

· 影像医学研究 ·

## 超高频超声联合 B-Flow 评估内瘘狭窄对流量不足的诊断价值

王娅妮, 敬 雷

南京医科大学第一附属医院超声科, 江苏 南京 210029

**[摘要]** 目的:探究超高频超声联合 B-Flow 评估血液透析患者自体动静脉内瘘(autogenous arteriovenous fistula, AVF)狭窄对流量不足的诊断价值。方法:选取2017年11月—2020年5月在本院行超声检查中出现 AVF 狭窄的血液透析患者共114例,进行回顾性研究。超高频超声联合 B-Flow 检测内瘘狭窄处残余内径、收缩期峰值流速(peak systolic velocity, PSV)、收缩期峰值流速比值(peak systolic velocity ratio, PSVR)及自然血流量,进行相关性分析后,以受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线分析诊断效能。结果:AVF 狭窄超声表现为透析通路上内径及血流束变细,流速升高。内瘘狭窄处残余内径与自然血流量正相关( $r=0.761, P < 0.000 1$ );PSV 与自然血流量不存在相关性;PSVR 与自然血流量负相关( $r=-0.457, P < 0.000 1$ )。与 PSVR 相比,残余内径与自然血流量相关性更高( $Z=3.762 7, P=0.000 2$ )。残余内径诊断自然血流量不足曲线下面积(area under curve, AUC)为 0.880(95%CI:0.809~0.936,  $P < 0.000 1$ ),最佳临界值为 1.0 mm,灵敏度为 82.22%、特异度为 84.06%。PSVR 诊断自然血流量不足 AUC 为 0.767(95%CI:0.678~0.841,  $P < 0.000 1$ ),最佳临界值为 4.9,灵敏度为 73.33%、特异度为 72.46%。与 PSVR 相比,残余内径诊断自然血流量不足 AUC 更大( $P=0.008 2$ )。两者联合诊断 AUC 为 0.883(95%CI:0.809~0.936,  $P < 0.000 1$ ),大于 PSVR 诊断自然血流量不足 AUC( $P=0.001 7$ )。结论:内瘘狭窄处残余内径诊断自然血流量不足的效能优于 PSVR,可作为一种有效方法为临床判断采取干预措施的时机提供帮助。

**[关键词]** 超声;动静脉内瘘;狭窄;血流量;血液透析

**[中图分类号]** R445.1;R692.5

**[文献标志码]** A

**[文章编号]** 1007-4368(2020)12-1860-05

**doi:** 10.7655/NYDXBNS20201224

### Value of internal fistula stenosis assessed by ultrahigh frequency ultrasound combined with B-Flow in diagnosing insufficient flow

WANG Yani, JING Lei

*Department of Ultrasonography, the First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210029, China*

