

肾动脉阻力指数与脾动脉阻力指数差值预测移植肾功能延迟恢复的临床价值

袁琳¹, 张雨¹, 丁炎¹, 徐卓群², 阮钧², 周锋盛¹

摘要 **目的** 应用超声测量肾移植术后患者肾动脉阻力指数(RI)及其与脾动脉阻力指数差值(Δ RI),探讨 Δ RI预测肾移植术后肾功能延迟恢复(DGF)的临床价值。**方法** 选取我院接受同种异体肾移植术患者85例,依据移植肾功能恢复情况分为DGF患者28例(DGF组)和早期肾功能恢复患者57例(IGF组),收集两组患者临床资料,包括性别、年龄、供肾热缺血时间、供肾冷缺血时间、高血压病史、糖尿病病史、慢性肾脏病病程、透析方式和时间,以及出院时血肌酐、估算肾小球滤过率(eGFR);应用超声测量移植肾长径、肾实质厚度、肾动脉峰值流速、肾动脉RI、脾动脉RI,并计算 Δ RI,比较两组上述参数的差异;分析超声参数与临床资料的相关性。绘制受试者工作特征(ROC)曲线分析超声参数预测肾移植术后DGF的诊断效能。**结果** DGF组供肾冷缺血时间、出院时血肌酐、肾动脉RI及 Δ RI均高于IGF组,出院时eGFR低于IGF组,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$);两组移植肾长径、肾实质厚度、肾动脉峰值流速、脾动脉RI及其余临床资料比较差异均无统计学意义。相关性分析显示,肾动脉RI、 Δ RI与出院时血肌酐均呈正相关($r=0.230, 0.250$, 均 $P<0.05$),与出院时eGFR均呈负相关($r=-0.321, -0.261$, 均 $P<0.05$),与供肾冷缺血时间均无相关性。ROC曲线分析显示, Δ RI预测肾移植术后DGF的曲线下面积为0.788(95%可信区间:0.689~0.888),高于肾动脉RI的曲线下面积[0.707(95%可信区间:0.589~0.826)],差异有统计学意义($P<0.05$)。**结论** 肾动脉RI和 Δ RI均可用于预测肾移植术后DGF,其中 Δ RI的诊断效能更高。

关键词 超声检查;肾动脉;脾动脉;阻力指数;差值;肾移植术;功能延迟恢复

[中图法分类号]R445.1;R617

[文献标识码]A

Clinical value of the difference between renal artery resistance index and splenic artery resistance index in predicting the delayed graft function after renal transplantation

YUAN Lin¹, ZHANG Yu¹, DING Yan¹, XU Zhuoqun², RUAN Jun², ZHOU Fengsheng¹

1.Department of Ultrasound Medicine, 2.Department of Urology, the Affiliated Wuxi People's Hospital of Nanjing Medical University, Wuxi Medical Center, Nanjing Medical University, Wuxi 214023, China

ABSTRACT **Objective** To measure renal artery resistance index(RI), and the difference between renal artery RI and splenic artery resistance index (Δ RI) by ultrasound, and to investigate the clinical value of Δ RI in predicting delayed graft function(DGF) after renal transplantation.**Methods** A total of 85 patients with allogeneic renal transplantation in our hospital were selected and divided into DGF group ($n=28$) and early graft function (IGF) group ($n=57$) based on the recovery of transplanted renal function. The clinical data of the two groups were collected, including gender, age, donor warm/cold ischemia time, history of hypertension, history of diabetes mellitus, duration of chronic kidney disease, dialysis mode and duration, serum creatinine and estimated glomerular filtration rate (eGFR) at discharge. The renal length, renal parenchymal thickness, renal artery peak systolic velocity (PSV), renal artery RI, and splenic artery RI were measured by ultrasound, and the Δ RI was calculated. The differences in above parameters between the two groups were compared. The correlations between ultrasound

基金项目:无锡市“双百”中青年医疗卫生后备拔尖人才培养计划(HB2023001)

