

· 论著 ·

超声造影评估脑死亡器官捐献供肾对移植肾功能延迟恢复的预测价值

孙静 王越 纪建磊 刘金泉 吴晓冬 许传岫 王建红

【摘要】 **目的** 探讨超声造影 (CEUS) 定量参数评估脑死亡器官捐献 (DBD) 供肾对受者发生移植肾功能延迟恢复 (DGF) 的预测价值。**方法** 回顾性分析 134 例 DBD 供者及对应 202 例肾脏和受者的临床资料, 根据肾移植术后肾功能将受者分为 DGF 组 (39 例) 和非 DGF 组 (163 例), 比较两组常规超声、CEUS 参数及临床资料。采用受试者工作特征 (ROC) 曲线以最高约登指数确定 CEUS、临床参数及两者联合预测 DGF 的最佳截取值, 评价不同参数预测 DGF 的能力。**结果** 两组肾皮质峰值强度 (P_{Ic})、肾髓质峰值强度 (P_{Im}), 供者白蛋白 (ALB)、入院后首次血清肌酐 (Scr), 受者 Na⁺ 浓度差异有统计学意义 (均为 $P < 0.05$)。CEUS 参数 P_{Ic}、P_{Im} 联合以及 P_{Ic}、P_{Im} 联合临床参数预测 DGF 的曲线下面积 (AUC) 分别为 0.711 和 0.808, 最佳截取值为 0.193 和 0.191, 约登指数为 0.382 和 0.517, 灵敏度为 0.769 和 0.769, 特异度为 0.613 和 0.748。后者预测 DGF 的 AUC 高于前者, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。**结论** CEUS 定量参数 P_{Ic}、P_{Im} 评估 DBD 供肾对受者 DGF 有良好的预测价值, 联合临床参数的诊断效能更佳。

【关键词】 肾移植; 脑死亡器官捐献; 移植肾功能延迟恢复; 超声造影; 时间-强度曲线 (TIC); 血清肌酐; 白蛋白; 峰值强度

【中图分类号】 R617, R445.1 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1674-7445 (2025) 03-0015-07

Predictive value of contrast-enhanced ultrasound in evaluating delayed graft function in kidneys from donation after brain death Sun Jing, Wang Yue, Ji Jianlei, Liu Jinquan, Wu Xiaodong, Xu Chuanshen, 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 investigate the predictive value of quantitative parameters of contrast-enhanced ultrasound (CEUS) in evaluating kidneys from donation after brain death (DBD) for the occurrence of delayed graft function (DGF) in recipients. **Methods** The clinical data of 134 DBD donors and 202 corresponding kidneys and recipients were retrospective analyzed. The recipients were divided into DGF group ($n=39$) and non-DGF group ($n=163$) according to the renal function after kidney transplantation. Conventional ultrasound, CEUS parameters, and clinical data were compared between the two groups. Receiver operating characteristic (ROC) curves were used to determine the optimal cut-off values for predicting DGF using CEUS parameters, clinical parameters, and their combination, based on the highest Youden index. The predictive ability of different parameters for DGF was evaluated. **Results** There were statistically significant differences in cortical peak intensity (P_{Ic}), medullary peak intensity (P_{Im}), donor albumin (ALB), serum creatinine (Scr) after admission, and the Na⁺ concentration of recipients between the two groups (all $P < 0.05$). The area under the curve (AUC) for predicting DGF using the combination of CEUS parameters P_{Ic} and P_{Im} was 0.711, with

DOI: 10.12464/j.issn.1674-7445.2025038

基金项目: 山东省自然科学基金面上项目 (ZR2023MH240)

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: 孙静 (ORCID 0009-0002-4434-1803), 硕士研究生, 研究方向为移植超声, Email: SJ9903110426@163.com

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

an optimal cut-off value of 0.193 and a Youden index of 0.382. The AUC for predicting DGF using the combination of CEUS parameters PIc, PIm and clinical parameters was 0.808, with an optimal cut-off value of 0.191 and a Youden index of 0.517. The sensitivity and specificity were 0.769 and 0.613 for the former, and 0.769 and 0.748 for the latter, respectively. The AUC for predicting DGF using CEUS parameters PIc and PIm combined with clinical parameters was significantly higher than that using CEUS parameters PIc and PIm ($P < 0.05$). **Conclusions** The CEUS quantitative parameters PIc and PIm have good predictive value in assessing kidneys from DBD donors for DGF in recipients, and the diagnostic efficacy is better when combined with clinical parameters.

