

超声参数联合胱抑素 C 监测肝移植术后早期急性肾损伤价值初探

张迪 孙静 赵凯 许传岫 丁施文 蔡金贞 王建红

【摘要】 目的 探讨超声参数肝肾指数 (HRI) 和肾动脉阻力指数 (RRI) 联合胱抑素 C (CysC) 在监测肝移植术后早期急性肾损伤 (AKI) 中的价值。方法 收集 121 例脑死亡器官捐献供肝肝移植受者的围手术期资料, 以及受者术后 1~7 d、1 个月 HRI 和 RRI, 以及术后 1 d CysC 水平。根据术后 7 d 内是否发生 AKI 分为 AKI 组 (53 例) 和非 AKI 组 (68 例), 比较两组受者资料, 分析 AKI 组受者恢复前后超声指标, 分析术后 HRI、RRI 联合 CysC 监测 AKI 发生的价值。结果 53 例受者发生 AKI, 发生率为 43.8%, 其中 1 期 30 例、2 期 18 例、3 期 5 例。49 例于术后 1 d 发生, 4 例于术后 2 d 发生。43 例于术后 7 d 内恢复, 8 例于术后 2 个月内恢复, 1 例失访, 1 例接受肾脏替代治疗。AKI 组体质量指数、术前 CysC 高于非 AKI 组, 手术时间长于非 AKI 组, 术后 1 d HRI 低于非 AKI 组, RRI、CysC 高于非 AKI 组 (均为 $P<0.05$)。发生 AKI 时, HRI 低于基线水平, RRI 高于基线水平。随 AKI 恢复, HRI 逐渐升高, RRI 逐渐降低。受试者工作特征曲线分析结果显示, HRI ≤ 1.12 监测 AKI 发生的灵敏度为 0.623, 特异度为 0.878, 曲线下面积 (AUC) 为 0.801; RRI ≥ 0.65 监测 AKI 发生的灵敏度为 0.878, 特异度为 0.676, AUC 为 0.825; CysC ≥ 1.38 mg/L 时监测 AKI 发生的灵敏度为 0.736, 特异度为 0.882, AUC 为 0.851 (均为 $P<0.01$)。HRI 联合 CysC (AUC=0.897, $P<0.01$)、RRI 联合 CysC (AUC=0.910, $P<0.01$)、三者联合 (AUC=0.934, $P<0.01$) 均较单独应用效能更高。结论 HRI 和 RRI 可用于监测肝移植术后早期 AKI 的发生和恢复情况, 两者联合 CysC 对监测肝移植术后早期 AKI 发生有较高应用价值。

【关键词】 肝移植; 急性肾损伤; 肝肾指数; 肾动脉阻力指数; 胱抑素 C; 床旁超声; 彩色多普勒超声; 血清肌酐

【中图分类号】 R617, R455.1 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1674-7445 (2025) 04-0010-08

Preliminary study of the value of ultrasound parameters combined with cystatin C in monitoring early acute kidney injury after liver transplantation Zhang Di, Sun Jing, Zhao Kai, Xu Chuanshen, Ding Shiwen, Cai Jinzhen, Wang Jianhong. *Organ Transplantation Center, the Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao 266100, China*
Corresponding author: Wang Jianhong, Email: ningtai@sina.com

【Abstract】 **Objective** To explore the value of combined ultrasound parameters, including the hepatorenal index (HRI) and renal resistance index (RRI), with cystatin C (CysC) in monitoring early acute kidney injury (AKI) after liver transplantation. **Methods** Perioperative data from 121 liver transplant recipients who received organs from donation after brain death were collected. The HRI and RRI of the recipients were measured on postoperative days 1-7 and at 1 month, and the CysC levels were measured on postoperative day 1. The recipients were divided into the AKI group ($n=53$) and the non-AKI group ($n=68$) based on whether AKI occurred within 7 days after operation. The data of the two groups were

DOI: 10.12464/j.issn.1674-7445.2025090

基金项目: 山东省自然科学基金 (ZR2023MH240); 青岛大学附属医院临床+X 科研项目 (QYFY+X202101060)

作者单位: 266100 青岛, 青岛大学附属医院器官移植中心

作者简介: 张迪 (ORCID 0009-0003-3042-9393), 硕士研究生, 研究方向为器官移植超声, Email: 2861480296@qq.com

通信作者: 王建红 (ORCID 0000-0003-2618-1439), 博士, 主任医师, 研究方向为器官移植超声, Email: ningtai@sina.com