作者单位:1.南京医科大学附属无锡人民医院 南京医科大学无锡医学中心超声医学科,2.泌尿外科,江苏 无锡 214023

通讯作者:周锋盛, Email:zhoufengsheng1978@163.com

parameters and clinical data were analyzed. Receiver operating characteristic (ROC) curve was drawn to analyze the diagnostic efficacy of ultrasound parameters in predicting DGF after renal transplantation. **Results** The donor cold ischemia time, serum creatinine at discharge, renal artery RI and Δ RI in DGF group were higher than those in IGF group, while eGFR at discharge was lower than that in IGF group, with statistically significant differences (all $P < 0.05$). There were no significant differences in renal length, renal parenchymal thickness, renal artery PSV and splenic artery RI between the two groups. Correlation analysis showed that renal artery RI and Δ RI were positively correlated with serum creatinine at discharge ($r = 0.230, 0.250$, both $P < 0.05$), and negatively correlated with eGFR at discharge ($r = -0.321, -0.261$, both $P < 0.05$). There were no correlations between renal artery RI, Δ RI and donor kidney cold ischemia time. ROC curve analysis showed that the area under the curve of Δ RI for predicting DGF after renal transplantation was 0.788 (95% confidence interval: 0.689~0.888), which was higher than that of renal artery RI [0.707 (95% confidence interval: 0.589~0.826)], the difference was statistically significant ($P < 0.05$). **Conclusion** Renal artery RI and Δ RI can be used to predict DGF after renal transplantation, with Δ RI demonstrating superior diagnostic efficacy.

KEY WORDS Ultrasonography; Renal artery; Splenic artery; Resistance index; Difference; Renal transplantation; Delayed graft function

同种异体肾移植术作为终末期肾病的根治性治疗手段,较透析治疗可显著改善患者生存率和生活质量^[1]。然而,移植物功能延迟恢复(delayed graft function, DGF)作为术后常见并发症,已被多项研究^[2-4]证实是影响肾移植患者长期预后的独立危险因素。2021 年流行病学数据^[5]显示,DGF 发生率已升至 35%,且呈持续增长趋势,这使得早期识别和干预 DGF 成为临床关注重点。超声因其无创、便捷等优势,已成为监测移植肾功能的重要工具。其中,肾动脉阻力指数(RI)被广泛用于评估移植肾功能障碍,其临床价值主要体现在可连续动态定量反映肾内动脉及微血管异常^[6]。然而,RI 除反映肾脏局部病变外,还会受全身血管状态、年龄等生理因素干扰^[7],临床难以区分肾源性与肾外性因素导致的 RI 升高。针对这一临床难题,有学者^[8]提出采用脾动脉 RI 作为参照,通过计算肾动脉 RI 与脾动脉 RI 差值(Δ RI)来校正肾外因素的影响。本研究通过比较肾动脉 RI 与 Δ RI 预测肾移植术后 DGF 的诊断效能,探讨 Δ RI 预测 DGF 的临床价值。

资料与方法

一、研究对象

选取 2021 年 7 月至 2024 年 6 月于我院接受同种异体肾移植术患者 85 例,其中男 56 例,女 29 例,年龄 22~68 岁,平均(45.45±9.68)岁。术前接受透析患者 84 例,其中血液透析 53 例,腹膜透析 33 例,同时接受血液透析和腹膜透析 2 例;1 例未采取肾脏替代治疗。所有供肾均来源于公民逝世后器官捐献。供肾热缺血时间为 2~10 min,供肾冷缺血时间为 2.17~16.00 h。根据 2024 年《中国肾脏移植受者移植物功能延迟恢复临

床诊疗指南》^[2]相关标准,将移植肾功能的恢复情况分为 DGF 患者 28 例(DGF 组)和早期肾功能恢复(immediate graft function, IGF)患者 57 例(IGF 组)。纳入标准:①受者年龄≥18 岁;②首次单个肾移植。排除标准:肾移植术后 1 周内发生超急性、急性排斥反应者,以及多器官联合移植受者、脾脏切除术、可能影响移植肾动脉和脾动脉 RI 测量的情况(如 II 度以上移植肾积水、门静脉高压症、心房颤动、血流动力学改变的腹腔干动脉狭窄、移植肾动静脉狭窄或动静脉血栓等)。本研究经我院医学伦理委员会批准(批准号:KY23017 号),所有患者均知情同意。

