1.9)	0.475	0.635
术后6个月eGFR [ $\bar{x}\pm s$ , mL/(min·1.73m <sup>2</sup> )]	34±6	33±4	1.474	0.144
术后12个月Scr [ $M(P_{25}, P_{75})$ , $\mu\text{mol/L}$ ]	110 (100, 131)	131 (100, 160)	1.552	0.121
术后12个月胱抑素C [ $M(P_{25}, P_{75})$ , mg/L]	1.5 (1.3, 1.9)	1.6 (1.4, 1.9)	0.497	0.619
术后12个月eGFR [ $\bar{x}\pm s$ , mL/(min·1.73m <sup>2</sup> )]	33±4	32±4	0.926	0.356
DGF[n (%)]	5 (8)	9 (22)	4.839	0.028
DGF恢复耗时 ( $\bar{x}\pm s$ , d)	15±4	14±3	0.354	0.729
供肾Remuzzi评分[n (%)]			0.955	0.620
1分	10 (15)	6 (15)		
2分	29 (44)	14 (35)		
3分	27 (41)	20 (50)		
冷缺血时间 [ $M(P_{25}, P_{75})$ , h]	7 (6, 8)	7 (6, 8)	0.219	0.827

这些因素对血流动力学稳定性的影响；(3) 二维超声的应用，通过二维超声检查肾脏的形态、大小及回声强度，能够诊断肾脏的基础病变，并发现肾后性梗

阻或肾脏感染等病理变化；(4) 彩色多普勒超声的应用，彩色多普勒超声通过对肾脏血流灌注进行4级法半定量分级，能够评估肾脏的潜在预后；(5) 脉冲多普勒超声的应用，脉冲多普勒超声能够动态监测肾脏叶间动、静脉的血流频谱及阻力指数变化，评估肾脏预后，并从血流动力学角度分析导致这些变化的可能原因如肾前性灌注因素（平均动脉压、舒张压、心输出量等）、肾性灌注因素（肾间质水肿、腹腔内压等影响肾间质压力的因素）、肾后性灌注因素（右心房压力过高引起的静脉回流受阻）<sup>[12, 32-34]</sup>。本研究发现，床旁重症超声指导下容量管理方案与传统CVP指导方案相比，明显缩短供者AKI恢复耗时和降低床旁血液透析使用率和缩短两联升压药使用时间，这可能得益于床旁重症超声更能直观动态评估有效血容量，避免AKI供者肾前性或肾后性二次损



注：A 图为重症超声组；B 图为传统 CVP 组。与术后 6 个月比较，<sup>a</sup> $P < 0.05$ 。

图 1 两组受者术后 6 个月和 12 个月 Scr 水平的比较

Figure 1 Comparison of serum creatinine levels in recipients at 6 and 12 months postoperatively between two groups

伤。同时,床旁重症超声还能动态评估供者肺部、心脏功能,及时调整液体出入量和心脏输出量,降低血流动力学不稳定导致二次 AKI 风险<sup>[35-37]</sup>。两组供者获取前肾功能指标、获取后供肾零点穿刺病理 Remuzzi 评分、冷缺血时间未见明显差异,而床旁重症超声组患者术后 DGF 发生率低于传统 CVP 组,且传统 CVP 组患者术后 12 个月 Scr 明显高于术后 6 个月。这可能得益于床旁重症超声精准容量管理保证 AKI 肾脏良好的血液循环灌注,从而促进肾小管上皮细胞修复和避免加剧急性肾小管上皮脱落,从功能学角度提高供肾抵抗缺血-再灌注损伤能力<sup>[38]</sup>。本研究结果提示 AKI 供肾 DGF 发生率约 7%,远低于既往研究报道的 47%~68%<sup>[39-40]</sup>。这可能得益于 AKI 供者维护中采取优化液体管理联合体外生命支持、积极抗感染等综合措施,每例 AKI 供者均维护至进入多尿期才考虑器官捐献,提高供肾抵抗缺血-再灌注损伤能力。本研究提示,尽管 AKI 供肾存在术后 DGF 风险,术后 12 个月随访移植效果仍较好,这说明 AKI 供肾经过积极维护后能增加供肾来源,在一定程度上能缓解当今器官供需不平衡的矛盾。本研究局限在于存在回顾性设计的偏倚且纳入样本量有限,研究结果仍需高质量随机对照试验和多中心前瞻性研究来进一步验证。