【Key words】 Kidney transplantation; Donation after brain death; Delayed graft function; Contrast-enhanced ultrasound; Time-intensity curve (TIC); Serum creatinine; Albumin; Peak intensity

在全球范围内,终末期肾病的患病率逐渐增加,肾移植是最理想的治疗方法,移植术后可以减轻患者的长期经济负担,有效改善患者预后,提高生活质量^[1-2]。移植肾功能延迟恢复(delayed graft function, DGF)是急性肾损伤的一种表现,也是影响肾移植预后常见的并发症之一^[3-4]。由于供肾类型和质量不同,各中心所报道的DGF发生率不等,其中遗体器官捐献的发生率在27.0%~55.1%^[5],且呈逐年上升趋势。然而,供肾短缺是开展肾移植手术的主要限制因素,活体捐献者以及应用扩大标准供者(expanded criteria donor, ECD)可以缓解这一问题,但ECD供肾的寿命比标准供者肾脏往往短得多,术后发生并发症风险更高,且废弃率逐渐上升,如何建立ECD供肾综合评估体系,提高利用率是该领域重点关注的问题^[6-9]。

超声造影(contrast-enhanced ultrasound, CEUS)利用微泡造影剂提供高分辨率成像描述肾脏局灶性病变和灌注模式,造影剂通过呼吸运动排出且无肾毒性^[10-12],可为供肾评估、移植肾功能预测提供有力依据^[1,13]。目前,已有关于CEUS评估肾移植受者肾功能的研究报道,而关于CEUS评估脑死亡器官捐献(donation after brain death, DBD)供肾对受者预后的预测研究甚少。本研究拟探讨CEUS定量参数评估DBD供肾质量对受者DGF的预测价值,旨在为临床及时干预以提高移植肾生存率提供重要依据。

1 资料与方法

1.1 研究对象及分组

回顾性分析2023年3月至2024年11月青岛大学附属医院器官移植中心253例DBD供者以及对应的505个肾脏(1例孤立肾),根据排除标准,最终纳入134例DBD供者以及202例肾脏和受者。排除标准(数值代表供肾个数):(1)年龄<18岁

(8个);(2)临床数据不全(20个);(3)常规超声或CEUS检查资料不完整(163个);(4)乙型肝炎(6个);(5)废弃或外院行肾移植(76个);(6)二次肾移植、联合移植(30个)。

供者中男107例,女27例,年龄57(48,64)岁,体质量指数(body mass index, BMI)24.3(22.4, 26.5) kg/m²。脑干出血9例、脑梗死14例、脑出血42例、创伤性脑损伤51例、缺氧缺血性脑病17例、脑疝1例。合并高血压病史57例,糖尿病史13例,脂肪肝病史44例,饮酒史41例。连续肾脏替代治疗(continuous renal replacement therapy, CRRT)治疗史72例。受者中男156例、女46例,年龄(45±11)岁, BMI 23.6(21.7, 26.0) kg/m²。

根据移植后肾功能将受者分为DGF组(39例)和非DGF组(163例)。DGF诊断标准^[14]:(1)肾移植术后1周内需要进行透析治疗;(2)即使不需要透析治疗,术后7d的血清肌酐(serum creatinine, Scr)未降至400 μmol/L以下;(3)术后尿量<1 200 mL/d或第1周内连续3d每日Scr下降幅度少于前1日的10%。以受者移植前最后1次肾功能检查为基线值,符合以上任意一项均可诊断为DGF。本研究已通过青岛大学附属医院医学伦理委员会审核批准(批号:QYFYWZLL29392),豁免患者知情同意。

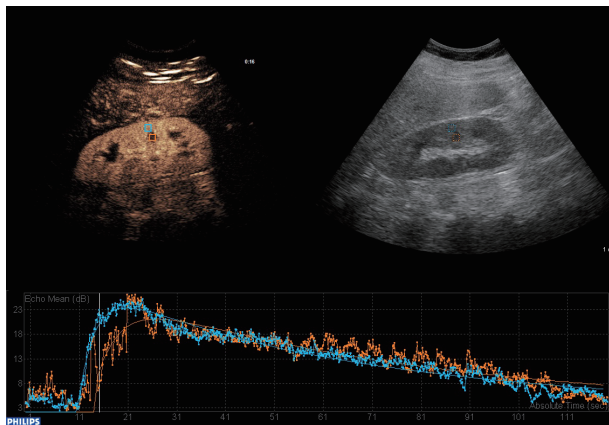
1.2 研究内容

收集供、受者的临床资料,包括供者年龄、性别、BMI、糖尿病史、CRRT治疗史、终末白蛋白(albumin, ALB)、总胆红素(total bilirubin, TB)、丙氨酸转氨酶(alanine aminotransferase, ALT)、天冬氨酸转氨酶(aspartate aminotransferase, AST),入院后首次Scr、血尿素氮、尿素/肌酐比值;受者年龄、性别、BMI、K⁺浓度、Na⁺浓度、糖尿病史、术