compared, and the ultrasound parameters before and after recovery in the AKI group were analyzed. The value of combined HRI, RRI and CysC in monitoring AKI was also analyzed. **Results** AKI occurred in 53 recipients, with an incidence rate of 43.8%, including 30 cases of stage 1, 18 cases of stage 2, and 5 cases of stage 3. Among them, 49 cases occurred on postoperative day 1, and 4 cases occurred on postoperative day 2. Of these, 43 cases recovered within 7 days after surgery, 8 cases recovered within 2 months after surgery, 1 case was lost to follow-up, and 1 case received renal replacement therapy. The body mass index and preoperative CysC levels were higher in the AKI group than in the non-AKI group, and the operative time was longer in the AKI group than in the non-AKI group (all $P < 0.05$). The HRI on postoperative day 1 was lower in the AKI group than in the non-AKI group, while the RRI and CysC levels were higher (all $P < 0.05$). When AKI occurred, the HRI was lower than the baseline level, and the RRI was higher than the baseline level. As AKI recovered, the HRI gradually increased, and the RRI gradually decreased. The receiver operating characteristic curve analysis showed that the sensitivity and specificity of $HRI \leq 1.12$ for predicting AKI were 0.623 and 0.878, respectively, with an area under the curve (AUC) of 0.801. The sensitivity and specificity of $RRI \geq 0.65$ for predicting AKI were 0.878 and 0.676, respectively, with an AUC of 0.825. The sensitivity and specificity of $CysC \geq 1.38$ mg/L for predicting AKI were 0.736 and 0.882, respectively, with an AUC of 0.851 (all $P < 0.01$). The combination of HRI and CysC (AUC=0.897, $P < 0.01$), RRI and CysC (AUC=0.910, $P < 0.01$), and all three parameters combined (AUC=0.934, $P < 0.01$) were more effective than using each parameter alone. **Conclusions** HRI and RRI may be used to monitor the occurrence and recovery of early AKI after liver transplantation. The combination of these two parameters with CysC has a high application value in monitoring early AKI after liver transplantation.

【Key words】 Liver transplantation; Acute kidney injury; Hepatorenal index; Renal resistance index; Cystatin C; Bedside ultrasound; Color Doppler ultrasound; Serum creatinine

急性肾损伤 (acute kidney injury, AKI) 是肝移植术后常见并发症, 可能会导致患者住院时间延长, 增加远期肾功能障碍发生率和病死率^[1-2]。2012年改善全球肾脏病预后 (Kidney Disease: Improving Global Outcomes, KDIGO) 组织标准指出, 尿量和血清肌酐 (serum creatinine, Scr) 可用作 AKI 的诊断和预测工具^[3]。然而, 受性别、年龄、肌肉质量等的影响, 且肾脏存在强大的代偿功能, 少尿对于诊断肾功能不全的特异性较差, Scr 升高对 AKI 的早期诊断也缺乏敏感性, 存在较高的漏诊率和治疗延误风险^[4-6]。因此, 寻找监测 AKI 发生发展的敏感指标对改善肝移植受者预后至关重要。胱抑素 C (cystatin C, CysC) 是肾脏代谢的小分子, 不易受干扰并且能够反映肾脏早期损伤, 与 AKI 的发生密切相关^[7], 但 CysC 水平易受激素、药物应用的影响^[8]。超声由于其无创、实时、可床旁操作等优势, 是监测肝移植术后 AKI 的首选影像检查。肾脏皮质回声增强与肾间质组织学改变相关, 肝肾指数 (hepatorenal index, HRI) 即将肝脏、肾脏感兴趣区域内平均灰阶值相比, 可定量反映肾脏皮质回声^[9]。肾血管收缩是 AKI 的早期表现之一, 肾动脉阻力指数 (renal resistive index, RRI) 可反映肾动脉血流阻力、肾脏大循环和微循环血流分布, 有助于对患者肾损伤进行早期评

估。目前, 尚未见 HRI 应用于肝移植术后早期 AKI 监测的相关报道, 本文旨在探讨 HRI 和 RRI 联合 CysC 在监测肝移植术后 AKI 发生和恢复中的作用。

1 资料与方法

1.1 研究对象

纳入标准: 2022年2月至2023年2月于青岛大学附属医院接受脑死亡器官捐献供肝肝移植的成年患者。排除标准: (1) 术前存在干扰超声参数测量的疾病, 如巨大肾囊肿、孤立肾、异位肾、马蹄肾、髓质海绵肾、多囊肾、肾结石等; (2) 供者脂肪肝; (3) 接受劈离式肝移植; (4) 因急性肝衰竭而接受肝移植; (5) 既往存在慢性肾衰竭; (6) 术前合并肝肾综合征、AKI 或 IgA 肾病; (7) 肾动脉狭窄或顽固性腹腔积液; (8) 二次肝移植; (9) 合并其他器官移植; (10) 术后 7 d 内死亡。

最终纳入 121 例患者, 年龄 (50±9) 岁, 女 21 例, 男 100 例。所有受者术后均常规使用他克莫司+吗替麦考酚酯+糖皮质激素的三联免疫抑制方案。根据术后 7 d AKI 发生情况, 分为非 AKI 组 68 例, AKI 组 53 例。本研究获青岛大学附属医院伦理委员会批准, 豁免患者知情同意 (批号: QYFY WZLL 27926)。

1.2 AKI 诊断及分期标准

AKI 的诊断采用 KDIGO 标准^[3]: (1) 48 h 内 Scr 增高 $\geq 26.5 \mu\text{mol/L}$; (2) 尿量 $< 0.5 \text{ mL}/(\text{kg}\cdot\text{h})$, 且持续 6 h 以上; (3) 7d 内 Scr 增高至基础值 1.5 倍。以术前最近 1 次检查为基线。由于利尿药的应用, 尿量往往并不准确, 本研究主要以 Scr 为准。

分期标准: 1 期为 48 h 内 Scr 升高 $\geq 26.5 \mu\text{mol/L}$ 或 Scr 升高达基础值的 1.5~1.9 倍; 2 期为 Scr 升高达基础值的 2.0~2.9 倍; 3 期为 Scr 升高超过基础值的 3 倍或 Scr $\geq 353.6 \mu\text{mol/L}$ 或需要启动肾脏替代治疗。