综上所述,AKI 供肾经过积极维护后可应用于肾移植,床旁重症超声在 AKI 供者容量管理中具有独特优势,在一定程度上可改善 AKI 供肾功能,有望供临床肾移植领域参考和应用。

#### 参考文献:

- [1] VOORA S, SHAH S, NADIM M K. Management of the kidney transplant recipient in the intensive care unit[J]. *Curr Opin Crit Care*, 2023, 29(6): 587-594. DOI: 10.1097/mcc.0000000000001098.
- [2] MOEIN M, ISKHAGI S, SHAHBAZOV R, et al. Deceased donor kidney transplantation from donors with acute kidney injury: realities and costs[J]. *Exp Clin Transplant*, 2023, 21(2): 104-109. DOI: 10.6002/ect.2022.0341.
- [3] WARMUZIŃSKA N, ŁUCZYKOWSKI K, BOJKO B. A review of current and emerging trends in donor graft-quality assessment techniques[J]. *J Clin Med*, 2022, 11(3): 487. DOI: 10.3390/jcm11030487.
- [4] SONNENBERG E M, HSU J Y, COHEN J B, et al. Acute kidney injury in deceased organ donors and kidney transplant outcomes: a national cohort study using a novel data source[J]. *Ann Surg*, 2022, 276(6): e982-e990. DOI: 10.1097/sla.0000000000004597.
- [5] FRIEDEWALD J J, SCHANTZ K, MEHROTRA S. Kidney organ allocation: reducing discards[J]. *Curr Opin Organ Transplant*, 2023, 28(2): 145-148. DOI: 10.1097/mot.0000000000001049.
- [6] JAKUBOV K, PETR V, ZAHRADKA I, et al. Acute kidney injury in deceased organ donors: risk factors and impacts on transplantation outcomes[J]. *Transplant Direct*, 2024, 10(12): e1730. DOI: 10.1097/TXD.0000000000001730.
- [7] HOSTE E A J, KELLUM J A, SELBY N M, et al. Global epidemiology and outcomes of acute kidney injury[J]. *Nat Rev Nephrol*, 2018, 14(10): 607-625. DOI: 10.1038/s41581-018-0052-0.
- [8] 易成, 韦伟, 赵宇亮. 急性肾脏病的概念沿革[J/OL]. *中华临床医师杂志(电子版)*, 2023, 17(8): 906-910. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-0785.2023.08.011. YI C, WEI W, ZHAO Y L. The last piece of picture puzzle: conceptual evolution of acute kidney disease[J/OL]. *Chin J Clin (Electr Vers)*, 2023, 17(8): 906-910. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-0785.2023.08.011.
- [9] ALBELADI F I. Essence core: fluid management in acute kidney injury[J]. *Saudi J Kidney Dis Transpl*, 2021, 32(1): 9-18. DOI: 10.4103/1319-2442.318552.
- [10] PICKKERS P, DARMON M, HOSTE E, et al. Acute kidney injury in the critically ill: an updated review on pathophysiology and management[J]. *Intensive Care Med*, 2021, 47(8): 835-850. DOI: 10.1007/s00134-021-06454-7.
- [11] 国家慢性肾病临床医学研究中心, 中国医师协会肾脏内科医师分会, 中国急性肾损伤临床实践指南专家组, 等. 中国急性肾损伤临床实践指南[J]. *中华医学杂志*, 2023, 103(42): 3332-3366. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20230802-00133. National Clinical Research Center of Chronic Kidney Disease, Chinese Society of Nephrology, Chinese Medical Doctor Association, Expert Group of Clinical Practice Guidelines of Acute Kidney Injury in China, et al. Chinese clinical practice guideline for acute kidney injury[J]. *Natl Med J China*, 2023, 103(42): 3332-3366. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20230802-00133.
- [12] LIU L, LIU D, HU Z, et al. Renal hemodynamic evaluation protocol based on the pathophysiological mechanism of acute kidney injury: Critical Care UltraSound Guided-A(KI)BCDE[J]. *Ren Fail*, 2023, 45(2): 2284842. DOI: 10.1080/0886022X.2023.2284842.
- [13] 崔晓琼, 邹永明, 高文卿, 等. 重症超声指导间歇性血液滤过治疗急性肾损伤的容量管理[J]. *中华危重病急救医学*, 2023, 35(3): 310-315. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20220809-00733. CUI X Q, ZOU Y M, GAO W Q, et al. Volume management of intermittent hemofiltration guided by critical care ultrasound in the treatment of acute kidney injury[J]. *Chin Crit Care Med*, 2023, 35(3): 310-315. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20220809-00733.
- [14] KHAWAJA A. KDIGO clinical practice guidelines for acute kidney injury[J]. *Nephron Clin Pract*, 2012, 120(4): c179-c184. DOI: 10.1159/000339789.
- [15] 中华医学会器官移植学分会, 中国医疗保健国际交流促进会肾脏移植学分会. 中国肾脏移植受者移植功能延迟恢复临床诊疗指南[J]. *器官移植*, 2024, 15(5): 684-699. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7445.2024156. Branch of Organ Transplantation of Chinese Medical Association, Kidney Transplantation Branch of the International Exchange and Promotion Association of Chinese Medical and Health Care. Guidelines for clinical diagnosis and treatment of delayed graft function in kidney transplant recipients in China[J]. *Organ Transplant*, 2024, 15(5): 684-699. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7445.2024156.
- [16] 孔晨阳, 邱涛, 刘一霆, 等. 供肾 Remuzzi 评分对肾移