**[Abstract]** **Objective:** To explore the value of autogenous arteriovenous fistula (AVF) stenosis assessed by ultrahigh frequency (UHF) ultrasound combined with B-Flow for insufficient flow in hemodialysis patients. **Methods:** From November 2017 to May 2020, a total of 114 hemodialysis patients with AVF stenosis in our hospital were selected for a retrospective study. UHF ultrasound combined with B-Flow examination was performed to observe and to detect the residual inner diameter, peak systolic velocity (PSV), peak systolic velocity ratio (PSVR) and blood flow of the fistula stenosis. After correlation analysis, the diagnostic efficacy was analyzed by receiver operating characteristic (ROC) curve. **Results:** The ultrasonography of AVF stenosis showed that the inner diameter of the dialysis access reduced, the blood flow bundle became thinner, and the flow velocity increased. The inner diameter of the fistula stenosis was positively correlated with the blood flow ( $r=0.761, P < 0.000 1$ ). There was no correlation between the PSV of the stenosis and the blood flow. The PSVR of the stenosis was negatively correlated with the blood flow ( $r=-0.457, P < 0.000 1$ ). The correlation coefficient between the residual inner diameter and the blood flow was greater than that between the PSVR and the flow ( $Z=3.762 7, P=0.000 2$ ). The area under curve (AUC) of the residual inner diameter of the fistula stenosis for diagnosing insufficient blood flow was 0.880(95%CI=0.809~0.936,  $P < 0.000 1$ ), the optimal cut-off value was 1.0 mm, the sensitivity was 82.22% and the specificity was 84.06%. The AUC of PSVR of the fistula stenosis for diagnosing insufficient blood flow was 0.767(95%CI=0.678~0.841,  $P < 0.000 1$ ), the optimal cut-off value was 4.9, the sensitivity was 73.33% and the specificity was 72.46%. The AUC of the residual inner diameter of the fistula stenosis for diagnosing insufficient blood flow was significantly greater than that of PSVR ( $P=0.008 2$ ). The AUC of combined diagnosis for insufficient blood flow was 0.883(95%CI=0.809~0.936,  $P < 0.000 1$ ), which was significantly greater than the AUC of PSVR of the fistula stenosis for diagnosing insufficient blood flow ( $P=0.0017$ ). **Conclusion:** The residual inner diameter is more effective than PSVR in diagnosing

insufficient blood flow, which can be used as an efficient method to provide guidance for early clinical interference.

[Key words] ultrasonography; arteriovenous fistula; blood flow; stenosis; hemodialysis

[J Nanjing Med Univ, 2020, 40(12): 1860-1864]

慢性肾功能不全是我国常见的肾脏病之一,严重影响患者的健康和生活质量。肾功能不全终末期患者常常需要通过血液透析维持生命。血液透析的前提条件是要有可靠的血管通路,血管通路的质量直接影响到患者透析质量和生存质量<sup>[1]</sup>。自体动静脉内瘘(autogenous arteriovenous fistula, AVF)是持续性血液透析的首选血管通路,因为其具有手术简单、通畅率高、使用时间长、并发症相对少的优点<sup>[2]</sup>。在长期使用中,患者经常会出现 AVF 通路狭窄<sup>[3-4]</sup>,从而引起流量不足、血栓形成、内瘘闭塞,最终导致内瘘失功<sup>[5]</sup>。作为评估血管病变的方法,相对于数字减影血管造影(digital subtraction angiography, DSA)和计算机断层扫描血管造影(computed tomography angiography, CTA),超声检查无创、价格低、操作简便、可重复性强,可以直观显示血管结构及血流动力学特征,因此作为内瘘并发症的首选检查方法<sup>[6]</sup>。中国血液透析用血管通路专家共识<sup>[7]</sup>中提到,当出现血管狭窄超过周围正常血管内径 50% 伴内瘘自然血流量低于 500 mL/min,需要对狭窄血管进行临床干预,而一部分患者因血管条件限制,无法准确测算自然血流量,此时,希望通过其他指标来判断该狭窄是否引起自然血流量不足,以及是否需要临床干预。因此,本研究应用超高频超声联合 B-Flow 检查,探讨血液透析患者 AVF 狭窄处相关指标对血流量不足的诊断价值,为临床判断采取干预措施的时机提供帮助。

## 1 对象和方法

### 1.1 对象

选取 2017 年 11 月—2020 年 5 月在本院行超声检查中出现 AVF 狭窄的血液透析患者共 114 例,进行回顾性研究,所有患者均符合以下纳入和排除标准。114 例患者中,男 85 例,女 29 例;年龄 19~91 岁,平均(61.1±14.3)岁。患者行超声检查时,收缩压 110~168 mmHg,平均(136.4±13.4)mmHg;舒张压 53~99 mmHg,平均(73.0±9.4)mmHg;心率 68~100 次/min,平均(82.1±7.0)次/min。内瘘使用时间在 1 个月~5 年之间。病因包括慢性肾小球肾炎、糖尿病肾病、高血压肾病、多囊肾肾病、狼疮性肾炎等。