前血糖、术后首次血糖、透析时间。供肾常规超声、CEUS 参数包括肾叶间动脉收缩期峰值流速 (peak systolic velocity, PSV) 和阻力指数 (resistance index, RI)、肾皮质和肾髓质造影剂的达峰时间 (time to peak, TTP) 差、峰值强度 (peak intensity, PI)、上升时间 (rise time, RT)、平均渡越时间 (mean transit time, MTT)、曲线下面积 (area under the curve, AUC)、增强斜率 (wash in slope, WIS)。分析 DGF 组和非 DGF 组之间参数的差异性, 比较相关参数对受者发生 DGF 的诊断效能。

1.3 CEUS 图像采集及分析处理

对 DBD 供肾录制 2 min 动态图像, 图像采集和读取均由两名经验丰富的中级及以上职称超声科医师共同完成。将动态图像导入飞利浦 QLAB 13 分析软件, 取位于肾脏中央 2 个 25 mm² 的感兴趣区, 分别是肾皮质 (c) 和肾髓质 (m), 对其进行时间-强度曲线 (time-intensity curve, TIC) 分析 (图 1), 自动记录以下参数: TTPc-m、PIc 和 PIm、RTc 和 RTm、MTTc 和 MTTm、AUCc 和 AUCm、WISc 和 WISm。



注: 蓝色正方形感兴趣区代表肾皮质, 橘黄色正方形感兴趣区代表肾髓质。

图 1 CEUS 的 TIC 分析

Figure 1 Analysis of TIC of CEUS

1.4 统计学方法

使用 SPSS 26.0 软件进行统计学分析。应用 *S-W* 检验对样本数据进行正态性检验, 符合正态分布的定量资料以均数±标准差表示, 两组间比较采用两独立样本 *t* 检验。不符合正态分布的定量资料以中位数 (下四分位数, 上四分位数) 表示, 两组间采用 Mann-Whitney *U* 检验。定性资料以频数和 (或) 百分比表示, 两组间比较采用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率法。选择检验结果中 $P \leq 0.001$ 的参数绘制受试者工作特

征 (receiver operating characteristic, ROC) 曲线, 以最高约登指数确定识别 DGF 的最佳截取值, 计算灵敏度和特异度。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组供、受者临床资料比较

两组供者性别、BMI、ALB、TB、入院后首次 Scr、血尿素氮、尿素/肌酐比值、CRRT 治疗史, 受者 BMI、Na⁺ 比较, 差异均有统计学意义 (均为 $P < 0.05$, 表 1)。

2.2 两组供肾超声参数比较

两组间 CEUS 参数 WISc、PIc、AUCc、WISm、PIm、AUCm 比较, 差异均有统计学意义 (均为 $P < 0.05$, 表 2), 其他 CEUS 参数差异均无统计学意义 (均为 $P > 0.05$)。

2.3 CEUS 和临床参数以及两者联合预测 DGF 的诊断效能

ROC 曲线显示, 单独采用供者 ALB、供者入院后首次 Scr、受者 Na⁺ 浓度、PIc、PIm 预测 DGF 的诊断效果并不理想 (图 2A)。

PIc 和 PIm 二者联合预测 DGF 的 AUC 为 0.711, 最佳截取值为 0.193, 灵敏度为 0.769, 特异度为 0.613, 约登指数 0.382, 诊断效果较好 (图 2B), 联合预测公式 $\text{logit}(P_1) = 0.997 + 0.015 \times \text{PIc} (\text{dB}) - 0.187 \times \text{PIm} (\text{dB})$ 。PIc、PIm 联合供者 ALB、供者入院后首次 Scr、受者 Na⁺ 浓度预测 DGF 的诊断效果最佳, AUC 为 0.808, 最佳截取值为 0.191, 灵敏度为 0.769, 特异度为 0.748, 约登指数 0.517, 联合预测公式 $\text{logit}(P_2) = -23.806 + 0.048 \times \text{PIc} (\text{dB}) - 0.193 \times \text{PIm} (\text{dB}) - 0.094 \times \text{供者 ALB} (\text{g/L}) + 0.006 \times \text{供者入院后首次 Scr} (\mu\text{mol/L}) + 0.190 \times \text{受者 Na}^+ \text{浓度} (\text{mmol/L})$ 。PIc、PIm 联合临床参数预测 DGF 的 AUC 大于 PIc、PIm 联合 ($P < 0.05$)。

3 讨论

现阶段我国公民逝世后器官捐献主要分为 DBD、心脏死亡器官捐献和脑-心双死亡器官捐献, DBD 所占比例最大^[15]。本文研究对象为 DBD 供者, 脑死亡后交感神经系统过度兴奋, 可引起激素、代谢、血流动力学改变和系统性炎症反应, 出现一系列的功能障碍和生理变化, 如低血压、心律失常、肺水肿、尿崩症、弥散性血管内凝血和急性肾损伤等^[16-17]。DGF 是发生急、慢性移植肾功能障碍和移植肾失功