AKI 恢复的定义: 在未进行肾脏替代治疗的情况下 Scr 开始出现下降趋势且绝对值下降至基础值的 1.5 倍以内, 从诊断 AKI 至肾功能恢复的时间为肾损伤持续时间^[10]。

1.3 超声检查

术后 1~7 d 及 1 个月行超声检查, 选取术后 1 个月数据作为基线。超声仪器采用飞利浦 EPIQ 7, 探头为 C5-1MHz 凸阵探头。患者取仰卧位, 右臂举过头顶, 二维超声于肋缘下及肋间扫查, 调整探头角度, 避免肋骨遮挡, 将肝-右肾交界处置于超声图像的中心, 获取肝-右肾矢状切面图(图 1)。使用 Q-LAB 软件分析计算肝-右肾二维超声声像图感兴趣区内平均灰阶值, 并计算 HRI。

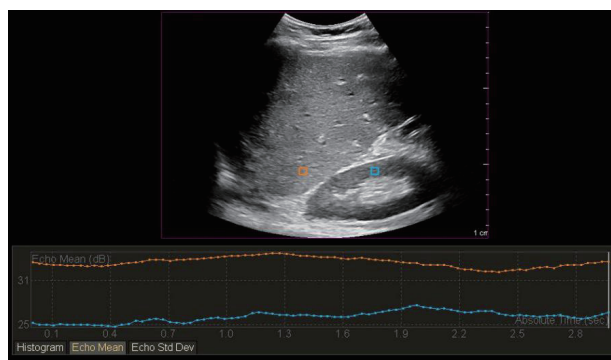


图 1 二维超声肝-右肾矢状切面图

Figure 1 Sagittal section image of hepato-right kidney measure by ultrasound

彩色多普勒超声测量 RRI, 取样框选取肾皮质中段叶间动脉, 取样角度与血流尽量平行, 不能平行状态下与血流流速方向 $< 60^\circ$ (图 2), 同时记录测量 RRI 时的心率, 并使用 Mostbeck 心率校正获得最终的 RRI 值^[11]: 校正后的 RRI=测量的 RRI-[0.002 6 \times (80-心率)]。测量 3 次取平均值。

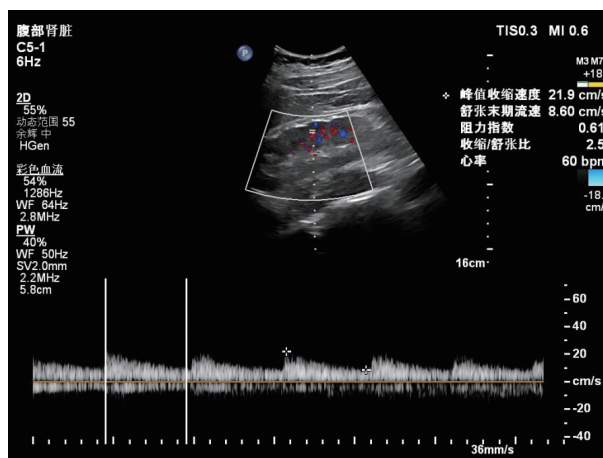


图 2 彩色多普勒超声测量 RRI

Figure 2 Color Doppler ultrasound measurement of RRI

1.4 研究内容

收集患者资料, 包括年龄、性别、基础疾病(高血压、糖尿病)、体质量指数(body mass index, BMI)、终末期肝病模型(model for end-stage liver disease, MELD)评分、术前实验室检查(Scr、CysC、白蛋白、肾小球滤过率等)、术前有无腹腔积液、术中资料(手术方式、手术时间、无肝期、输血量等)、术后乳酸峰值、术后 1 d CysC 等。分析 AKI 的发生及恢复情况。对比 AKI 组与非 AKI 组受者资料。比较 AKI 患者恢复前后超声指标。分析超声参数联合 CysC 对 AKI 的诊断价值。

1.5 统计学方法

采用 SPSS 25.0 软件进行统计学分析。符合正态分布的计量资料以均数 \pm 标准差表示, 两组间比较采用独立样本 *t* 检验, 同组间前后比较采用配对 *t* 检验。不符合正态分布的计量资料以中位数(下四分位数, 上四分位数)表示, 组间比较采用秩和检验。计数资料以率表示, 比较采用 χ^2 检验或 Fisher 精确检验。绘制受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线, 并计算曲线下面积(area under the curve, AUC), 根据约登指数定义最优截点。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 AKI 发生及恢复情况

121 例受者中, 53 例发生 AKI, 发生率为 43.8%。AKI 分期中, 1 期 30 例、2 期 18 例、3 期 5 例。49 例于术后 1 d 发生, 4 例于术后 2 d 发生。发生 AKI 的受者中, 43 例于术后 7 d 内恢复, 对未