纳入标准:接受 AVF 血液透析治疗的患者;内瘘位于腕部或前臂中-远段,手术方式以头静脉-桡动脉端侧吻合为主。要求内瘘主要供血动脉全程无狭窄,瘘口动脉端正常,仅于瘘口静脉端或引流静脉存在单个狭窄。狭窄的标准是残余内径≤2.0 mm。排除标准:内瘘主要供血动脉或瘘口动脉端存在狭窄病变;瘘口静脉端或引流静脉同时存在≥2 个狭窄;因血管条件限制导致瘘上引流静脉自然血流量无法直接检测者;严重心功能不全(New York Heart Association, NYHA III/IV 级)。本研究经院伦理委员会批准,并知情同意。

### 1.2 方法

超声检查选择 GE LOGIQ E9 型彩色多普勒超声诊断仪,应用超高频超声线阵探头 L8-18i 及 9L 线阵探头,联合运用超声二维图像、彩色多普勒图像、B-Flow 图像及多普勒频谱对病变进行综合分析。患者取仰卧位,暴露造瘘侧手臂。用 L8-18i 探头探查瘘口近端及远端桡动脉管腔内径、血流方向、流速、阻力指数(RI);瘘口大小、瘘口处血流情况、瘘口近端动脉端及远端动脉端的内径及流速;瘘口静脉端及引流静脉管腔、内径、流速。关注整个通路是否存在狭窄病变,如存在狭窄则记录每个狭窄的数据:狭窄处残余内径和收缩期峰值流速(peak systolic velocity, PSV),计算收缩期峰值流速比值(peak systolic velocity ratio, PSVR)=狭窄处 PSV/瘘口上方 2 cm 处内径正常动脉的 PSV。选取瘘上引流静脉测算自然血流量,要求该处内径均匀,走行平直,血流处于单向稳定的层流状态,用 9L 线阵探头测量管腔内径 D(cm)及平均流速  $\bar{v}$ (cm/s),并计算自然血流量,自然血流量(mL/min)= $\pi \times (\frac{D}{2})^2 \times \bar{v} \times 60$ 。自然血流量值低于 500 mL/min 为流量不足的标准。每次检查获取的以上数据均详细记录并储存于本科室超声系统数据库。

### 1.3 统计学方法

应用 SPSS 21.0 及 Medcalc 统计学软件进行数据分析。采用 Spearman 相关分析内瘘狭窄处残余内径、PSV、PSVR 与自然血流量的相关性。以自然血流量低于 500 mL/min 为标准,用 Medcalc 软件绘制受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲

线,计算曲线下面积(area under curve, AUC)并进行比较。当约登指数达到最大时,获取最佳临界值,及其对应的灵敏度和特异度。以狭窄处残余内径和PSVR为自变量,以自然血流量是否低于500 mL/min为因变量,进行Logistic回归,使用Logistic回归模型进行联合诊断。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 AVF狭窄引起流量不足的超声表现

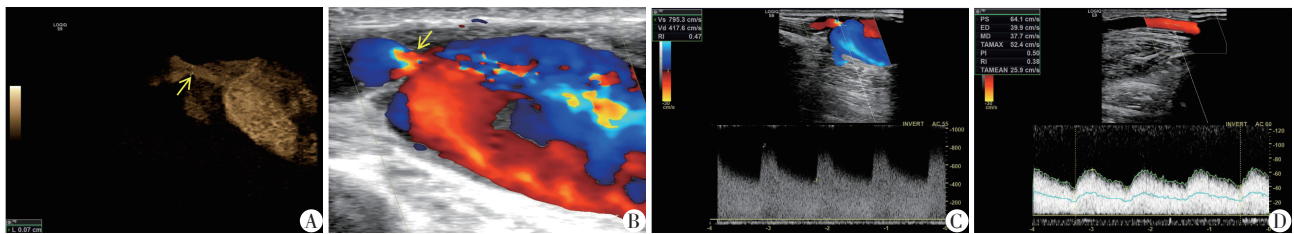
AVF狭窄B-Flow表现为因各种原因(管腔狭窄、成角等)所致的血管通路上内径变细,彩色多普勒显示血流束变细,频谱多普勒显示狭窄处流速升高。瘘上测得自然血流量值低于500 mL/min,提示