二、仪器与方法

1. 超声检查:使用 GE Logiq E8 彩色多普勒超声诊断仪, C1-5 凸阵探头,频率 3~5 MHz。所有患者均于肾移植术后 1 d 行超声检查。患者取仰卧位,将探头置于髂窝处,二维超声测量移植肾长径、肾实质厚度;CDFI 观察肾脏血流情况,选择脉冲多普勒模式,将取样容积置于移植肾肾门处,测量肾动脉峰值流速、RI。然后嘱患者取右侧卧位,将探头置于脾门处,取样容积置于脾动脉主干,测量脾动脉 RI,并计算 Δ RI,具体公式: Δ RI=肾动脉 RI-脾动脉 RI。所有参数均重复测量 3 次取平均值。

2. 临床资料收集:查阅电子病历收集肾移植患者性别、年龄、供肾热缺血时间、供肾冷缺血时间、高血压病史、糖尿病病史、慢性肾脏病病程、透析方式及时间;实验室检查获取出院时血肌酐及估算肾小球滤过率(eGFR)^[9]。

三、统计学处理

应用 SPSS 26.0 统计软件进行数据处理。正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,采用独立样本 t 检验;非正

态分布的计量资料以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示,采用 Mann-Whitney U 检验。计数资料以频数或率表示,采用 χ^2 检验。采用 Spearman 相关分析法分析超声参数与临床资料的相关性。绘制受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线分析超声参数预测肾移植术后 DGF 的诊断效能;曲线下面积(AUC)比较采用 DeLong 检验。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

一、两组临床资料比较

与 IGF 组比较,DGF 组供肾冷缺血时间增加,出院

时血肌酐增高、eGFR 减低,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$);两组性别比、年龄、供肾热缺血时间、高血压病史、糖尿病病史、慢性肾脏病病程、透析方式和时间比较差异均无统计学意义。见表 1。

二、两组超声参数比较

与 IGF 组比较,DGF 组肾动脉 RI 和 Δ RI 均增高,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$);两组肾长径、肾实质厚度、肾动脉峰值流速及脾动脉 RI 比较差异均无统计学意义。见表 2 和见图 1,2。

三、相关性分析

肾动脉 RI 和 Δ RI 与出院时血肌酐均呈正相关

表 1 两组临床资料比较

组别	男/女 (例)	年龄 (岁)	慢性肾脏病 病程(年)	透析方式(例)		透析时间 (个月)	高血压病史 (例)	糖尿病病史 (例)	供肾热缺血 时间(min)	供肾冷缺血 时间(h)	出院时血肌酐 ($\mu\text{mol/L}$)	出院时 eGFR ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot 1.73\text{ m}^{-2}$)
				血液透析	腹膜透析							
DGF 组(28)	17/11	44.93 $\pm$ 9.93	6.0(5.0,8.0)	18	9	36(15,81)	25	7	5.25 $\pm$ 2.26	8.64 $\pm$ 3.91	155.56 $\pm$ 77.73	50.13 $\pm$ 19.47
IGF 组(57)	39/18	45.70 $\pm$ 9.64	6.0(5.0,7.0)	35	24	24(12,48)	52	9	5.53 $\pm$ 2.39	6.68 $\pm$ 3.04	110.41 $\pm$ 43.65	71.46 $\pm$ 27.94
$\chi^2/Z/t$ 值	0.496	-0.344	-0.777	2.060		-1.584	0.083	1.042	-0.510	2.534	3.432	-3.626
P 值	0.481	0.732	0.437	0.151		0.113	0.773	0.307	0.611	0.013	0.001	0.001