表1 两组供、受者临床资料比较

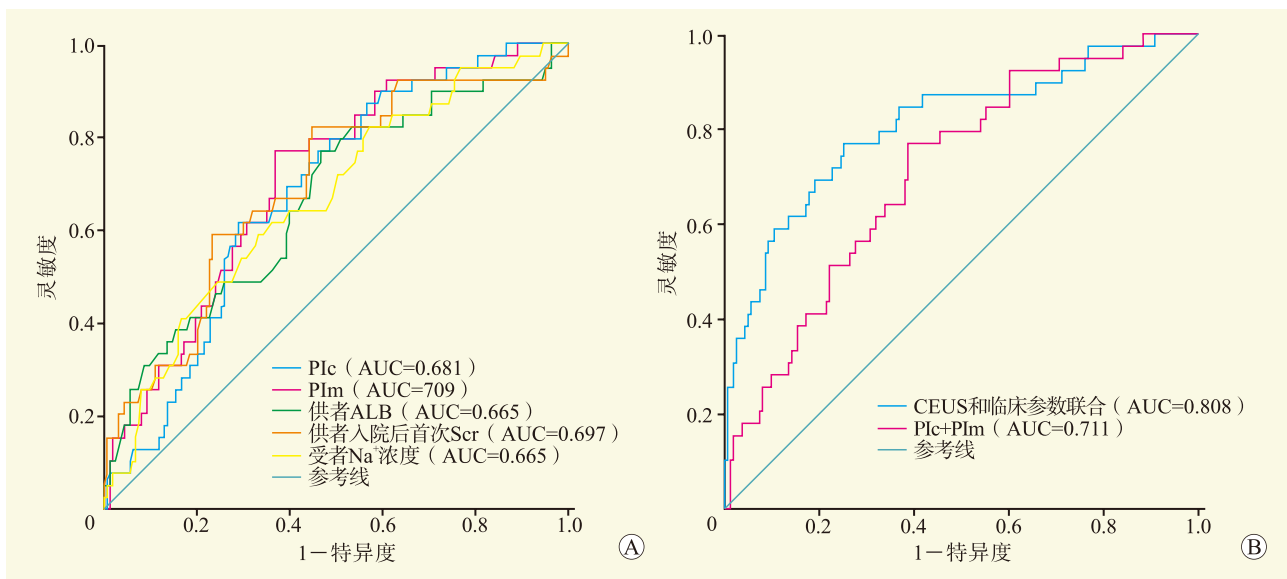
Table 1 Comparison of the clinical data of donors and recipients between two groups

指标	DGF组 (n=39)	非DGF组 (n=163)	统计值	P值
供者资料				
女性[n (%)]	2 (5.1)	37 (22.7)	6.237	0.013
年龄[M (P ₂₅ , P ₇₅), 岁]	59 (51, 64)	57 (46, 64)	-0.757	0.449
糖尿病史[n (%)]	3 (7.7)	16 (9.8)	0.011	0.918
BMI[M (P ₂₅ , P ₇₅), kg/m ²]	24.7 (23.9, 27.7)	24.3 (22.1, 26.5)	-2.146	0.032
ALB (x̄±s, g/L)	34±6	37±5	-3.528	0.001
TB[M (P ₂₅ , P ₇₅), μmol/L]	23 (14, 33)	16 (12, 24)	-2.598	0.009
ALT[M (P ₂₅ , P ₇₅), U/L]	39 (23, 78)	49 (25, 107)	-1.147	0.251
AST[M (P ₂₅ , P ₇₅), U/L]	67 (38, 111)	67 (37, 116)	-0.239	0.811
入院后首次Scr[M (P ₂₅ , P ₇₅), μmol/L]	102 (70, 162)	64 (47, 95)	-3.824	<0.001
血尿素氮[M (P ₂₅ , P ₇₅), mmol/L]	8.3 (6.5, 10.3)	6.9 (5.1, 8.9)	-2.380	0.017
尿素/肌酐比值[M (P ₂₅ , P ₇₅)]	32 (23, 41)	39 (27, 49)	-2.199	0.028
CRRT治疗史[n (%)]	29 (74.4)	78 (47.9)	8.875	0.003
受者资料				
女性[n (%)]	5 (12.8)	40 (24.5)	2.799	0.247
年龄 (x̄±s, 岁)	45±11	45±11	0.076	0.940
BMI[M (P ₂₅ , P ₇₅), kg/m ²]	25.0 (22.6, 27.9)	23.3 (21.6, 25.5)	-2.351	0.019
K ⁺ [M (P ₂₅ , P ₇₅), mmol/L]	5.0 (4.6, 5.3)	4.8 (4.4, 5.2)	-1.386	0.166
Na ⁺ [M (P ₂₅ , P ₇₅), mmol/L]	143 (141, 145)	142 (140, 143)	-3.196	0.001
糖尿病史[n (%)]	6 (15.4)	25 (15.3)	0.000	0.994
术前血糖 (x̄±s, mmol/L)	5.4±1.1	5.6±1.4	0.701	0.484
术后首次血糖 (x̄±s, mmol/L)	7.2±1.9	7.5±2.3	0.611	0.542
透析时间[M (P ₂₅ , P ₇₅), 月]	21 (11, 36)	18 (7, 30)	-1.475	0.140

