

超声造影评估动脉粥样硬化性肾动脉狭窄患者术后肾血流灌注的临床价值

瓦增成, 杜婷, 李雨婷

摘要 **目的** 应用超声造影评估动脉粥样硬化性肾动脉重度狭窄患者经皮肾动脉内支架置入术(PTRAS)后肾血流灌注变化,探讨其临床应用价值。**方法** 选取在我院行 PTRAS 的动脉粥样硬化性肾动脉重度狭窄患者 83 例,使用脉冲多普勒获取肾主动脉收缩期峰值血流速度(PSV)、舒张末期流速(EDV)、阻力指数(RI),以及肾叶间动脉 PSV、EDV、RI、加速度(AC)、加速时间(AT);使用超声造影获取峰值强度(PI)、达峰时间(TTP)、平均通过时间(MTT)、曲线上升斜率(S)、曲线下面积(AUC)、流入相 AUC(AUC-WI)、流出相 AUC(AUC-WO),比较患者术前、术后上述超声参数及血压、肾功能指标[估算肾小球滤过率(eGFR)、血肌酐(Scr)、尿酸]的差异。分析超声参数与 eGFR 的相关性。**结果** 肾动脉狭窄患者术后收缩压、Scr、尿酸均较术前减低,eGFR 较术前升高,差异均有统计学意义(均 $P < 0.001$)。肾动脉狭窄患者术后肾主动脉 PSV、EDV 及肾叶间动脉 AT 均较术前减低,肾叶间动脉 PSV、RI、AC 均较术前升高,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$);术前及术后肾主动脉 RI、肾叶间动脉 EDV 比较差异均无统计学意义。肾动脉狭窄患者术后 TTP、MTT 均较术前减低,PI、S 均较术前升高,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$);术前及术后 AUC、AUC-WI、AUC-WO 比较差异均无统计学意义。相关性分析显示,肾动脉狭窄患者术前肾主动脉 PSV 和 EDV、肾叶间动脉 AT 及 TTP、MTT 与 eGFR 均呈负相关(均 $P < 0.05$),肾叶间动脉 PSV、RI、AC 及 PI、S 与 eGFR 均呈正相关(均 $P < 0.05$)。**结论** 超声造影可准确评估动脉粥样硬化性肾动脉重度狭窄患者 PTRAS 前后肾血流灌注变化,具有一定的临床应用价值。

关键词 超声检查;造影剂;动脉粥样硬化;肾动脉狭窄;支架植入术;肾血流灌注
[中图分类号]R445.1 [文献标识码]A

Clinical value of contrast-enhanced ultrasound in evaluating renal blood flow perfusion in patients with atherosclerotic renal artery stenosis after PTRAS

WA Zengcheng, DU Ting, LI Yuting

Department of Ultrasound, Qinghai Red Cross Hospital, Xining 810001, China

ABSTRACT **Objective** To evaluate the renal blood flow perfusion changes after percutaneous transluminal renal artery stenting (PTRAS) by contrast-enhanced ultrasound (CEUS) in patients with severe atherosclerotic renal artery stenosis, and to explore its clinical application value. **Methods** A total of 83 patients with severe atherosclerotic renal artery stenosis who underwent PTRAS in our hospital were selected. Pulsed-wave Doppler measurements were performed to obtain peak systolic velocity (PSV), end-diastolic velocity (EDV), and resistive index (RI) of the renal main artery, as well as PSV, EDV, RI, acceleration (AC) and acceleration time (AT) of the interlobar artery. CEUS was performed to obtain peak intensity (PI), time to peak (TTP), mean transit time (MTT), slope of the wash-in phase (S), area under the curve (AUC), AUC for the wash-in phase (AUC-WI), and AUC for the wash-out phase (AUC-WO). The differences in above CEUS parameters and blood pressure, renal function indexes [estimated glomerular filtration rate (eGFR), serum creatinine (Scr), uric acid] were compared between preoperative and postoperative measurements. The correlation between ultrasound parameters and eGFR were analyzed. **Results** In patients with renal artery stenosis, the systolic blood pressure, Scr and uric acid after operation were lower than those before the operation, while eGFR was significantly higher, the differences were statistically significant (all $P < 0.001$). In