- 植受者预后的指导作用[J/OL]. 中华移植杂志(电子版), 2022, 16(2): 78-82. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-3903.2022.02.003.
- KONG C Y, QIU T, LIU Y T, et al. The guiding effect of donor kidney Remuzzi score on the prognosis of kidney transplant recipients[J/OL]. Chin J Transplant (Electr Vers), 2022, 16(2): 78-82. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-3903.2022.02.003.
- [17] 床旁超声在急危重症临床应用专家共识组. 床旁超声在急危重症临床应用的专家共识[J]. 中华急诊医学杂志, 2016, 25(1): 10-21. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2016.01.005.
- Expert Consensus Group on the Clinical Application of Point-of-Care Ultrasound in Critical Care. Expert consensus on the clinical application of bedside ultrasound in emergency medicine and intensive care medicine[J]. Chin J Emerg Med, 2016, 25(1): 10-21. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2016.01.005.
- [18] LIN J, ROSARIO J, SALTARELLI N. Resuscitative ultrasound and protocols[J]. Emerg Med Clin North Am, 2024, 42(4): 947-966. DOI: 10.1016/j.emc.2024.05.014.
- [19] ROCCA E, ZANZA C, LONGHITANO Y, et al. Lung ultrasound in critical care and emergency medicine: clinical review[J]. Adv Respir Med, 2023, 91(3): 203-223. DOI: 10.3390/arm91030017.
- [20] SHAH P, LOUIS M A. Physiology, central venous pressure[M]. Treasure Island (FL): StatPearls, 2023.
- [21] MESSINA A, CALATRONI M, CASTELLANI G, et al. Understanding fluid dynamics and renal perfusion in acute kidney injury management[J]. J Clin Monit Comput, 2025, 39(1): 73-83. DOI: 10.1007/s10877-024-01209-3.
- [22] MOLITORIS B A. Low-flow acute kidney injury: the pathophysiology of prerenal azotemia, abdominal compartment syndrome, and obstructive uropathy[J]. Clin J Am Soc Nephrol, 2022, 17(7): 1039-1049. DOI: 10.2215/cjn.15341121.
- [23] LASSOLA S, CUNDARI F, MARINI G, et al. Advancements in trauma-induced acute kidney injury: diagnostic and therapeutic innovations[J]. Life (Basel), 2024, 14(8): 1005. DOI: 10.3390/life14081005.
- [24] DE VLIÉGER G, MEYFROIDT G. Kidney dysfunction after traumatic brain injury: pathophysiology and general management[J]. Neurocritical Care, 2023, 38(2): 504-516. DOI: 10.1007/s12028-022-01630-z.
- [25] RAMÍREZ-GUERRERO G, LUCERO C, VILLAGRÁN-CORTÉS F, et al. Acute kidney injury in neurocritical patients: a retrospective cohort study[J]. Int Urol Nephrol, 2023, 55(7): 1875-1883. DOI: 10.1007/s11255-023-03502-7.
- [26] LIU Z, WANG R, HE M, et al. Hypomagnesemia is associated with the acute kidney injury in traumatic brain injury patients: a pilot study[J]. Brain Sci, 2023, 13(4): 593. DOI: 10.3390/brainsci13040593.
- [27] HUSAIN-SYED F, TAKEUCHI T, NEYRA J A, et al. Acute kidney injury in neurocritical care[J]. Crit Care, 2023, 27(1): 341. DOI: 10.1186/s13054-023-04632-1.
- [28] 中华医学会器官移植学分会. 尸体器官捐献供体及器官评估和维护规范(2019版)[J]. 器官移植, 2019, 10(3): 253-262. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7445.2019.03.006.