恢复受者进行随访, 其中 8 例于术后 2 个月内恢复, 1 例失访, 1 例接受肾脏替代治疗。

2.2 AKI 组与非 AKI 组受者资料比较

AKI 组 BMI、术前 CysC 高于非 AKI 组, 手术时间长于非 AKI 组, 术后 1 d HRI 低于非 AKI 组, RRI、

CysC 高于非 AKI 组 (均为 $P < 0.05$, 表 1)。其余资料比较, 差异均无统计学意义 (均为 $P > 0.05$)。

2.3 AKI 患者恢复前后超声指标比较

术后 7 d 内恢复的 AKI 患者超声指标前后比较结果见表 2。发生 AKI 时, HRI 低于基线水平, RRI 高

表 1 AKI 组与非 AKI 组围手术期指标的比较

Table 1 Comparison of perioperative parameters between the AKI and non-AKI groups

指标	AKI组 (n=53)	非AKI组 (n=68)	统计值	P值
年龄 ($\bar{x} \pm s$, 岁)	50±9	45±9	0.340	0.734
性别[n (%)]			0.336	0.562
男	45 (85)	55 (81)		
女	8 (15)	13 (19)		
BMI ($\bar{x} \pm s$, kg/m ²)	26±4	23±4	4.415	<0.010
糖尿病史[n (%)]	7 (13)	4 (6)	1.934	0.173
高血压史[n (%)]	6 (11)	5 (7)	0.567	0.908
原发病[n (%)]				0.772
肿瘤	23 (43)	29 (43)		
乙型病毒性肝炎肝硬化	24 (45)	23 (34)		
酒精性肝硬化	4 (8)	7 (10)		
胆汁淤积性肝病	1 (2)	4 (6)		
自身免疫性肝炎	1 (2)	5 (7)		
MELD评分[M (P ₂₅ , P ₇₅), 分]	14 (10, 18)	11 (8, 18)	-1.813	0.700
术前腹腔积液[n (%)]	30 (57)	33 (49)	0.778	0.379
术前CysC[M (P ₂₅ , P ₇₅), mg/L]	1.19 (0.99, 1.56)	1.10 (0.90, 1.33)	-2.025	0.043
Scr ($\bar{x} \pm s$, μmol/L)	78±19	74±19	1.191	0.236
肾小球滤过率[$\bar{x} \pm s$, mL/(min·1.73 m ²)]	82±24	89±31	-1.321	0.196
白蛋白 ($\bar{x} \pm s$, g/L)	33±5	33±7	0.150	0.881
手术方式[n (%)]				1.000
背驮式肝移植	1 (2)	1 (1)		
经典原位肝移植	52 (98)	67 (99)		
术中红细胞输注量[M (P ₂₅ , P ₇₅), U]	4.5 (2.0, 10.0)	6 (4.0, 8.5)	-0.360	0.719
手术时长 ($\bar{x} \pm s$, h)	8.7±1.7	8.0±1.5	2.253	0.030
无肝期时间[M (P ₂₅ , P ₇₅), min]	38 (33, 44)	35 (31, 40)	-1.774	0.076
术后乳酸峰值[M (P ₂₅ , P ₇₅), mmol/L]	2.5 (1.8, 3.6)	3.0 (1.9, 4.3)	-1.184	0.236
术后1 d HRI ($\bar{x} \pm s$)	1.08±0.21	1.40±0.35	-5.828	<0.010
术后1 d RRI ($\bar{x} \pm s$)	0.69±0.04	0.63±0.05	6.912	<0.010
术后1 d CysC[M (P ₂₅ , P ₇₅), mg/L]	1.88 (1.33, 2.54)	1.03 (0.89, 1.23)	-6.615	<0.010

表 2 AKI 患者恢复前后 HRI、RRI 比较

Table 2 Comparison of HRI and RRI before and after recovery patients with AKI

指标	n	AKI发生当日	AKI恢复前1 d	AKI恢复当日	术后1个月
HRI	43	1.13±0.20	1.28±0.19 ^a	1.37±0.27 ^{a,b}	1.38±0.23 ^{a,b}
RRI	43	0.69±0.04	0.63±0.04 ^a	0.61±0.03 ^{a,b}	0.61±0.02 ^{a,b}

注：与AKI发生当日比较，^aP<0.05；与AKI恢复前1 d比较，^bP<0.05。

于基线水平。随 AKI 恢复，HRI 逐渐升高，RRI 逐渐降低（均为 P<0.05）。

2.4 超声参数联合 CysC 对 AKI 的诊断价值

ROC 曲线分析结果显示，术后 1 d HRI、RRI、CysC 监测 AKI 发生的最佳截断值分别为 1.12、0.65、1.38 mg/L，灵敏度分别为 0.623、0.878、0.736，特异度分别为 0.878、0.676、0.882，AUC 分别为 0.801、0.825、0.851（均为 P<0.01）。HRI 联合 RRI（AUC=0.890）、HRI 联合 CysC（AUC=0.897）、RRI 联合 CysC（AUC=0.910）、三者联合（AUC=0.934）均较单独应用效能更高（均为 P<0.01，图 3）。

HRI 联合 RRI 的预测公式： $\text{logit}(P_1) = -13.288 + 28.267 \times \text{RRI} - 4.611 \times \text{HRI}$ ，HRI 联合 CysC 的预测公式： $\text{logit}(P_2) = 0.084 - 3.789 \times \text{HRI} + 3.115 \times \text{CysC}(\text{mg/L})$ ，RRI 联合 CysC 的预测公式： $\text{logit}(P_3) = -18.047 + 21.143 \times \text{RRI} + 2.773 \times \text{CysC}(\text{mg/L})$ ；三者联合的预测公式： $\text{logit}(P_4) = -13.514 + 22.436 \times \text{RRI} - 4.166 \times \text{HRI} + 2.561 \times \text{CysC}(\text{mg/L})$ 。