patients with renal artery stenosis, the PSV and EDV of the renal main artery and the AT of the interlobar artery after the operation were lower than those before the operation, while the PSV, RI and AC of the interlobar artery were significantly higher, the differences were statistically significant (all $P < 0.05$). There were no statistically significant difference in RI of the renal main artery and EDV of the interlobar artery before and after the operation. The TTP and MTT of patients with renal artery stenosis after the operation were both lower than those before the operation, and the PI and S were both higher than those before the operation, the differences were statistically significant (all $P < 0.05$). No statistically significant differences were observed in AUC, AUC-WI, AUC-WD between preoperative and postoperative measurements. In patients with renal artery stenosis, preoperative PSV and EDV of the renal main artery, AT and TTP of the interlobar artery, and MTT were negatively correlated with eGFR (all $P < 0.05$), while PSV of the interlobar artery, RI, AC, PI and S were positively correlated with eGFR (all $P < 0.05$).

Conclusion CEUS can accurately evaluate the changes of renal blood flow perfusion in patients with renal artery stenosis before and after PTRAS, which has a certain clinical application value.

KEY WORDS Ultrasonography; Contrast agent; Atherosclerosis; Renal artery stenosis; Stent implantation; Renal blood perfusion

动脉粥样硬化性肾动脉狭窄主要累及肾动脉主干或分支,可能引发患者肾缺血、肾素-血管紧张素系统亢进,进而导致高血压及肾功能减退^[1-2]。高血压群体中,动脉粥样硬化性肾动脉狭窄的发生率约为 1%~3%,而在慢性心力衰竭及肾功能不全患者中其发生率可能超过 40%^[3],这类患者常因基础疾病导致血管条件差,肾动脉狭窄更易引发肾实质进行性损伤,导致肾功能损伤及心血管不良事件发生风险升高。血运重建尤其是经皮肾动脉内支架置入术(percutaneous transluminal renal artery stenting, PTRAS)因具有较高的安全性,已成为治疗动脉粥样硬化性肾动脉重度狭窄患者的首选方法^[4-5]。目前临床评估 PTRAS 疗效多依赖血压、肾功能指标等传统手段,无法反映肾血流灌注的动态变化,也难以早期准确评估肾功能的恢复情况^[6]。超声造影能够实时、定量评估肾动脉主干至肾皮质的血流灌注情况^[7],在 PTRAS 后监测肾血流灌注状态中具有较高的应用潜力,能够为临床提供全面、准确的信息,进而指导术后管理和疗效评估^[8]。基于此,本研究应用超声造影评估动脉粥样硬化性肾动脉重度狭窄患者 PTRAS 前后肾血流灌注变化,旨在探讨其临床应用价值。

资料与方法

一、研究对象

选取 2020 年 2 月至 2024 年 2 月在我院行 PTRAS 的动脉粥样硬化性肾动脉重度狭窄患者 83 例,男 58 例,女 25 例,年龄 42~79 岁,平均(61.3±9.4)岁;单侧狭窄 48 例,双侧狭窄 35 例。纳入标准:①超声造影检查发现存在单侧或双侧肾动脉狭窄,狭窄程度≥70%;②均符合《肾脏病学》^[9]中相关诊断标准;③年龄≥18 岁;

④在未使用降压药物的情况下收缩压(SBP)>180 mmHg (1 mmHg=0.133 kPa),舒张压(DBP)>110 mmHg,或服用降压药物后 SBP>140 mmHg, DBP>90 mmHg;⑤接受 PTRAS 治疗;⑥至少随访 6 个月。排除标准:①肾结核、肾肿瘤及其他原因(血管炎、纤维肌性发育不良等)引起的肾动脉狭窄;②合并肾副动脉狭窄、慢性肾脏疾病、狼疮性肾病、严重感染性疾病;③左室射血分数(LVEF)<30%;④对造影剂过敏。本研究经我院医学伦理委员会批准,所有患者均知情同意。

二、仪器与方法

1. 仪器与试剂:使用 Philips EPIQ7 彩色多普勒超声诊断仪, C5-1 探头, 频率 2~6 MHz;造影剂使用声诺维(意大利博莱科公司),使用前按照说明书配制成造影剂混悬液备用。