流量不足(图1)。

### 2.2 内瘘狭窄处残余内径、PSV、PSVR与自然血流量的相关性

采用Spearman相关分析结果显示,内瘘狭窄处残余内径与自然血流量呈正相关关系( $r=0.761, P < 0.0001$ ),提示随着残余内径减少,自然血流量明显减低。内瘘狭窄处PSV与自然血流量不存在相关性。内瘘狭窄处PSVR与自然血流量呈负相关关系( $r=-0.457, P < 0.0001$ ),提示随着PSVR升高,自然血流量减低(图2)。

内瘘狭窄处残余内径与自然血流量的相关系数大于内瘘狭窄处PSVR与自然血流量的相关系数,差异具有统计学意义( $Z=3.7627, P=0.0002$ )。



A:狭窄处二维B-Flow模式下超声图像;B:狭窄处彩色多普勒超声图像;C:狭窄处频谱多普勒检测流速;D:瘘上检测内瘘自然血流量。

图1 AVF狭窄引起流量不足的超声表现

Figure 1 Ultrasound manifestations of insufficient flow caused by AVF stenosis

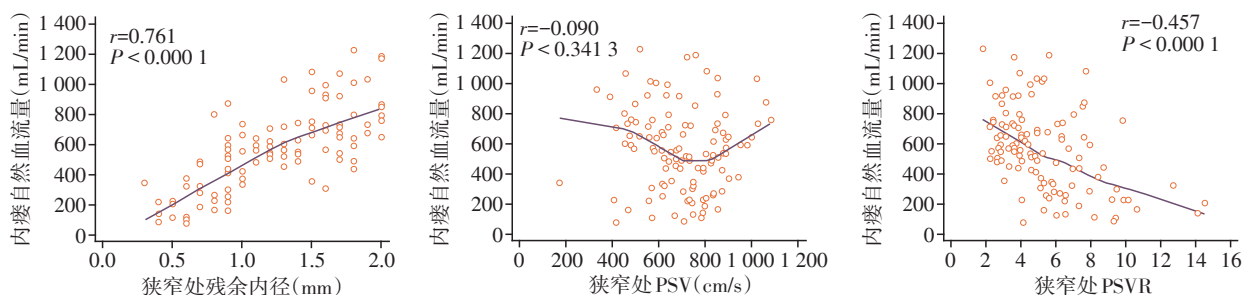


图2 内瘘狭窄处残余内径、PSV、PSVR与自然血流量的相关性

Figure 2 Correlation of residual inner diameter, PSV, PSVR and blood flow in fistula stenosis

### 2.3 内瘘狭窄处残余内径、PSVR对于自然血流量不足的诊断价值

以低于500 mL/min为自然血流量不足的标准,采用ROC曲线进行分析(图3,表1)。用内瘘狭窄处残余内径诊断自然血流量不足, AUC为0.880(95% CI: 0.809~0.936),具有统计学意义( $P < 0.0001$ )。取约登指数最大为最佳临界值,此时残余内径为1.0 mm,灵敏度为82.22%、特异度为84.06%。当以特异度为100%,灵敏度取最大时,界值为0.7 mm,此时灵敏度为42.22%。用内瘘狭窄处PSVR诊断自然血流量不足,曲线下面积AUC为0.767(95% CI: 0.678~0.841),具有统计学意义( $P < 0.0001$ )。取约