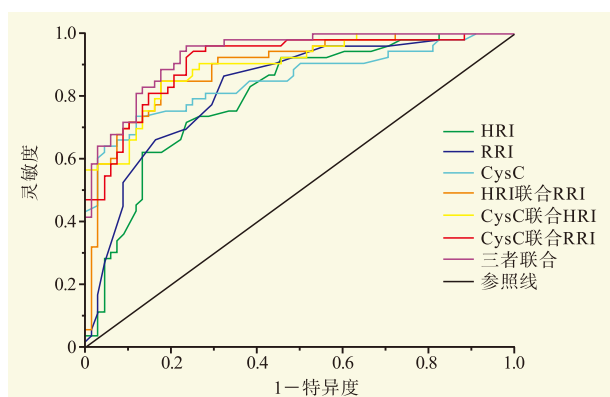


图 3 超声参数联合 CysC 诊断 AKI 的 ROC 曲线分析

Figure 3 ROC curves of ultrasound parameters combined with CysC for the diagnosis of AKI

3 讨论

据国内外文献报道，肝移植术后早期 AKI 发生

率为 43.3%~56.6%^[12-15]。本研究中 AKI 发生率为 43.8%，与文献报道相近，91% 为 1 期与 2 期患者，81% 于术后 7 d 内恢复。肝移植术后早期 AKI 不仅影响肝移植受者的短期存活，而且是肝移植后合并慢性肾病的重要危险因素^[16-18]。早期识别肝移植术后 AKI 的危险因素，寻找监测 AKI 发生发展的敏感指标，对制定肾脏保护策略、指导抗生素合理使用、避免肾损伤药物使用具有重要意义。

肝移植术后 AKI 发生的危险因素复杂，包括术前、术中、术后因素。研究表明，术前较高的 Scr、MELD 评分、合并糖尿病或高血压等为肝移植术后 AKI 的危险因素^[19-22]。本研究中 AKI 组与非 AKI 组在一般资料、术前 Scr 水平、MELD 评分、基础疾病、手术方式等方面差异均无统计学意义，可能是因为术前肾功能不全的患者未纳入组，合并基础疾病的患者数量较少，且仅有 2 例背驮式肝移植，样本量不足。本研究发现 BMI 是术后 AKI 发生的危险因素，Park 等^[23]也曾报道肥胖对肝移植术后肾功能有显著影响，发现 BMI>27.5 kg/m² 与术后 AKI 发生独立相关，风险比值为 2.5。我们还注意到 AKI 组较非 AKI 组手术时间更长。曾有学者指出，肝移植手术时间较长（>480 min）的患者 AKI 发生风险是手术时间较短患者的 6.567 倍^[24]。尽早发现危险因素，合理规避与干预，有利于降低 AKI 发生率。

床旁超声因其无创、便捷、可重复性高的特点在肝移植术后监测中得到广泛应用。二维超声可观察肾脏实质回声，是肾脏疾病的敏感指标^[9,25-26]。但二维超声受超声医师主观影响较大，难以准确地反映肾脏实质回声。HRI 将肝脏、肾脏感兴趣区域内平均灰阶值相比，以肝实质为参照，可客观、定量反映肾脏实质回声。本研究发现发生 AKI 时 HRI 显著降低，随 AKI 恢复，HRI 逐渐升高。其原因可能是 AKI 时肾小管受损，内皮细胞凋亡，肾内结晶、管型等细胞降解物堵塞肾小管，从而引起间质性肾水肿^[27-28]。本研

究结果显示, 术后 1 d HRI 监测 AKI 发生的灵敏度为 0.623, 特异度为 0.878, AUC 为 0.801。

彩色多普勒超声可以直观反映肾脏局部的血液灌注, 间接推测全身血流动力学的状态。肾脏血流灌注包括肾宏观循环(大血管, 如肾动脉)和微观循环(直径<20 μm 的小血管), 在 AKI 的发生中起重要作用^[29-33]。血流动力学参数改变是肾功能代谢性失偿的主要生理性表征之一, RRI 是以动脉多普勒波形为理论基础获取血流动力学的客观指标, 可实时反映肾椎体叶间动脉血管床的阻力状态^[34]。一项关于 RRI 在大手术后 AKI 监测中应用的 meta 分析表明, RRI 在心脏、骨骼等大手术后发生 AKI 的患者中显著升高^[35]。本研究同样发现肝移植术后 AKI 发生时 RRI 显著升高, 且随 AKI 缓解, RRI 逐渐回落。术后 1 d RRI 监测 AKI 发生的灵敏度为 0.878, 特异度为 0.676, AUC 为 0.825, 且与 HRI 联合效能更高(AUC 为 0.890)。