表2 两组供肾常规超声和 CEUS 参数比较

Table 2 Comparison of conventional ultrasound and CEUS parameters of donor kidneys between two groups

指标	DGF组 (n=39)	非DGF组 (n=163)	统计值	P值
肾叶间动脉PSV[M (P ₂₅ , P ₇₅), cm/s]	27 (21, 35)	27 (23, 33)	-0.390	0.696
肾叶间动脉RI[M (P ₂₅ , P ₇₅)]	0.65 (0.59, 0.67)	0.61 (0.57, 0.67)	-1.606	0.108
WISc[M (P ₂₅ , P ₇₅), dB/s]	2.01 (1.17, 2.44)	2.38 (1.62, 3.17)	-2.357	0.018
PIc (x̄±s, dB)	16±4	19±4	-3.514	0.001
AUCc[M (P ₂₅ , P ₇₅), dBs]	1 032 (763, 1 283)	1 200 (893, 1 497)	-2.173	0.030
MTTc[M (P ₂₅ , P ₇₅), s]	37.35 (27.38, 44.82)	34.46 (25.88, 43.25)	-0.800	0.423
RTc[M (P ₂₅ , P ₇₅), s]	6.47 (5.06, 10.06)	6.33 (4.69, 8.56)	-1.176	0.240
WISm[M (P ₂₅ , P ₇₅), dB/s]	0.89 (0.65, 1.39)	1.28 (0.80, 1.86)	-2.574	0.010
PIm[M (P ₂₅ , P ₇₅), dB]	12.19 (10.25, 14.19)	16.43 (12.19, 20.28)	-4.050	<0.001
AUCm[M (P ₂₅ , P ₇₅), dBs]	847 (554, 1 074)	1 096 (720, 1 467)	-3.045	0.002
MTTm[M (P ₂₅ , P ₇₅), s]	37.45 (24.96, 47.59)	39.98 (27.97, 48.20)	-0.360	0.719
RTm[M (P ₂₅ , P ₇₅), s]	8.70 (5.47, 12.20)	8.83 (6.68, 12.31)	-0.904	0.366
TTPc-m[M (P ₂₅ , P ₇₅), s]	3.38 (1.64, 6.48)	4.41 (2.35, 7.62)	-1.224	0.221



注：A 图为 Plc、Plm、供者 ALB、供者入院后首次 Scr、受者 Na⁺浓度预测 DGF 的 ROC 曲线；B 图为 Plc、Plm 联合以及 CEUS 和临床参数联合预测 DGF 的 ROC 曲线。

图 2 各参数预测 DGF 的 ROC 曲线

Figure 2 ROC curves of each parameter for predicting DGF

的重要危险因素，防治 DGF 是目前肾移植领域的研究热点^[2,18]。ECD 有效缓解器官短缺的问题，但显著增加了 DGF 的发生率^[19]。

DGF 的发生可能受到供、受者因素多种因素影响^[20-21]。研究表明，严重急性肾小管损伤和急性肾损伤的供者在移植后短期内会增加受者发生 DGF 的风险，并且 DGF 恢复时间更长^[22-23]。目前，移植前活组织检查（活检）仍是评估供肾质量的金标准，但活检更易发生肉眼血尿、肾周脓肿等并发症^[24-25]。超声技术包括频谱多普勒和彩色多普勒已被用于评估肾脏灌注，而注射微泡的造影更能清晰地显示肾脏微血管的灌注状态^[1]。CEUS 相比于活检，具有实时、无创、稳定、可重复的优点，已成为评估肾功能的常规方法，对肾移植术后并发症的预测有较高的灵敏度和特异度^[26-27]，有利于指导临床医师做出临床诊断，改善患者预后。DGF 的发生与肾脏缺血-再灌注损伤密切相关^[28]，因此，在临床上通常建议对低灌注或复苏抢救的 DBD 供者器官再次进行 CEUS 检查，评估是否丢弃该器官，避免移植后产生不可逆的损伤，从而降低 DGF 的发生率^[29]。He 等^[21]应用 CEUS 评估 DBD 供肾血流灌注预测早期移植肾功能，发现 DGF 组的肾段动脉和肾皮质造影剂到达时间以及达峰时间间隔有延迟，可能是因为脑死亡引起的炎症反应使肾动脉收缩和缺血性损伤，从而导致肾血流量的减少。

