

## • 血管介入 Vascular intervention •

## DSA iFlow 彩色编码技术在人工血透通路腔内治疗中的应用研究

刘育齐, 李承志, 何子聪, 林印胜, 张 艳

**【摘要】 目的** 探讨 DSA iFlow 彩色编码技术评估人工血液透析通路失功能血管腔内治疗效果的临床价值。**方法** 收集深圳市人民医院 2016 年 6 月至 2018 年 6 月 25 例前臂人工血液透析通路失功能患者临床资料。所有患者均经影像学检查确诊为狭窄或闭塞性病变,并接受经皮腔内血管成形术(PTA)治疗。汇总所有患者 DSA 图像数据和多普勒超声监测数据,采用德国 Siemens 公司 Artis Zeego DSA 机 Leonardo 后处理工作站彩色编码技术 iFlow 软件对 DSA 图像进行后处理,获取相关参数:病变近端与远端密度达峰时间差值( $\Delta TTP$ )。基于 DSA 图像计算所有患者血透通路平均血流量( $Q$ ),并测量、计算管腔狭窄程度( $S$ )。基于多普勒超声资料计算血流量( $G$ )。配对  $t$  检验分析对比各患者术前、术后  $\Delta TTP$  间、 $Q$  间、 $S$  间差异以及  $Q$  与  $G$  间差异,Pearson 相关系数分析  $Q$  与  $S$ 、 $\Delta TTP$  间相关性。**结果** 图像后处理和数据分析结果显示,PTA 术后  $S$  比术前  $S$  明显减小( $P<0.001$ ),术后  $Q$  比术前  $Q$  明显增加( $P<0.001$ );术前、术后  $\Delta TTP$  间, $Q$  与  $G$  间差异均有统计学意义( $P<0.05$ ); $S$  与  $Q$ 、 $\Delta TTP$  与  $Q$  间均具有相关性,相关系数分别为  $-0.81$ 、 $-0.65$ , $P<0.001$ ;  $Q$  与  $\Delta TTP$  呈直线关系( $t=-5.6$ , $P<0.05$ ),直线回归方程  $\hat{y}=834.36-318.01x(x\geq 0)$ 。**结论** DSA iFlow 彩色编码成像技术获得的  $\Delta TTP$ ,为 PTA 术中实时有效地评估人工透析通路血流提供了一种新方法。

**【关键词】** 人工血透通路; 失功能; 经皮腔内血管成形术; DSA; 彩色编码技术

中图分类号: R692.5 文献标志码: A 文章编号: 1008-794X(2020)-12-1191-05

**Application of iFlow color-coded imaging technology of digital subtraction angiography in the endovascular therapy of artificial hemodialysis pathway** LIU Yuqi, LI Chengzhi, HE Zicong, LIN Yinsheng, ZHANG Yan. Department of Intervention, Shenzhen Municipal People's Hospital, Shenzhen, Guangdong Province, 518020, China

Corresponding author: ZHANG Yan, E-mail: dsazy@163.com

**【Abstract】 Objective** To explore the clinical value of iFlow color-coded imaging technology in assessing the therapeutic effect of endovascular therapy for disfunction of artificial hemodialysis pathway. **Methods** The clinical data of a total of 25 patients with forearm disfunctioned artificial hemodialysis pathway, who were admitted to the Shenzhen Municipal People's Hospital of China, were collected. All patients suffered from imaging-proved stenosis or occlusion lesions of artificial arteriovenous fistula and received percutaneous transluminal angioplasty (PTA) treatment. DSA imaging data and Doppler ultrasound monitoring data of all patients were collected. Using color-coded technology iFlow software (Artis Zeego angiography machine, Leonardo post-processing workstation, Siemens, Germany), the post-processing of DSA images were conducted, and the relevant parameters, i.e. the difference values of the time to reach peak density between the proximal site and distal site of lesion ( $\Delta TTP$ ), were obtained. Based on DSA images the mean blood flow of the hemodialysis pathway ( $Q$ ) and the stenosis degree ( $S$ ) in all patients were calculated, and based on the Doppler ultrasound data the blood flow ( $G$ ) was calculated. Paired  $t$ -test analysis was used to compare the differences between preoperative  $\Delta TTP$ ,  $Q$  value and  $S$  value with postoperative ones, as well as between  $Q$  value and  $G$  value. Pearson linear correlation analysis was conducted to analyze the correlations between each other among  $Q$  value,  $S$  value and  $\Delta TTP$ . **Results** Image post-processing and data analysis showed that the postoperative  $S$

value was significantly smaller than the preoperative S value ( $P<0.001$ ), while the postoperative Q value was remarkably larger than the preoperative Q value ( $P<0.001$ ). Postoperative  $\Delta TTP$ , Q value and G value were significant different from the preoperative ones, the differences were statistically significant ( $P<0.05$ ). Certain correlations existed between S value and Q value as well as between  $\Delta TTP$  and Q value, and the correlation coefficients were  $-0.81$  and  $-0.65$  respectively ( $P<0.001$ ). A linear correlation existed between Q value and  $\Delta TTP$  ( $t=-5.6$ ,  $P<0.05$ ), and the linear regression equation was  $\hat{y}=834.36-318.01x(x\geq 0)$ . **Conclusion**  $\Delta TTP$  obtained from the iFlow color-coded imaging technology provides a new approach for real-time and effective assessment of blood flow within artificial dialysis pathway during the process of PTA. (J Intervent Radiol, 2020, 29:1191-1195)