CysC 属于半胱氨酸蛋白酶抑制剂家族成员, 主要由有核细胞合成和释放产生, 可自由透过肾小球, 之后在肾曲小管被重吸收和降解, 是目前临床上反映机体肾小球滤过率较为理想的实验室指标, 且不受患者年龄、性别、饮食结构等因素的影响, 在人体血液生成量较为稳定^[36-38]。当患者肾小球滤过生理功能出现损伤情况, 血清 CysC 水平即可出现升高现象, 且其随着损伤程度加重而呈明显升高趋势, 对肾损伤现象较为敏感, 可比 Scr 早 1~2 d 反映肾损伤情况^[39]。有研究认为血清 CysC 在诊断 AKI 方面具有较高的灵敏度和特异度^[40-42]。本研究发现 AKI 组较非 AKI 组术前 CysC 水平更高, 表明术前 CysC 较高提示术后发生 AKI 的风险较大。ROC 曲线分析显示, 术后 1 d CysC 监测 AKI 发生的灵敏度为 0.736, 特异度为 0.882, AUC 为 0.851, 与超声指标 HRI、RRI 联合时效能大大提高(AUC=0.934), 在肝移植术后早期 AKI 监测中有着良好应用价值。

综上所述, 超声测定 HRI 与 RRI 可有效监测肝移植术后早期 AKI 的发生和恢复情况, 与血清学指标 CysC 联合具有更高的应用价值, 有助于治疗方案的早期介入, 为提高肝移植术后早期 AKI 患者预后提供了保障。但本研究仍存在一定的局限性, 首先样本量较少, 大多数 AKI 患者为 1 期与 2 期, 对 3 期 AKI 患者的观察不足。且超过 90% 的患者于术后 1 d 发生 AKI, 缺乏 AKI 发生前的基线超声指标, 仍需

扩大样本量、开展多中心研究来验证所得出的结论。

参考文献:

- [1] DONG V, NADIM M K, KARVELLAS C J. Post-liver transplant acute kidney injury[J]. *Liver Transpl*, 2021, 27(11): 1653-1664. DOI: 10.1002/lt.26094.
- [2] 陈冠戎, 陈劲岩, 胡歆, 等. 基于机器学习算法构建心脏死亡器官捐献供肝移植后急性肾损伤风险预测模型的应用价值[J]. *中华消化外科杂志*, 2025, 24(2): 236-248. DOI: 10.3760/cma.j.cn115610-20241208-00545. CHEN G R, CHEN J Y, HU X, et al. Application value of risk prediction model for acute kidney injury after donation of cardiac death liver transplantation based on machine learning algorithm[J]. *Chin J Dig Surg*, 2025, 24(2): 236-248. DOI: 10.3760/cma.j.cn115610-20241208-00545.
- [3] KHAWAJA A. KDIGO clinical practice guidelines for acute kidney injury[J]. *Nephron Clin Pract*, 2012, 120(4): c179-c184. DOI: 10.1159/000339789.
- [4] BELLOS I, PERGIALIOTIS V, KONTZOGLIOU K. Renal resistive index as predictor of acute kidney injury after major surgery: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Crit Care*, 2019, 50: 36-43. DOI: 10.1016/j.jcrc.2018.11.001.
- [5] DI NICOLÒ P, GRANATA A. Renal intraparenchymal resistive index: the ultrasonographic answer to many clinical questions[J]. *J Nephrol*, 2019, 32(4): 527-538. DOI: 10.1007/s40620-018-00567-x.
- [6] LIMA C, SANTOS FERREIRA G, DE FÁTIMA FERNANDES VATTIMO M, et al. Comprehensive biomarker assessment for predicting severe acute kidney injury and need of kidney replacement therapy in liver transplantation patients[J]. *Ren Fail*, 2024, 46(2): 2402076. DOI: 10.1080/0886022X.2024.2402076.
- [7] 蔡金贞, 李志强, 许传岫, 等. 肝移植术后急性肾损伤的诊断与治疗[J]. *器官移植*, 2023, 14(4): 473-478. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7445.2023.04.001. CAI J Z, LI Z Q, XU C S, et al. Diagnosis and treatment of acute kidney injury after liver transplantation[J]. *Organ Transplant*, 2023, 14(4): 473-478. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7445.2023.04.001.
- [8] LIANG S, SHI M, BAI Y, et al. The effect of glucocorticoids on serum cystatin C in identifying acute kidney injury: a propensity-matched cohort study[J]. *BMC Nephrol*, 2020, 21(1): 519. DOI: 10.1186/s12882-020-02165-1.
- [9] EL-RESHAID K. B-mode gray-scale ultrasound abnormalities in adult patients: a useful tool in diagnosis of kidney diseases[J]. *J Drug Delivery Ther*, 2021, 11(3): 97-102. DOI: 10.22270/jDDT.v11i3.4698.
- [10] CHAWLA L S, BELLOMO R, BIHORAC A, et al. Acute kidney disease and renal recovery: consensus report of the Acute Disease Quality Initiative (ADQI) 16 Workgroup[J]. *Nat Rev Nephrol*, 2017, 13(4): 241-257. DOI: 10.1038/nrneph.2017.2.
- [11] MOSTBECK G H, GÖSSINGER H D, MALLEK R, et