本研究发现 DGF 组较非 DGF 组供肾有更低的 WIS、PI、AUC。因此，供肾 CEUS 参数的异常可能对受者 DGF 的早期发现具有潜在的临床意义，但本研究没有对供肾进行病理评估。Dong 等^[30]对 119 个供肾实施 CEUS 和穿刺活检并进行定量分析，根据肾脏 Remuzzi 评分分组，评估组间肾皮质和肾髓质 TIC 参数的差异，发现低病理评分表现出更高的 WIS、PI 和 AUC，但未得出 CEUS 参数与移植肾预后之间的相关性。

受者移植前血磷水平也可能增加 DGF 风险^[31]，供者低血清高密度脂蛋白和高血钙与 DGF 发生率降低相关^[32]。本研究发现两组供者 ALB、TB、入院后首次 Scr、血尿素氮、尿素/肌酐比值，受者血钠水平差异有统计学意义。多项研究表明肾脏冷缺血时间是导致 DGF 发生的关键因素，但对移植肾的长期预后无明显影响^[33-35]。也有研究指出肾脏热缺血时间是 DGF 的危险因素之一^[36]。由于器官捐献一般流程是评估后分配，再进行器官获取，获取和移植手术同时准备，我院器官移植中心已具备比较充足的经验和稳定的技术，将冷、热缺血时间均尽量控制在一定时间内，可基本排除这两个因素对 DGF 的影响，因此未将其纳入研究分析。

受者肾移植术前血液透析时间越长，发生 DGF 的风险越大^[33]，但本研究中透析时间长短与 DGF 预

测无关。Chen 等^[37]认为合并糖尿病史的供者肾脏可能更容易发生病理上的改变,如肾小球硬化、间质纤维化等,受者更易发生 DGF,但不会影响移植肾的长期存活率。同既往研究^[33,38-39],本研究纳入受者糖尿病史这一因素,但未发现差异。受者血糖水平似乎也与 DGF 的发生无关,可能是术前血糖测量时间无法统一以及术后使用激素导致血糖水平波动。

本研究 ROC 曲线结果显示,两种 CEUS 参数 Plc、PIIm 联合预测价值较大,AUC 达 0.711,但仅凭借 CEUS 参数的特异度较低。而将供者 ALB、供者入院后首次 Scr、受者 Na⁺浓度和 CEUS 参数 Plc、PIIm 联合,则具有更高的预测价值。

综上所述,CEUS 可以无创评估 DBD 供肾质量,CEUS 定量参数 Plc、PIIm 联合临床参数对肾移植术后 DGF 具有良好的预测价值。本研究属于单中心回顾性研究,样本量较少,并没有得到两组间 TTPc-m 存在差异性的结果,可能因为 CEUS 检查存在操作者依赖性,造影剂进入的时间存在误差。此外,本研究只关注了受者术后 7 d 内的肾功能,没有进行长期随访。未来需要设计更加完善、样本量更多的前瞻性研究来验证此结果。

参考文献:

- [1] MOECKLI B, SUN P, LAZEYRAS F, et al. Evaluation of donor kidneys prior to transplantation: an update of current and emerging methods[J]. *Transpl Int*, 2019, 32(5): 459-469. DOI: 10.1111/tri.13430.
- [2] HYSI E, KAUR H, YOUNG A. Evolving medical imaging techniques for the assessment of delayed graft function: a narrative review[J]. *Can J Kidney Health Dis*, 2021, 8: 1-14. DOI: 10.1177/20543581211048341.
- [3] PONTICELLI C, REGGIANI F, MORONI G. Delayed graft function in kidney transplant: risk factors, consequences and prevention strategies[J]. *J Pers Med*, 2022, 12(10): 1557. DOI: 10.3390/jpm12101557.
- [4] YE B M, HYEON J M, KIM S J, et al. Analysis of risk factors for delayed graft function after kidney transplantation[J]. *Transplant Proc*, 2022, 54(8): 2154-2158. DOI: 10.1016/j.transproceed.2022.07.014.
- [5] 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, Branch of Kidney Transplantation of China International Exchange and Promotive Association for 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.
- [6] BAE S, MASSIE A B, THOMAS A G, et al. Who can tolerate a marginal kidney? predicting survival after deceased donor kidney transplant by donor-recipient combination[J]. *Am J Transplant*, 2019, 19(2): 425-433. DOI: 10.1111/ajt.14978.
- [7] LENTINE K L, SMITH J M, LYDEN G R, et al. OPTN/SRTR 2022 annual data report: kidney[J]. *Am J Transplant*, 2024, 24(2S1): S19-S118. DOI: 10.1016/j.ajt.2024.01.012.
- [8] MASLAUSKIENE R, VAICIUNIENE R, TRETJAKOV S P, et al. Deceased kidney donor biomarkers: relationship between delayed kidney function and graft function three years after transplantation[J]. *Diagnostics*, 2024, 14(7): 717. DOI: 10.3390/diagnostics14070717.
- [9] YUN S O, LEE K W, PARK J B, et al. Impact of preoperative ultrasonography for predicting the prognosis of deceased donor kidney transplantation[J]. *Ultrasonography*, 2023, 42(2): 238-248. DOI: 10.14366/usg.22132.
- [10] EL-BANDAR N, LERCHBAUMER M H, PETERS R, et al. Kidney perfusion in contrast-enhanced ultrasound (CEUS) correlates with renal function in living kidney donors[J]. *J Clin Med*, 2022, 11(3): 791. DOI: 10.3390/jcm11030791.
- [11] DAN Q, JIANG X, WANG R, et al. Biogenic imaging contrast agents[J]. *Adv Sci*, 2023, 10(25): 2207090. DOI: 10.1002/advs.202207090.
- [12] LIU X, LIU D, LONG M, et al. Application value of ultrasonic contrast imaging and ultrasonic parameters in post-transplant renal surgery[J]. *Front Med*, 2024, 11: 1397884. DOI: 10.3389/fmed.2024.1397884.
- [13] 张蔚蓝,李凤,黄伟俊,等.基于常规超声及超声造影定量参数的 Logistic 回归模型预测移植肾功能延迟恢复的临床价值[J].*临床超声医学杂志*, 2023, 25(5): 378-383. DOI: 10.16245/j.cnki.issn1008-6978.2023.05.007. ZHANG W L, LI F, HUANG W J, et al. Clinical value of Logistic regression model based on quantitative parameters of conventional ultrasound and contrast-enhanced ultrasound in predicting delayed graft function [J]. *J Clin Ultrasound Med*, 2023, 25(5): 378-383. DOI: 10.16245/j.cnki.issn1008-6978.2023.05.007.
- [14] DECRUYENAERE P, DECRUYENAERE A, PEETERS P, et al. A single-center comparison of 22 competing definitions of delayed graft function after kidney transplantation[J]. *Ann Transplant*, 2016, 21: 152-159. DOI: 10.12659/aot.896117.
- [15] 周家奇,屠振华.脑死亡和潜在器官移植供者的维护[J].*浙江医学*, 2024, 46(2): 210-215. DOI: 10.12056/j.issn.1006-2785.2024.46.2.2023-1589. ZHOU J Q, TU Z H. Brain death and maintenance of potential organ transplant donors[J]. *Zhejiang Med J*, 2024, 46(2): 210-215. DOI: 10.12056/j.issn.1006-2785.2024.46.2.2023-1589.
- [16] KIRSCHEN M P, LEWIS A, GREER D M. The 2023 American Academy of Neurology, American Academy of Pediatrics, Child Neurology Society, and Society of Critical Care Medicine Pediatric and Adult Brain Death/Death by Neurologic Criteria Determination consensus guidelines: what the critical care team needs to