- Branch of Organ Transplantation of Chinese Medical Association. Specification for evaluation and maintenance for donor and organ of deceased organ donation (2019 edition)[J]. Organ Transplant, 2019, 10(3): 253-262. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7445.2019.03.006.
- [29] ZHANG J, CRICHTON S, DIXON A, et al. Cumulative fluid accumulation is associated with the development of acute kidney injury and non-recovery of renal function: a retrospective analysis[J]. Crit Care, 2019, 23(1): 392. DOI: 10.1186/s13054-019-2673-5.
- [30] BATOOL A, CHAUDHRY S, KORATALA A. Transcending boundaries: unleashing the potential of multi-organ point-of-care ultrasound in acute kidney injury[J]. World J Nephrol, 2023, 12(4): 93-103. DOI: 10.5527/wjn.v12.i4.93.
- [31] LUO Y, ZHAN S, ZHU L, et al. The role of pulse indicator continuous cardiac output (PiCCO) and critical care ultrasound in volume status assessment during fluid resuscitation for and prognosis of septic shock patients[J]. Pak J Med Sci, 2023, 39(1): 214-218. DOI: 10.12669/pjms.39.1.5603.
- [32] 彭娅, 杨芳, 徐香芬, 等. 彩色多普勒超声对脓毒症患儿急性肾损伤的严重程度和预后的评估价值[J]. 中国临床医学影像杂志, 2024, 35(10): 716-720. DOI: 10.12117/jccmi.2024.10.007.
- PENG Y, YANG F, XU X F, et al. Value of color Doppler ultrasound in evaluating the severity and prognosis of pediatric patients with sepsis-induced acute kidney injury[J]. J China Clin Med Imag, 2024, 35(10): 716-720. DOI: 10.12117/jccmi.2024.10.007.
- [33] DIETRICH C F, GÖRG C, HORN R, et al. Ultrasound of the lung[J]. Ultraschall Med, 2023, 44(6): 582-599. DOI: 10.1055/a-2010-7282.
- [34] BIANCHI BOSISIO N S M, ROMERO-GONZÁLEZ G, DE SILVESTRI A, et al. Doppler-based evaluation of intrarenal venous flow as a new tool to predict acute kidney injury: a systematic review and meta-analysis[J]. Nefrología Engl Ed, 2023, 43: 57-66. DOI: 10.1016/j.nefro.2023.05.010.
- [35] KANITKAR S, SONI K, VAISHNAV B. Venous excess ultrasound for fluid assessment in complex cardiac patients with acute kidney injury[J]. Cureus, 2024, 16(8): e66003. DOI: 10.7759/cureus.66003.
- [36] PREMKUMAR M, KARVELLAS C J, KULKARNI A V, et al. Role of point-of-care ultrasound (POCUS) in clinical hepatology[J]. Hepatology, 2024, DOI:10.1097/HEP.0000000000000990[Epub ahead of print].
- [37] KORATALA A, RONCO C, KAZORY A. Multi-organ point-of-care ultrasound in acute kidney injury[J]. Blood Purif, 2022, 51(12): 967-971. DOI: 10.1159/000522652.
- [38] FU E L, TREVISAN M, CLASE C M, et al. Association of acute increases in plasma creatinine after renin-angiotensin blockade with subsequent outcomes[J]. Clin J Am Soc Nephrol, 2019, 14(9): 1336-1345. DOI: 10.2215/CJN.03060319.
- [39] MOLINA M, APAZA J, GONZÁLEZ MONTE E, et al. Results of kidney transplantation from deceased donors with acute kidney injury[J]. Transplant Proc, 2015, 47(1): 42-44. DOI: 10.1016/j.transproceed.2014.11.007.
- [40] GARNER M, JAY C L, SHARDA B, et al. Long-term outcomes of kidney transplantation from deceased donors with terminal acute kidney injury: single center experience and literature review[J]. Clin Transplant, 2023, 37(3): e14886. DOI: 10.1111/ctr.14886.

(收稿日期: 2025-04-23)

(本文编辑: 谢诗韵 吴秋玲)