登指数最大为最佳临界值,此时PSVR为4.9,灵敏度为73.33%、特异度为72.46%。当以特异度为100%,灵敏度取最大值时,界值为9.8,此时灵敏度为13.3%。内瘘狭窄处残余内径诊断自然血流量不足的AUC大于内瘘狭窄处PSVR诊断自然血流量不足的AUC,且差异具有统计学意义( $P=0.0082$ )。

两者联合诊断AUC为0.883(95% CI: 0.809~0.936),具有统计学意义( $P < 0.0001$ )。两者联合诊断自然血流量不足的AUC大于内瘘狭窄处PSVR诊断自然血流量不足的AUC,差异具有统计学意义( $P=0.0017$ ),但与内瘘狭窄处残余内径诊断自然血流量不足的AUC比较,差异无统计学意义。

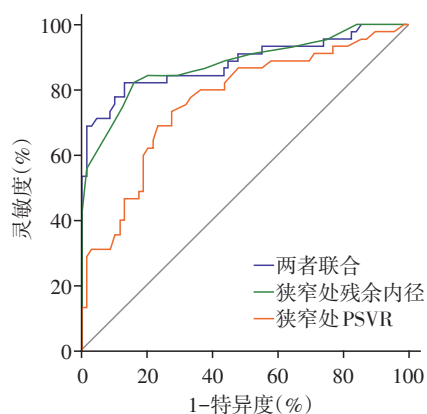


图3 内瘘狭窄处残余内径、PSVR及联合诊断自然流量不足的ROC曲线

Figure 3 ROC curve of residual internal diameter of fistula stenosis, PSVR and combined efficacy in diagnosing insufficient flow

表1 内瘘狭窄处残余内径、PSVR对于自然流量不足的诊断效能比较

Table 1 Comparison of the diagnostic efficacy of residual internal diameter of fistula stenosis and PSVR for insufficient flow

指标	例数	AUC(95%CI)	最佳临界值	灵敏度(%)	特异度(%)	P值
残余内径(mm)	114	0.880(0.809~0.936)	1.0	82.22	84.06	<0.000 1
PSVR	114	0.767(0.678~0.841)	4.9	73.33	72.46	<0.000 1

AVF的引流静脉内径受血流动力学状态及病变的影响极大,内径经常粗细不均,不像通常动脉狭窄能轻松找到周围正常内径作为基准值;②超声测量血流量时需要选择内径均匀,走行平直,无分叉的血管段,并且血管段内血流应处于单向稳定的层流状态,否则很难测量准确。但内瘘通路经过长期使用、反复穿刺以及高流量的剪切力作用,血管通路常出现内径粗细不均(瘤样扩张)、走行迂曲、狭窄及分叉等,经常无法找到适合测量流量的血管段,导致测算不准确。所以,需要寻找其他指标代为推测病变对流量的影响程度,进一步帮助临床选择好对病变的干预时机。

本研究要求入组患者内瘘为腕部或前臂中远段AVF,是由于这个部位是最常选择的造瘘部位,前臂浅静脉较长且平直,分叉少,血流动力学较为简单,容易分析。该部位最常见的术式为头静脉-桡动脉端侧吻合<sup>[14]</sup>,这种血透通路瘘口正常存在两个负责供血的动脉端及一个负责引流的静脉端,当其中一个动脉端出现病变,另一个动脉端有时可以完全代偿,使通路血流量不受影响,所以要分析一个动脉端病变对整体血流量的影响,就必须同时兼顾另一个动脉端的代偿情况,这使得量化分析病变所