- al. Effect of heart rate on Doppler measurements of resistive index in renal arteries[J]. *Radiology*, 1990, 175(2): 511-513. DOI: 10.1148/radiology.175.2.2183288.
- [12] LIZAOLA-MAYO B, VARGAS H E. Hepatorenal syndrome-acute kidney injury in liver transplantation[J]. *Clin Gastroenterol Hepatol*, 2023, 21(10S): S20-S26. DOI: 10.1016/j.cgh.2023.06.010.
- [13] LEE Y S, CHOI Y J, PARK K H, et al. Liver transplant patients with high levels of preoperative serum ammonia are at increased risk for postoperative acute kidney injury: a retrospective study[J]. *J Clin Med*, 2020, 9(6): 1629. DOI: 10.3390/jcm9061629.
- [14] SOUCY-PROULX M, CARRIER F M, VINCELETTE C, et al. Association between liver graft to recipient weight ratio and acute kidney injury following liver transplantation: a historical cohort study[J]. *Clin Transplant*, 2024, 38(10): e15473. DOI: 10.1111/ctr.15473.
- [15] WANG Y, LIU P, DUAN M. Prevalence, risk factors and clinical outcomes of acute kidney injury after paediatric liver transplantation[J]. *Arch Esp Urol*, 2023, 76(8): 548-554. DOI: 10.56434/j.arch.esp.urol.20237608.68.
- [16] CHIU P F, LIN P R, TSAI C C, et al. The impact of acute kidney injury with or without recovery on long-term kidney outcome in patients undergoing living liver transplantation[J]. *Nephrol Dial Transplant*, 2023, 38(8): 1817-1822. DOI: 10.1093/ndt/gfad005.
- [17] ZHAO Q, HUANG J, QIN M, et al. Protective value of ischemia-free liver transplantation on post-transplant acute kidney injury[J]. *JHEP Rep*, 2025, 7(4): 101339. DOI: 10.1016/j.jhepr.2025.101339.
- [18] CHAN Y C, YE H C H, LI L C, et al. Excess risk of major adverse cardiovascular and kidney events after acute kidney injury following living donor liver transplantation[J]. *J Clin Med*, 2022, 11(11): 3100. DOI: 10.3390/jcm11113100.
- [19] SAKAI T. Acute kidney injury after adult liver transplantation-doesn't intraoperative management matter?[J]. *Liver Transpl*, 2022, 28(7): 1131-1132. DOI: 10.1002/lt.26469.
- [20] 陈怡宁, 张慧, 康俊伟, 等. 原位肝移植后发生早期急性肾损伤危险因素及预后分析[J]. *中华消化外科杂志*, 2024, 23(7): 952-960. DOI: 10.3760/cma.j.cn115610-20240606-00281.
- CHEN Y N, ZHANG H, KANG J W, et al. Analysis of risk factors and prognosis for early acute kidney injury after orthotopic liver transplantation[J]. *Chin J Dig Surg*, 2024, 23(7): 952-960. DOI: 10.3760/cma.j.cn115610-20240606-00281.
- [21] FIORELLI S, BIANCOFIORE G, FELTRACCO P, et al. Acute kidney injury after liver transplantation, perioperative risk factors, and outcome: prospective observational study of 1681 patients (OLTx Study)[J]. *Minerva Anestesiol*, 2022, 88(4): 248-258. DOI: 10.23736/S0375-9393.21.15860-2.
- [22] CARAGATA R, EMERSON S, SANTEMA M L, et al. Intraoperative hypotension and the risk of acute kidney injury following liver transplantation[J]. *Clin Transplant*, 2023, 37(10): e15053. DOI: 10.1111/ctr.15053.
- [23] PARK M H, SHIM H S, KIM W H, et al. Clinical risk scoring models for prediction of acute kidney injury after living donor liver transplantation: a retrospective observational study[J]. *PLoS One*, 2015, 10(8): e0136230. DOI: 10.1371/journal.pone.0136230.
- [24] ZHOU Z Q, FAN L C, ZHAO X, et al. Risk factors for acute kidney injury after orthotopic liver transplantation: a single-center data analysis[J]. *J Huazhong Univ Sci Technolog Med Sci*, 2017, 37(6): 861-863. DOI: 10.1007/s11596-017-1818-5.
- [25] SINGLA R K, KADATZ M, ROHLING R, et al. Kidney ultrasound for nephrologists: a review[J]. *Kidney Med*, 2022, 4(6): 100464. DOI: 10.1016/j.xkme.2022.100464.
- [26] 洪文娟, 李红俊, 邹久林, 等. 卡格列净对肾病综合征的治疗作用及超声评价[J]. *中山大学学报(医学科学版)*, 2023, 44(1): 71-77. DOI: 10.13471/j.cnki.j.sun.yat-sen.univ(med.sci).2023.0116.
- HONG W J, LI H J, ZOU J L, et al. Therapeutic effect of canagliflozin on nephrotic syndrome and its ultrasonic evaluation[J]. *J Sun Yat Sen Univ (Med Sci)*, 2023, 44(1): 71-77. DOI: 10.13471/j.cnki.j.sun.yat-sen.univ(med.sci).2023.0116.
- [27] TUMA J. CME sonography 99/answers: kidney echo changes[J]. *Praxis*, 2021, 110(9): 510-511. DOI: 10.1024/1661-8157/a003676.
- [28] PLATT E, KLOOTWIJK E, SALAMA A, et al. Literature review of the mechanisms of acute kidney injury secondary to acute liver injury[J]. *World J Nephrol*, 2022, 11(1): 13-29. DOI: 10.5527/wjn.v11.i1.13.
- [29] 刘培青, 张迎春, 丁常伟, 等. 多普勒超声联合超声造影在脓毒性急性肾损伤中的临床应用——从宏观到微观的肾灌注视角[J]. *中华超声影像学杂志*, 2023, 32(10): 871-879. DOI: 10.3760/cma.j.cn131148-20230309-00138.
- LIU P Q, ZHANG Y C, DING C W, et al. Clinical application of Doppler ultrasound with contrast-enhanced ultrasound in septic acute kidney injury: from macroscopic to microscopic renal perfusion perspectives[J]. *Chin J Ultrason*, 2023, 32(10): 871-879. DOI: 10.3760/cma.j.cn131148-20230309-00138.
- [30] KWIATKOWSKA E, KWIATKOWSKI S, DZIEDZIEJKO V, et al. Renal microcirculation injury as the main cause of ischemic acute kidney injury development[J]. *Biology*, 2023, 12(2): 327. DOI: 10.3390/biology12020327.
- [31] LIU P, CAI X, ZHANG Y, et al. The clinical application of ultrasound for acute kidney injury during sepsis—from macroscopic to microscopic renal perfusion perspectives[J]. *Ultrasound Med Biol*, 2023, 49(9):