eGFR:估算肾小球滤过率

表 2 两组超声参数比较

组别	肾长径 (mm)	肾实质厚度 (mm)	肾动脉峰值流速 (cm/s)	肾动脉 RI	脾动脉 RI	Δ RI
DGF 组(28)	107.61 $\pm$ 10.20	17.64 $\pm$ 2.57	98.00(69.50,128.50)	0.78 $\pm$ 0.09	0.61 $\pm$ 0.06	0.18 $\pm$ 0.06
IGF 组(57)	108.81 $\pm$ 10.68	17.21 $\pm$ 2.27	98.00(71.50,133.50)	0.72 $\pm$ 0.08	0.62 $\pm$ 0.06	0.10 $\pm$ 0.07
$\chi^2/Z/t$ 值	-0.494	0.789	-0.037	3.233	-0.719	4.885
P 值	0.623	0.432	0.970	0.002	0.474	0.001

RI:阻力指数; Δ RI:肾动脉阻力指数与脾动脉阻力指数差值

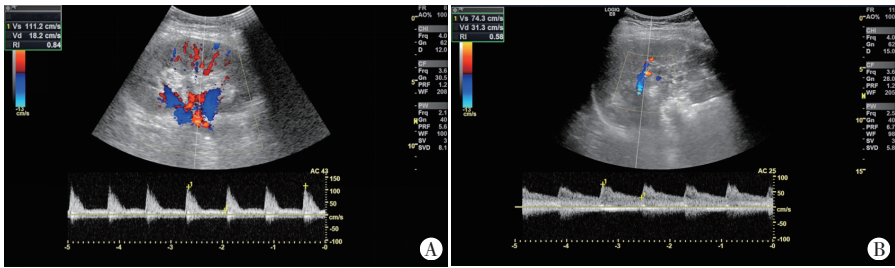
($r=0.230$ 、 0.250 ,均 $P<0.05$),与出院时 eGFR 均呈负相关($r=-0.321$ 、 -0.261 ,均 $P<0.05$),与供肾冷缺血时间均无相关性。见表 3。

四、ROC 曲线分析

ROC 曲线分析显示,当肾动脉 RI 截断值为 0.685,其预测肾移植术后 DGF 的 AUC 为 0.707(95%可信区间:0.589~0.826, $P<0.05$),灵敏度为 90.9%,特异度为 38.6%;当 Δ RI 截断值为 0.105,其预测肾移植术后 DGF 的 AUC 为 0.788(95%可信区间:0.689~0.888, $P<0.05$),灵敏度为 92.9%,特异度为 56.4%。 Δ RI 预测肾移植术后 DGF 的 AUC、特异度均高于肾动脉 RI,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。见图 3。

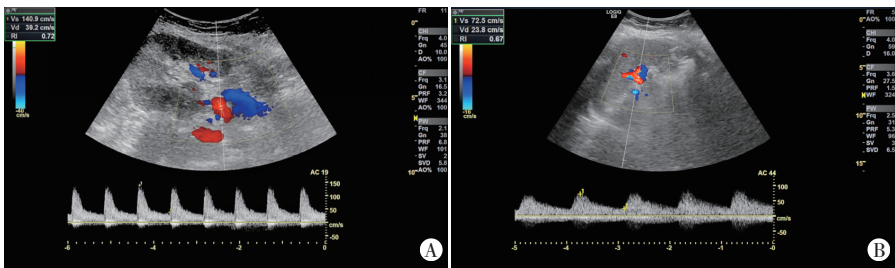
讨 论

DGF 是肾移植术后较为常见的早期并发症之一,其发生率在不同来源的供肾之间存在显著差异,供肾来源于亲属活体的 DGF 发生率一般为 1.6%~3.6%^[10],来源于公民逝世



A:肾动脉峰值流速为 111.2 cm/s,RI 为 0.84;B:脾动脉 RI 为 0.58。 Δ RI=0.26

图 1 DGF 组一患者(男,39 岁)肾移植术后 1 d 脉冲多普勒图



A:肾动脉峰值流速为 140.9 cm/s,RI 为 0.72;B:脾动脉 RI 为 0.67。 Δ RI=0.05

图 2 IGF 组一患者(女,49 岁)肾移植术后 1 d 脉冲多普勒图

表3 超声参数与临床资料的相关性分析

参数	肾动脉 RI		ΔRI	
	r 值	P 值	r 值	P 值
出院时血肌酐	0.230	0.034	0.250	0.021
出院时 eGFR	-0.321	0.003	-0.261	0.016
供肾冷缺血时间	0.075	0.496	0.101	0.356