### 3 讨论

慢性肾功能不全患者需要通过血液透析维持生命<sup>[8]</sup>,AVF是持续性血液透析的首选血管通路<sup>[9]</sup>,对于该通路质量的评估直接影响透析质量<sup>[10]</sup>。定期的血管通路监测及早期干预,可以减少并发症的发生并降低住院率。超声检查可以动态观察血管壁结构、管腔内病变及血流动力学特征,并予以量化分析,与其他影像学方法仅能显示结构改变相比具有独特优势<sup>[11]</sup>。AVF在长期使用中,内瘘通路经常出现内膜增生、静脉瓣增生粘连、管腔缩窄,导致通路狭窄<sup>[12-13]</sup>。中国血液透析用血管通路专家共识<sup>[7]</sup>建议局部血管狭窄超过周围正常血管内径50%伴内瘘自然血流量低于500 mL/min,需要进行早期干预。但实际操作过程中会发现以下问题:①

产生的影响变得复杂。另外,当通路上同时存在多个狭窄,各狭窄处血流动力学会相互影响,造成额外能量损失。为了控制影响因素,按照尽量单一变量的原则,本研究排除了内瘘主要供血动脉或瘘口动脉端有病变的病例,选择仅瘘口静脉端或引流静脉存在单个狭窄者进行研究。关于瘘口动脉端病变的情况以及存在多处狭窄病变者,会在后续研究中进一步探讨分析。本研究选取狭窄处残余内径 $\leq 2.0$  mm者作为研究对象,自然血流量值低于500 mL/min为流量不足的标准。一方面,根据国际指南<sup>[15]</sup>中提出AVF成熟的标准之一是测定自然血流量超过500 mL/min,内径至少4.0 mm,当局部血管狭窄超过周围正常血管内径50%伴内瘘自然血流量低于500 mL/min,则需要进行早期干预;另一方面,在长期大量AVF超声检查中发现,狭窄处残余内径 $> 2.0$  mm的患者基本不出现自然血流量不足的情况。

本研究中相关性分析显示,内瘘狭窄处残余内径与自然血流量正相关,内瘘狭窄处PSVR与自然血流量负相关,而内瘘狭窄处PSV与自然血流量不存在相关性。根据血流动力学物质守恒定律,同一管道中内径越细,流速越快,但是内瘘通路狭窄处PSV还受循环系统整体状态的影响,如心功能、血

压、血管阻力等因素,所以与狭窄处PSV相比,PSVR可以有效避免这些系统性因素的影响,更好反映血管狭窄程度。内瘘狭窄处残余内径与自然血流量的相关系数大于PSVR与自然血流量的相关系数,且差异具有统计学意义,表明相对于PSVR,残余内径与自然血流量的相关性更大,提示其对于自然流量不足的诊断更有价值。

通过ROC曲线分析得出,狭窄处残余内径和PSVR对自然流量不足均有诊断价值。对两者进行比较,狭窄处残余内径诊断自然流量不足的AUC大于PSVR诊断自然流量不足的AUC,差异具有统计学意义。狭窄处残余内径诊断自然流量不足的灵敏度和特异度均大于PSVR。因此,内瘘狭窄处残余内径诊断自然流量不足的综合效能优于内瘘狭窄处PSVR。进一步分析显示,两者联合诊断的效能优于PSVR,但与狭窄处残余内径诊断效能无明显差别,表明相对于狭窄处残余内径,两者联合诊断的优势并不明显。

既往国际指南推荐PSVR<sup>[15]</sup>,而本次研究发现狭窄处残余内径对内瘘自然流量不足诊断效能更高,其中的原因可能与超声仪器性能的发展有关。既往血管超声检查通常使用的探头为普通高频线阵探头,探头频率通常在9~12 MHz,这种探头适合对高速血流进行观察和测量,但二维图像分辨率不足,而且最常引起通路狭窄的病变为增生内膜及静脉瓣,其在超声图像中通常显示为低-无回声<sup>[16]</sup>,导致这种探头经常无法准确显示病变及残余内径。本研究应用L8-18i超高频线阵探头,最高探头频率达到18 MHz,二维图像分辨率大幅提高,配合B-Flow模式,可清晰显示极低回声的增生内膜及静脉瓣,再配合多普勒血流模式狭窄处小于0.5 mm的残余内径也可清晰显示和测量,可能是本次研究中狭窄处残余内径表现出更好的诊断效能的原因。