2. 超声检查:患者取侧卧位,嘱其平稳呼吸,先使用二维超声常规扫查肋缘下标准肾脏冠状切面, CDFI 观察肾主动脉及肾叶间动脉血流情况,脉冲多普勒测量肾主动脉收缩期峰值血流速度(PSV)、舒张末期流速(EDV)、阻力指数(RI),以及肾叶间动脉 PSV、EDV、RI、加速度(AC)、加速时间(AT)。然后切换为超声造影模式,设置机械指数 0.07,动态范围 0~60 dB,帧率 8 Hz,增益 70 dB,聚焦深度 12 cm;经患者肘静脉快速推注 1.2 ml 造影剂混悬液,随后推注 5.0 ml 生理盐水冲管,实时观察肾皮质灌注增强过程,持续采集动态图像至造影剂完全廓清(约 90 s)。双侧狭窄患者在造影剂注射后 15 min 后使用上述相同方法对另一侧肾脏进行检查,取双侧平均值进行分析。利用仪器内置软件获取时间-强度曲线(TIC),于肾皮质外侧近包膜区勾画直径为 5 mm 的圆形感兴趣区,自动测量峰值强度(PI)、达峰时间(TTP)、平均通过时间(MTT)、曲线上

升斜率(S)、曲线下面积(AUC)、流入相 AUC(AUC-WI)、流出相 AUC(AUC-WO)。上述操作均由 2 名具有 5 年以上血管检查经验的超声医师独立完成,所有参数均重复测量 3 次取平均值。

3.PTRAS 治疗及随访:选用 7 F 肾动脉专用 JR/SIM/Cobra 指引导管,配合加硬导丝导航至病变远端,对于开口病变或不稳定斑块加用远端保护装置。球囊预扩张按血管直径 0.8~1.0 倍选择,无夹层则置入支架[支架直径按血管直径 1.0~1.1 倍选择,释放压力 8~14 atm(1 atm=101 325 Pa),残余狭窄<30%],必要时采用非顺应性球囊以 12~20 atm 压力释放后扩张。术后 3~6 个月口服阿司匹林 100 mg/d、氯吡格雷 75 mg/d 及阿托伐他汀进行调脂治疗。术后随访 6 个月,采用相同方法复查获取超声参数、血压及肾功能指标。

4. 血压及肾功能指标检测:①使用欧姆龙 HEM-7220 血压计监测患者 SBP 和 DBP,连续测量 3 次取平均值;②采集患者空腹静脉血 2 ml,使用日立 7180 全自动生化分析仪检测血肌酐(Scr);使用尿酸酶-过氧化物酶偶联法检测尿酸;并计算估算肾小球滤过率(eGFR)^[9]。

三、统计学处理

应用 SPSS 21.0 统计软件进行数据分析。计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,采用配对 *t* 检验。超声参数与 eGFR 的

相关性分析采用 Pearson 相关分析法。*P*<0.05 为差异有统计学意义。

结 果

一、术前、术后血压及肾功能指标比较

肾动脉狭窄患者术后 SBP、Scr、尿酸均较术前减低,eGFR 较术前升高,差异均有统计学意义(均 *P*<0.001);术前、术后 DBP 比较差异无统计学意义。见表 1。

二、术前、术后超声参数比较

1. 肾动脉狭窄患者术后肾主动脉 PSV、EDV 及肾叶间动脉 AT 均较术前减低,肾叶间动脉 PSV、RI、AC 均较术前升高,差异均有统计学意义(均 *P*<0.05)。术前及术后肾主动脉 RI、肾叶间动脉 EDV 比较差异均无统计学意义。见表 2。

2. 肾动脉狭窄患者术后 TTP、MTT 均较术前减低,PI、S 均较术前升高,差异均有统计学意义(均 *P*<0.05)。术前及术后 AUC、AUC-WI、AUC-WO 比较差异均无统计学意义。见表 2 和图 1。

三、相关性分析

肾动脉狭窄患者术前肾主动脉 PSV 和 EDV、肾叶间动脉 AT 及 TTP、MTT 与 eGFR 均呈负相关(均 *P*<0.05);肾叶间动脉 PSV、RI、AC 及 PI、S 与 eGFR 均呈正相关(均 *P*<0.05)。见表 3。

表 1 术前、术后血压及肾功能指标比较($\bar{x} \pm s$)

时间	SBP(mmHg)	DBP(mmHg)	Scr(μmol/L)	尿酸(μmol/L)	eGFR(ml/min)
术前	155.9±7.6	86.3±7.4	103.8±9.2	406.5±77.4	28.54±6.91
术后	134.2±6.8	84.5±7.8	96.4±8.8	277.2±68.5	38.53±8.18
<i>t</i> 值	19.386	1.525	5.295	11.397	-8.500
<i>P</i> 值	<0.001	0.129	<0.001	<0.001	<0.001