- know[J]. *Crit Care Med*, 2024, 52(3): 376-386. DOI: 10.1097/CCM.0000000000006099.
- [17] LAZZERI C, BONIZZOLI M, BATAACCHI S, et al. Haemodynamic management in brain death donors: influence of aetiology of brain death[J]. *World J Transplant*, 2023, 13(4): 183-189. DOI: 10.5500/wjt.v13.i4.183.
- [18] SONG J, YAO Y, HE Y, et al. Contrast-enhanced ultrasonography value for early prediction of delayed graft function in renal transplantation patients[J]. *J Ultrasound Med*, 2023, 42(1): 201-210. DOI: 10.1002/jum.16010.
- [19] JIA J, WANG B, WANG Y, et al. Application of ultrasound in early prediction of delayed graft function after renal transplantation[J]. *Abdom Radiol*, 2024, 49(10): 3548-3558. DOI: 10.1007/s00261-024-04353-1.
- [20] PAN J, LIAO G. Development and validation of nomogram for predicting delayed graft function after kidney transplantation of deceased donor[J]. *Int J Gen Med*, 2021, 14: 9103-9115. DOI: 10.2147/IJGM.S331854.
- [21] HE W, XU Y, GONG C, et al. Contrast-enhanced ultrasonography-based renal blood perfusion in brain-dead donors predicts early graft function[J]. *Ultrasonography*, 2023, 42(4): 532-543. DOI: 10.14366/usg.23006.
- [22] LIU C, HALL I E, MANSOUR S, et al. Association of deceased donor acute kidney injury with recipient graft survival[J]. *JAMA Netw Open*, 2020, 3(1): e1918634. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2019.18634.
- [23] WANG J, LIU J, WU W, et al. Combining clinical parameters and acute tubular injury grading is superior in predicting the prognosis of deceased-donor kidney transplantation: a 7-year observational study[J]. *Front Immunol*, 2022, 13: 912749. DOI: 10.3389/fimmu.2022.912749.
- [24] HO Q Y, LIM C C, TAN H Z, et al. Complications of percutaneous kidney allograft biopsy: systematic review and meta-analysis[J]. *Transplantation*, 2022, 106(7): 1497-1506. DOI: 10.1097/TP.0000000000004033.
- [25] 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.
- [26] YANG W, MOU S, CUI X, et al. Value of conventional ultrasound and contrast-enhanced ultrasound for the assessment of renal allograft dysfunction and prognosis[J]. *Clin Transplant*, 2023, 37(9): e14999. DOI: 10.1111/ctr.14999.
- [27] HAI Y, CHONG W, LIU J B, et al. The diagnostic value of contrast-enhanced ultrasound for monitoring complications after kidney transplantation—a systematic review and meta-analysis[J]. *Acad Radiol*, 2021, 28(8): 1086-1093. DOI: 10.1016/j.acra.2020.05.009.
- [28] KERNIG K, ALBRECHT V, DRÄGER D L, et al. Predictors of delayed graft function in renal transplantation[J]. *Urol Int*, 2022, 106(5): 512-517. DOI: 10.1159/000520055.
- [29] ZHANG H J, ZHENG B W, GU S J, et al. Doppler ultrasonography and contrast-enhanced ultrasonography to evaluate liver allograft discard: a pilot prospective study[J]. *Clin Hemorheol Microcirc*, 2021, 77(1): 107-114. DOI: 10.3233/CH-200950.
- [30] DONG S, ZHANG B, CHEN Z, et al. Assessment of renal quality with quantitative contrast-enhanced ultrasound (CEUS) for differentiating kidney histopathology before procurement[J]. *Int J Med Sci*, 2024, 21(1): 19-26. DOI: 10.7150/ijms.88147.
- [31] HASANZAMANI B, KARIMI N, SABBAGH M G, et al. The relationship between pre-transplant serum phosphorus before kidney transplantation with early graft dysfunction[J]. *Iran J Kidney Dis*, 2021, 1(2): 148-154.
- [32] SHI H B, ZHAO Y Y, LI Y, et al. Values of donor serum lipids and calcium in predicting graft function after kidney transplantation: a retrospective study[J]. *Curr Med Sci*, 2023, 43(3): 514-519. DOI: 10.1007/s11596-023-2729-2.
- [33] COELLO I, MARTÍNEZ A I, PERAIRE M, et al. Effect of ischemia times and donor and recipient features on maastricht category III kidney transplant outcomes[J]. *Arch Esp Urol*, 2022, 75(7): 612-617. DOI: 10.56434/arch.esp.urol.20227507.88.
- [34] ALI HUSAIN S, KHANNA S, YU M, et al. Cold ischemia time and delayed graft function in kidney transplantation: a paired kidney analysis[J]. *Transplantation*, 2024, 108(9): e245-e253. DOI: 10.1097/TP.0000000000005006.
- [35] PILICHOWSKA E, OSTROWSKI P, SIENKO J. The impact of hematological indices on the occurrence of delayed graft function (DGF) of transplanted kidney[J]. *J Clin Med*, 2023, 12(24): 7514. DOI: 10.3390/jcm12247514.
- [36] SAVOYE E, MARTIN-LEFÈVRE L, DANTAL J, et al. Risk factors for adverse outcomes in kidney transplants from donors after circulatory death with normothermic regional perfusion: a systematic analysis[J]. *Transplantation*, 2024, 108(2): e417-e427. DOI: 10.1097/TP.0000000000005102.
- [37] CHEN Q, GUO J, HAN S, et al. The impact of donor diabetes on recipient postoperative complications, renal function, and survival rate in deceased donor kidney transplantation: a single-center analysis[J]. *Ren Fail*, 2024, 46(2): 2391067. DOI: 10.1080/0886022X.2024.2391067.
- [38] HELFER M S, DE CASTRO POMPEO J, COSTA O R S, et al. Long-term effects of delayed graft function duration on function and survival of deceased donor kidney transplants[J]. *J Bras Nefrol*, 2019, 41(2): 231-241. DOI: 10.1590/2175-8239-jbn-2018-0065.
- [39] 汪博, 李亚娟, 阳婷婷, 等. 胱抑素 C 对肾移植术后发生肾功能延迟恢复的预测价值[J]. *重庆医学*, 2022, 51(14): 2353-2357, 2361. DOI: 10.3969/j.issn.1671-8348.2022.14.003.
- WANG B, LI Y J, YANG T T, et al. Predictive value of cystatin C in delayed graft function after renal transplantation[J]. *Chongqing Med*, 2022, 51(14): 2353-2357, 2361. DOI: 10.3969/j.issn.1671-8348.2022.14.003.

(收稿日期: 2025-01-17)

(本文编辑: 方引超 吴秋玲)