RI:阻力指数;ΔRI:肾动脉阻力指数与脾动脉阻力指数差值

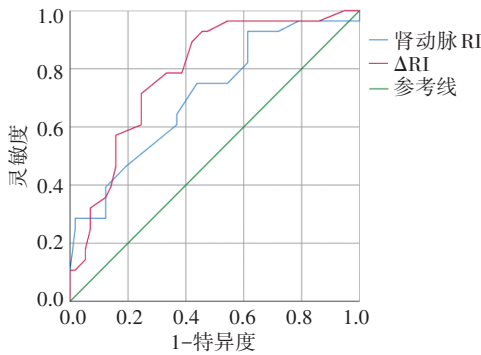


图3 肾动脉 RI 和 ΔRI 预测肾移植术后 DGF 的 ROC 曲线图

后器官捐献的 DGF 发生率一般为 4%~35%^[3,5]。本研究供肾均来源于公民逝世后的器官捐献, DGF 发生率约 32.9%, 与之报道一致。近年来, 由于肾脏移植供体严重短缺, 临床大多使用来自死亡供体的边缘肾脏进行移植, 导致 DGF 发病率呈现上升趋势^[11]。一项荟萃分析^[12]显示 DGF 导致肾移植术后移植肾功能丧失和急性排斥反应的发生风险分别增加 41% 和 38%, 因此早期评估 DGF 至关重要。目前 DGF 诊断金标准为移植肾活检病理, 考虑其为侵入性检查, 会对移植肾产生不必要的损伤, 2024 年《中国肾脏移植受者移植植物功能延迟恢复临床诊疗指南》^[2]建议仅当 DGF 无法恢复正常或可疑合并急性排斥反应等并发症时行穿刺活检。因此超声成为评估肾移植术后 DGF 应用最广泛、最便捷的非侵入性检查手段, 术后可动态监测移植肾血流灌注情况。本研究通过比较肾动脉 RI 与 ΔRI 预测肾移植术后 DGF 的诊断效能, 探讨 ΔRI 预测 DGF 的临床价值。

供肾冷缺血时间是指肾脏被提取的时间至肾脏移植到受体成功开放血流的时间。当供肾冷缺血时间超过安全阈值时, 会激活缺血-再灌注损伤相关的病理生理机制。这一过程不仅会导致肾组织损伤和炎症级联反应的激活, 还可能通过上调同种异体免疫应答, 显著增加移植后急性排斥反应的发生风险。Osband 等^[13]研究发现肾脏被提取时间增加至 2 h, DGF 发生率高达 60%。伍守望^[14]研究发现供肾冷缺血时间在 12 h 内可减少 DGF 的发生。本研究结果也显示 DGF 组供肾冷缺血时间较 IGF 组增加, 差异有统

计学意义 ($P<0.05$), 因此肾移植术中缩短供肾冷缺血时间对患者移植肾功能的监测非常重要。但相关性分析显示, 肾动脉 RI、ΔRI 与供肾冷缺血时间均无相关性, 分析原因可能为供肾冷缺血时间主要作为肾移植术后发生 DGF 的肾前性因素发挥作用, 而非直接影响移植肾的血流动力学参数。