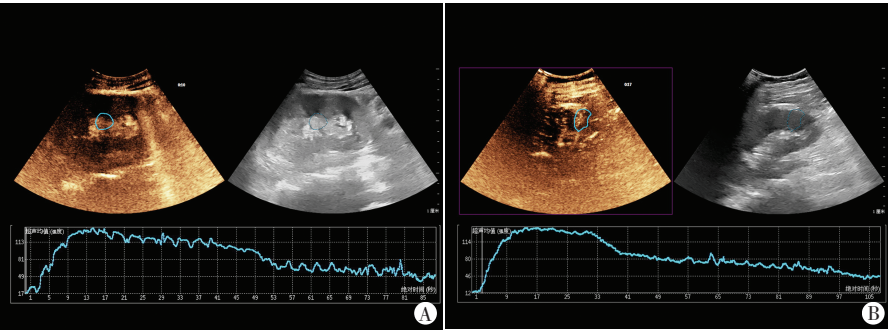
SBP:收缩压;DBP:舒张压;Scr:血肌酐;eGFR:估算肾小球滤过率。1 mmHg=0.133 kPa

表 2 术前、术后超声参数比较($\bar{x} \pm s$)

时间	肾主动脉			肾叶间动脉				
	PSV(cm/s)	EDV(cm/s)	RI	PSV(cm/s)	EDV(cm/s)	RI	AC(cm/s ²)	AT(s)
术前	3.18±0.87	0.87±0.18	0.78±0.15	0.21±0.06	0.09±0.05	0.61±0.15	1.66±0.26	0.15±0.04
术后	1.09±0.33	0.22±0.08	0.81±0.18	0.27±0.08	0.10±0.05	0.71±0.17	4.10±1.22	0.07±0.03
<i>t</i> 值	20.463	30.063	-1.166	-5.466	-1.288	-4.018	-17.821	14.577
<i>P</i> 值	<0.001	<0.001	0.245	<0.001	0.199	<0.001	<0.001	<0.001

时间	PI(dB)	TTP(s)	MTT(s)	S	AUC(dB·s)	AUC-WI(dB·s)	AUC-WO(dB·s)
术前	1.96±0.55	6.38±1.30	22.57±5.10	0.48±0.16	85.41±19.20	8.89±2.93	71.38±15.20
术后	2.90±0.74	5.40±1.41	18.65±4.83	0.63±0.22	80.39±18.67	9.45±3.02	67.83±15.39
<i>t</i> 值	-9.288	4.655	5.084	-5.024	1.708	-1.212	1.495
<i>P</i> 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	>0.05	>0.05	>0.05

PSV:收缩期峰值血流速度;EDV:舒张末期流速;RI:阻力指数;AC:加速度;AT:加速时间;PI:峰值强度;TTP:达峰时间;MTT:平均通过时间;S:曲线上斜率;AUC:曲线下面积;AUC-WI:流入相曲线下面积;AUC-WO:流出相曲线下面积



A: 术前超声造影示PI为2.01 dB, TTP为6.29 s, MTT为21.83 s, S为0.50, AUC为84.11 dB·s, AUC-WI为8.92 dB·s, AUC-WO为70.07 dB·s; B: 术后超声造影示PI为2.86 dB, TTP为5.54 s, MTT为19.65 s, S为0.61, AUC为82.71 dB·s, AUC-WI为9.22 dB·s, AUC-WO为69.02 dB·s

图1 肾动脉重度狭窄患者(男, 64岁)术前、术后超声造影图

表3 术前超声参数与eGFR的相关性分析

参数	eGFR	
	r值	P值
肾主动脉多普勒超声参数		
PSV	-0.611	<0.001
EDV	-0.481	0.003
肾叶间动脉多普勒超声参数		
PSV	0.557	<0.001
RI	0.495	0.001
AC	0.411	0.009
AT	-0.476	0.005
超声造影参数		
PI	0.504	0.001
TTP	-0.711	<0.001
MTT	-0.682	<0.001
S	0.509	<0.001
AUC	0.172	0.297
AUC-WI	0.118	0.395
AUC-WO	0.120	0.377

eGFR: 估算肾小球滤过率

讨论

动脉粥样硬化性肾动脉狭窄以肾动脉主干或分支粥样硬化斑块沉积为核心病理特征,可导致管腔狭窄、肾血流灌注减少。PTRAS已被证实可有效改善肾脏缺血,但传统疗效评估多局限于血压或Scr、eGFR等指标,缺乏对肾皮质微循环灌注动态变化的监测,导致早期评估 PTRAS 后肾功能恢复情况的准确性较低^[10-11]。本研究应用超声造影评估动脉粥样硬化性肾动脉重度狭窄患者 PTRAS 前后肾血流灌注变化,旨在探讨其临床应用价值。