综上所述,应用超高频超声联合B-Flow在方法学上为评估血液透析患者AVF狭窄提供了新的视野,提高了病变的检出率及诊断的准确率。内瘘狭窄处残余内径和PSVR对自然流量不足均有一定诊断价值,且前者的综合效能优于国际指南中推荐的内瘘狭窄处PSVR。

#### [参考文献]

- [1] 张旭东. 血液透析血管通路进展[J]. 世界最新医学信息文摘, 2016, 15(54): 33
- [2] 金海蛟, 倪兆慧. 血液透析血管通路的临床应用现状分析[J]. 中国血液净化, 2016, 15(1): 39-41
- [3] 周喜田, 张喜成, 刘海日, 等. 自体动静脉内瘘狭窄的防治进展[J]. 中国血液净化, 2020, 19(4): 250-252
- [4] MASUD A, COSTANZO E J, ZUCKERMAN R, et al. The complications of vascular access in hemodialysis [J]. *Semin Thromb Hemost*, 2018, 44(1): 57-59
- [5] CHEUNG A K, IMREY P B, ALPERS C E, et al. Intimal hyperplasia, stenosis, and arteriovenous fistula maturation failure in the hemodialysis fistula maturation study [J]. *J Am Soc Nephrol*, 2017, 28(10): 3005-3013
- [6] 苑欣, 营梅, 陈琼. 彩色多普勒超声在血液透析患者动静脉内瘘并发症防治中的价值[J]. 中国医学影像技术, 2018, 34(10): 55-58
- [7] 金其庄, 王玉柱, 叶朝阳, 等. 中国血液透析用血管通路专家共识(第2版)[J]. 中国血液净化, 2019, 18(6): 365-381
- [8] 孙连芹, 聂广燕, 左晨艳, 等. 慢性肾脏病患者尿电解质相关临床因素分析[J]. 南京医科大学学报(自然科学版), 2020, 40(8): 1163-1169
- [9] WOO K, LOK C E. New Insights into dialysis vascular access: what is the optimal vascular access type and timing of access creation in CKD and dialysis patients [J]? *Clin J Am Soc Nephrol*, 2016, 11(8): 1487-1494
- [10] 张晓华, 李静, 王利华. 近5年维持性血液透析患者的流行病学调查分析[J]. 中国血液净化, 2015, 14(11): 64-68
- [11] 李晓萌, 陈玉珍, 白玉梅, 等. 维持性血液透析患者自体动静脉内瘘血管并发症的超声观察[J]. 中国中西医结合肾病杂志, 2017(8): 726-727
- [12] DUQUE J C, TABBARA M, MARTINEZ L, et al. Dialysis arteriovenous fistula failure and angioplasty: intimal hyperplasia and other causes of access failure [J]. *Am J Kidney Dis*, 2017, 69(1): 147-151
- [13] ALMASRI J, ALSAWAS M, MAINOU M, et al. Outcomes of vascular access for hemodialysis: a systematic review and meta-analysis [J]. *J Vasc Surg*, 2016, 64(1): 236-243
- [14] 刘正亮. 功能性端侧吻合法动静脉内瘘成形术在血液透析中的应用[J]. 西北国防医学杂志, 2017, 38(2): 103-106
- [15] American College of Radiology (ACR), Society of Radiologists in Ultrasound (SRU), American Institute of Ultrasound in Medicine (AIUM). AIUM practice guideline for the performance of a vascular ultrasound examination for postoperative assessment of dialysis access [J]. *J Ultrasound Med*, 2014, 33(7): 1321-1332
- [16] BRAHMBHATT A, MISRA S. The biology of hemodialysis vascular access failure [J]. *Semin Intervent Radiol*, 2016, 33(1): 15-20

[收稿日期] 2020-07-30