肾脏作为高血流灌注器官, 其血流量约占心输出量的 20%~25%, 这种独特的血流动力学特性使得移植肾血流状态的改变直接影响其功能恢复进程^[15]。多项研究证实, 肾动脉 RI 是评估移植肾功能的重要参数, 如一项前瞻性队列研究^[16]表明肾动脉 RI>0.8 可使移植肾功能丧失风险增加 9 倍; Contti 等^[17]的纵向研究则发现肾动脉 RI>0.9 与急性肾损伤的发生显著相关 ($OR=5.8, P<0.001$)。本研究结论与上述发现一致, 分析其机制可能与缺血再灌注损伤导致的微循环障碍有关。当移植肾发生灌注不足时, 肾血管阻力增加, 多普勒超声可敏感地检测到 RI 升高^[18-19]。表明肾动脉 RI 不仅是评估移植肾状态的可靠参数, 更是早期发现亚临床器官损伤的敏感标志物。然而, Seiler 等^[20]研究提出了不同观点, 认为移植肾 RI 更多反映全身血管状态而非特异性肾脏损伤。这种分歧可能源于研究时机的差异, 该研究纳入的是肾移植术后 6 个月以上的患者, 而本研究的早期 (术后 1 周内) 评估更能体现肾动脉 RI 的预测价值。本研究结果还显示, DGF 组肾动脉 RI 高于 IGF 组 ($P<0.05$), 但两组肾长径、肾实质厚度、肾动脉峰值流速比较差异均无统计学意义, 提示在术后早期 (DGF 主要发生在术后 1 周内) 移植肾解剖学参数尚未出现明显改变时, 血流动力学参数 RI 已能敏感反映移植肾灌注状态, 进一步证实了其在 DGF 早期预测中的独特价值。此外, 虽然血肌酐是临床常用评估肾功能指标^[21], 但其浓度易受肌肉量、代谢状态等因素干扰。相比之下, eGFR 通过整合年龄、性别和血肌酐等信息, 提供了更全面的肾功能评估。本研究结果显示, DGF 组出院时血肌酐高于 IGF 组、eGFR 低于 IGF 组, 差异均有统计学意义 (均 $P<0.05$), 且相关性分析显示肾动脉 RI 与出院时血肌酐呈正相关 ($r=0.230, P<0.05$), 与出院时 eGFR 呈负相关 ($r=-0.321, P<0.05$)。证实肾动脉 RI 升高与移植肾功能恶化密切相关。

本研究 ROC 曲线分析显示, 当肾动脉 RI 截断值为 0.685, 其预测肾移植术后 DGF 的 AUC 为 0.707 (95% 可信区间: 0.589~0.826), 灵敏度为 90.9%, 特异度仅 38.6%, 这种高灵敏度低特异度的特性提示单独使用

肾功能RI进行预测可能导致假阳性率升高。为解决这一问题,有学者^[8,22-23]提出采用脾动脉RI来校正肾外因素影响。本研究结果显示,DGF组 Δ RI高于IGF组,差异有统计学意义($P<0.05$);且 Δ RI与出院时血肌酐呈正相关($r=0.250, P<0.05$),与出院时eGFR呈负相关($r=-0.261, P<0.05$)。ROC曲线分析显示, Δ RI预测肾移植术后DGF的AUC为0.788,在保持高灵敏度(92.9%)的同时显著提升特异度(56.4%), Δ RI预测肾移植术后DGF的AUC、特异度均高于肾动脉RI,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。充分证明 Δ RI通过有效校正肾外因素干扰,显著提高了DGF的诊断效能,为临床决策提供了更可靠的依据。

本研究的局限性:①为回顾性研究,纳入研究对象较少,今后有待大样本、前瞻性研究进一步证实;②本研究DGF诊断采用2024年《中国肾脏移植受者移植植物功能延迟恢复临床诊疗指南》^[2],与以往研究^[4,14,18,24]不一致,导致部分研究结果存在偏差,有待待合同一标准的多中心数据进行研究。