多普勒超声基于超声脉冲发射与红细胞后向散

射信号的多普勒频移效应,通过快速傅里叶变换实时解析血流动力学参数,可动态反映组织血流速度、方向等特征,具有无创、实时、可重复性等优势,目前已广泛应用于血管疾病的血流动力学评估,尤其适用于肾动脉主干及分支病变的筛查与随访。本研究 83 例肾动脉狭窄患者中,术后肾主动脉 PSV、EDV 均较术前减低,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$),表明 PTRAS 后狭窄程度有所缓解,血流受阻减少,血流动力学显著改善。与既往文献^[12]结论一致。此外,肾动脉狭窄患者术后肾叶间动脉 AT 较术前减低,而 PSV、RI 及 AC 均较术前升高,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$),表明 PTRAS 后微循环灌注有所改善,血流阻力适应性得到调整,使肾实质获得了充足的血流灌注,提示 PTRAS 可有效改善肾血流灌注情况。但本研究肾动脉狭窄患者术前及术后肾主动脉 RI、肾叶间动脉 EDV 比较差异均无统计学意义,表明多普勒超声难以观察到微循环的早期适应性变化,存在一定的局限性。

超声造影通过静脉注射造影剂混悬液增强血流信号,利用其非线性散射特性生成高分辨率血流灌注图像,可定量分析 TIC 参数。相较于传统多普勒超声,超声造影能够穿透深部组织并动态显示微循环灌注细节,是目前临床评估肾动脉狭窄术后血流灌注变化的重要工具^[13-14]。本研究结果显示,肾动脉狭窄患者术后 TTP、MTT 均较术前减低,PI、S 均较术前升高,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$),表明 PTRAS 成功缓解了主要肾动脉狭窄,单位血管面积血流量增加,灌注效率得到显著提升。与既往研究^[15-16]发现 PI 升高与 eGFR 改善相关的结论一致,提示超声造影不仅可从宏观角度显示肾脏的整体血流灌注情况,还能从微循环层面观察血流动力学的细微变化。

本研究结果还发现,肾动脉狭窄患者术后 SBP、Scr、尿酸均较术前减低,eGFR 较术前升高,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$),表明 PTRAS 除了缓解血管狭窄,还有效降低了外周血管阻力和心脏后负荷。同时,Scr 和尿酸作为评估肾功能的重要生化指标,其水平下降表明肾脏处理代谢废物的能力得到提升;而术

后 eGFR 的增加表明 PTRAS 在恢复肾脏滤过功能、优化肾脏血流动力学方面具有一定的作用^[17-18]。本研究相关性分析显示,肾动脉狭窄患者术前肾主动脉 PSV 和 EDV、肾叶间动脉 AT 及 TTP、MTT 与 eGFR 均呈负相关(均 $P < 0.05$),表明肾动脉狭窄引起的血流加速、微循环灌注延迟会加重肾小球滤过功能损伤;肾叶间动脉 PSV、RI、AC 及 PI、S 与 eGFR 均呈正相关(均 $P < 0.05$),表明远端血流代偿性增加、血管阻力适应性调整及微循环灌注增强均为肾功能恢复的重要机制。与既往研究^[19-20]结论一致,提示多普勒超声和超声造影参数可为临床评估肾功能损伤提供参考依据。对于术前血流动力学参数显著异常、肾功能受损严重的患者,术后微循环改善程度与肾功能恢复情况相关,这为临床制定个体化治疗策略提供了精准依据。

综上所述,超声造影可准确评估动脉粥样硬化性肾动脉重度狭窄患者 PTRAS 前后肾血流灌注变化,且血流灌注水平与肾功能损伤存在一定相关性。但本研究为单中心、回顾性研究,所得结果可能存在偏倚,今后需行大规模、多中心、前瞻性研究深入探讨。