- 2017-2024. DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.2023.05.006.
- [32] WATCHORN J, HUANG D, BRAMHAM K, et al. Decreased renal cortical perfusion, independent of changes in renal blood flow and sublingual microcirculatory impairment, is associated with the severity of acute kidney injury in patients with septic shock[J]. *Crit Care*, 2022, 26(1): 261. DOI: 10.1186/s13054-022-04134-6.
- [33] 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*, 2023, 43: 57-66. DOI: 10.1016/j.nefro.2023.03.002.
- [34] 付优, 葛晨, 何聪, 等. 肾阻力指数对老年患者发生持续性急性肾损伤的预测价值[J]. *中国老年学杂志*, 2024, 44(8): 1887-1890. DOI: 10.3969/j.issn.1005-9202.2024.08.026.
- FU Y, GE C, HE C, et al. Predictive value of renal resistance index on persistent acute renal injury in elderly patients[J]. *Chin J Gerontol*, 2024, 44(8): 1887-1890. DOI: 10.3969/j.issn.1005-9202.2024.08.026.
- [35] WU H, LIU K, DARKO I N, et al. Predictive value of renal resistive index for the onset of acute kidney injury and its non-recovery: a systematic review and meta-analysis[J]. *Clin Nephrol*, 2020, 93(4): 172-186. DOI: 10.5414/cn109979.
- [36] WANG R, CHEN H, HE M, et al. Serum cystatin C is correlated with mortality of traumatic brain injury patients partially mediated by acute kidney injury[J]. *Acta Neurol Belg*, 2023, 123(6): 2235-2241. DOI: 10.1007/s13760-023-02282-2.
- [37] 周文杰, 张楠, 赵恬, 等. 炎症指标和血清胱抑素 C 对脓毒症相关急性肾损伤患者预后的预测价值[J]. *中华危重病急救医学*, 2025, 37(3): 275-279. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20240908-00759.
- ZHOU W J, ZHANG N, ZHAO T, et al. Predictive value of inflammatory indicator and serum cystatin C for the prognosis of patients with sepsis-associated acute kidney injury[J]. *Chin Crit Care Med*, 2025, 37(3): 275-279. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20240908-00759.
- [38] 唐天威, 李路安, 陈源汉, 等. 高血清胱抑素 C 水平是 IgA 肾病不良预后的独立危险因素[J]. *南方医科大学学报*, 2025, 45(2): 379-386. DOI: 10.12122/j.issn.1673-4254.2025.02.19.
- TANG T W, LI L A, CHEN Y H, et al. High serum cystatin C is an independent risk factor for poor renal prognosis in IgA nephropathy[J]. *J Southern Med Univ*, 2025, 45(2): 379-386. DOI: 10.12122/j.issn.1673-4254.2025.02.19.
- [39] WANG R R, HE M, GUI X, et al. A nomogram based on serum cystatin C for predicting acute kidney injury in patients with traumatic brain injury[J]. *Ren Fail*, 2021, 43(1): 206-215. DOI: 10.1080/0886022X.2021.1871919.
- [40] 李雅琳, 李东风, 王静, 等. 连续性肾脏替代治疗脓毒症急性肾损伤患者预后预测模型构建[J]. *中华危重病急救医学*, 2024, 36(12): 1268-1272. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20240103-00010.
- LI Y L, LI D F, WANG J, et al. Construction of prognostic prediction model for patients with sepsis-induced acute kidney injury treated with continuous renal replacement therapy[J]. *Chin Crit Care Med*, 2024, 36(12): 1268-1272. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20240103-00010.
- [41] YANG H, LIN C, ZHUANG C, et al. Serum cystatin C as a predictor of acute kidney injury in neonates: a meta-analysis[J]. *J Pediatr*, 2022, 98(3): 230-240. DOI: 10.1016/j.jpeds.2021.08.005.
- [42] CHEN D, JIANG L, TAN Y, et al. Serum cystatin C within 24 hours after admission: a potential predictor for acute kidney injury in Chinese patients with community acquired pneumonia[J]. *Ren Fail*, 2023, 45(1): 2194444. DOI: 10.1080/0886022X.2023.2194444.

(收稿日期: 2025-02-20)

(本文编辑: 方引超 吴秋玲)