综上所述,移植肾动脉RI和 Δ RI均可用于预测肾移植术后DGF,其中 Δ RI的诊断效能更高。

参考文献

- [1] 张蓉,李旖旎,唐彬,等.超声造影定量评价同种异体肾移植术后肾皮质功能的Meta分析[J].临床超声医学杂志,2024,26(11):921-926.
- [2] 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,项和立,等.中国肾脏移植受者移植植物功能延迟恢复临床诊疗指南[J].器官移植,2024,15(5):684-699.
- [3] Hu XJ, Zheng J, Li Y, et al. Prediction of kidney transplant outcome based on different DGF definitions in Chinese deceased donation[J]. BMC Nephrol, 2019, 20(1):409.
- [4] 范晴敏,董凤林,严俊辰,等.超声在肾移植术后肾功能延迟恢复患者随访中的应用[J].中华医学超声杂志(电子版),2021,18(12):1197-1202.
- [5] Lentine KL, Smith JM, Miller JM, et al. OPTN/SRTR 2021 Annual Data Report: Kidney[J]. Am J Transplant, 2023, 23(2 Suppl 1): S21-S120.
- [6] Barone R, Di Terlizzi V, Goffredo G, et al. Renal arterial and venous doppler in cardiorenal syndrome: pathophysiological and clinical insights[J]. Biomedicine, 2024, 12(6):1166.
- [7] 张明伟,任俊红.超声造影在移植肾排斥反应中的研究进展[J].中华器官移植杂志,2022,43(4):247-251.
- [8] 张志坚,陈涵枝,刘斌,等.肾动脉脾动脉阻力指数与糖尿病肾病的相关性[J].广东医学,2018,39(17):2594-2597.
- [9] 胡丹,樊友文,涂卫平.5种肾小球滤过率评估方程在2型糖尿病患者中的应用[J].中国实用内科杂志,2020,40(9):744-748.
- [10] Damodaran S, Bullock B, Ekwenna O, et al. Risk factors for delayed graft function and their impact on graft outcomes in live donor kidney transplantation[J]. Int Urol Nephrol, 2021, 53(3):439-446.
- [11] 王旭,刘宏,徐丽,等.心脏死亡器官捐献肾移植患者发生移植肾功能延迟恢复的影响因素及预后分析[J].江苏医药,2021,47(6):577-581.
- [12] Yarlagaadda SG, Coca SG, Formica RJ, et al. Association between delayed graft function and allograft and patient survival: a systematic review and Meta-analysis[J]. Nephrol Dial Transplant, 2009, 24(3): 1039-1047.
- [13] Osband AJ, James NT, Segev DL. Extraction time of kidneys from deceased donors and impact on outcomes[J]. Am J Transplant, 2016, 16(2):700-703.
- [14] 伍守望.移植肾延迟功能恢复风险预测模型的构建及效果评价[D].长春:吉林大学,2024.
- [15] 朱昭先.彩超对心脏死亡器官捐献移植肾监测的研究[D].昆明:昆明医科大学,2018.
- [16] Spatola L, Andrulli S. Doppler ultrasound in kidney diseases: a key parameter in clinical long-term follow-up[J]. J Ultrasound, 2016, 19(4):243-250.
- [17] Contti MM, Garcia PD, Kojima CA, et al. Quantified power Doppler as a predictor of delayed graft function after renal transplantation[J]. Int Urol Nephrol, 2015, 47(2):405-412.
- [18] 刘洪,刘东亮,周果,等.CEUS对早期移植肾功能延迟恢复预测价值的临床研究[J].实用器官移植电子杂志,2021,9(5):364-371.
- [19] Bogaert S, Suchonos N, Mohan PV, et al. Predictive value of the renal resistive index in the immediate postoperative period after kidney transplantation on short- and long-term graft and patient outcomes[J]. J Crit Care, 2022, 71:154112.
- [20] Seiler S, Colbus SM, Lucisano G, et al. Ultrasound renal resistive index is not an organ-specific predictor of allograft outcome[J]. Nephrol Dial Transplant, 2012, 27(8):3315-3320.
- [21] George JA, Gounden V. Novel glomerular filtration markers[J]. Adv Clin Chem, 2019, 88:91-119.
- [22] Grupp C, Koziolk MJ, Wallbach M, et al. Difference between renal and splenic resistive index as a novel criterion in Doppler evaluation of renal artery stenosis[J]. J Clin Hypertens (Greenwich), 2018, 20(3):582-588.
- [23] Grun OS, Herath E, Weihrauch A, et al. Does the measurement of the difference of resistive indexes in spleen and kidney allow a selective assessment of chronic kidney injury?[J]. Radiology, 2012, 264(3): 894-902.
- [24] 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.

(收稿日期:2025-01-16)