参考文献

- [1] Reinhard M, Eiberg J. Atherosclerotic renovascular disease[J]. Ugeskr Laeger, 2023, 185(38): e0360.
- [2] Zarrella MN, Wynne K, Smith P, et al. When revascularization may be appropriate in atherosclerotic renal artery stenosis [J]. Cureus, 2024, 16(7): e64854.
- [3] Xu L, Shao J, Li K, et al. Renal perfusion improvement in the perioperative period after unilateral endovascular revascularization in patients with atherosclerotic renal artery stenosis[J]. Front Cardiovasc Med, 2023, 10(3): e1193864.
- [4] Chang Y, Li Y, Duan X, et al. Assessment of renal artery stenosis using renal fractional flow reserve and correlation with angiography and color Doppler ultrasonography: data from FAIR-pilot trial [J]. Hypertens Res, 2024, 33(1): e4334.
- [5] Shi Q, Mao M, Chang J, et al. Evaluation of the therapeutic efficacy of renal artery stenting in patients with atherosclerotic renal artery stenosis[J]. Sci Prog, 2024, 107(4): e05275.
- [6] Fu J, Lin Z, Zhang B, et al. Magnetic resonance imaging in atherosclerotic renal artery stenosis: the update and future directions from interventional perspective[J]. Kidney Dis (Basel), 2023, 10(1): 23-31.
- [7] Huang X, Li XL, Zhou H, et al. Assessment of angiography-based renal quantitative flow ratio measurement in patients with atherosclerotic renal artery stenosis[J]. Cardiovasc Ther, 2024, 2024(3): e4618868.
- [8] 刘志文, 马娜, 王思宇, 等. 超声造影评估大动脉炎性肾动脉狭窄的临床诊断价值[J]. 中国心血管杂志, 2023, 28(4): 367-372.
- [9] 王海燕, 赵明辉. 肾脏病学[M]. 4版. 北京: 人民卫生出版社, 2020: 1193.
- [10] 贾端洋. 动脉粥样硬化性肾动脉狭窄血管腔内治疗效果评价及术前评估分析[D]. 大连: 大连医科大学, 2023.
- [11] 常羽茜, 李昱熙, 刘旭, 等. 肾动脉狭窄介入治疗中的血流动力学评估进展[J]. 心血管病学进展, 2024, 45(3): 196-200.
- [12] Wang D, Pan Y, Cai X, et al. Prevalence and associated factors of atherosclerotic plaque and stenosis in renal arteries: a community-based study[J]. Angiology, 2024, 3(1): e223.
- [13] 王洋, 李艳, 张玥伟, 等. 老年肾动脉狭窄超声造影诊断效能及超声造影表现特点[J]. 中华老年医学杂志, 2023, 42(12): 1453-1457.
- [14] 王明月, 勇强, 张蕾, 等. 多模态超声一体化评估重度肾动脉狭窄[J]. 中国超声医学杂志, 2024, 40(3): 305-309.
- [15] de Bhailis ÁM, Lake E, Chrysochou C, et al. Improving outcomes in atherosclerotic renovascular disease: importance of clinical presentation and multi-disciplinary review [J]. J Nephrol, 2024, 37(4): 1093-1105.
- [16] 戴云, 徐超丽, 林秀玉, 等. 超声造影评价移植肾动脉狭窄支架治疗短期疗效的临床价值[J]. 中华医学超声杂志(电子版), 2023, 20(3): 301-306.
- [17] He M, Gao Q, Xiang J, et al. Diagnostic value of qualitative and quantitative contrast-enhanced ultrasound for pathological subtypes of small solid renal masses [J]. J Ultrasound Med, 2023, 42(8): 1663-1673.
- [18] Ran X, Niu GC, Shao YH, et al. Contrast-enhanced ultrasound evaluation of renal perfusion before angioplasty and its predictive value for hypertension [J]. Technol Health Care, 2024, 32(2): 963-976.
- [19] Lubas A, Zegadło A, Frankowska E, et al. Ultrasound Doppler flow parameters are independently associated with renal cortex contrast-enhanced multidetector computed tomography perfusion and kidney function[J]. J Clin Med, 2023, 12(6): 2111-2113.
- [20] 柳响红, 林珊, 刘刚, 等. 肾动脉支架置入术后再狭窄超声评估及危险因素分析[J]. 华中科技大学学报(医学版), 2023, 52(5): 693-698.

(收稿日期: 2024-10-23)