**【Key words】** artificial hemodialysis pathway; disfunction; percutaneous transluminal angioplasty; digital subtraction angiography; color-coded imaging technology

随着医疗水平不断进步,使用人工血液透析(血透)患者逐年增加,透析通路狭窄、血栓形成等问题所致通路失功能病例数也逐年增多,透析通路维护成为临床面临的重大课题<sup>[1]</sup>。经皮腔内血管成形术(percutaneous transluminal angioplasty, PTA)具有手术时间短、有效保护血管资源、对血管损伤小、快速解决内漏狭窄等优点<sup>[2-3]</sup>,已广泛应用于人工血透通路狭窄、闭塞性病变治疗<sup>[4-8]</sup>。目前人工血透通路血流量监测方法主要包括超声稀释法和血管多普勒超声,前者最可靠,而后者最常用<sup>[9]</sup>,然而两者均受限于特定的仪器设备、人员,通常不能在 PTA 术中实时监测。美国国家肾脏基金会肾脏病生存质量倡议(KDOQI)指南<sup>[2]</sup>中关于血透通路 PTA 理想疗效为病变部位残余狭窄 $<30\%$ ,但单纯二维图像、造影角度、主观性强等因素使得相关评价偏差大。如何在 PTA 术中实时便捷地监测人工血透通路血流量,指导进一步手术决策,值得思考。本研究通过回顾性分析人工血透通路狭窄或闭塞性病变 DSA 图像获取 iFlow 彩色编码技术参数与对应血透通路血流量,分析两者关系,以探讨彩色编码技术在 PTA 术中实时监测人工血透通路血流量的价值。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究数据收集

收集 2016 年 6 月至 2018 年 6 月在深圳市人民医院接受 DSA 引导下 PTA 治疗的前臂人工血透通路失功能患者 25 例术前、术后 DSA 图像数据与彩色多普勒超声监测数据,患者临床特征见表 1。DSA 图像数据收集:肱动脉入路,经导管高压注射器注入对比剂行前臂血管 DSA 造影(参数:流率 3 mL/s,对比剂总量 9 mL,压力 200 psi,图像采集速率 7.5 帧/s,见图 1);多普勒超声监测数据收集:患者前臂处于功能位,超声探头垂直于前臂皮肤,探头频率 6~12 MHz,

测量狭窄管腔管径和收缩期峰值流速。

表 1 25 例患者临床特征

参数	数值
年龄/岁	51±21
性别/n(%)	
男性	13(52)
女性	12(48)
使用血透通路时间/月	45±26
临床症状/n(%)	
单纯震颤减弱	8(32)
单纯上肢肿胀	2(8)
震颤减弱伴上肢肿胀	13(52)
无症状	2(8)
病变性质/n(%)	
狭窄	23(92)
闭塞	2(8)
通路类型/n(%)	
自体动静脉内瘘(AVF)	23(92)
人工血管动静脉内瘘(AVG)	2(8)

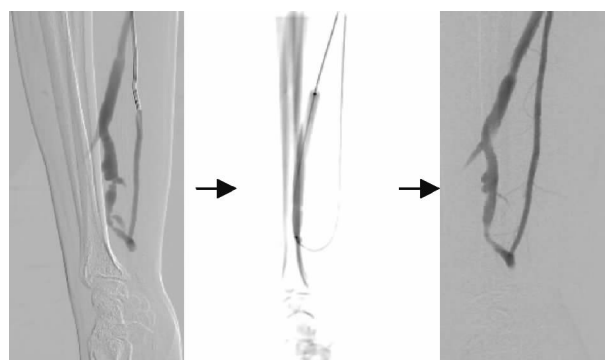


图 1 PTA 术程 DSA 图像采集

### 1.2 DSA 图像数据处理

根据血管 DSA 造影图像,计算平均狭窄管径  $d(\text{cm})$ ,测量正常管径  $D(\text{cm})$ ,计算管腔狭窄程度  $S=d/D$ ,测量并计算累计管腔狭窄长度  $l(\text{cm})$ 及在特定图像帧数内对比剂通过含狭窄段的距离长度  $L(\text{cm})$ (图 2),记录图像采集帧频  $F(\text{帧/s})$ 及相应图像

帧数  $N$ 。根据速度计算公式(速度=距离/时间),计算平均血流速度  $V(\text{cm/s})=L/(N/F)$ ;根据圆形面积计算公式(圆形面积 $=\pi r^2$ ),通过加权计算平均血管横截面积  $C(\text{cm}^2)=\pi(d/2)^2(L/L)+\pi(D/2)^2[(L-L)/L]$ ;根据流量计算公式(流量=横截面积 $\times$ 速度),计算所有患者血流量  $Q(\text{mL/min})=V\times C\times 60$ 。

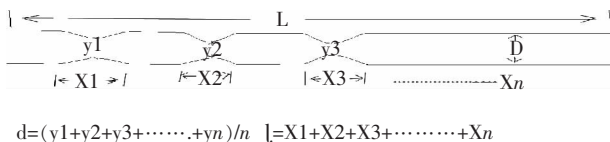


图2 测量示意图

将患者 PTA 术前、术后造影图像传至德国 Siemens 公司 Leonardo 后处理工作站,经 Syngo iFlow 软件处理后得到彩色编码图像,分别在距离狭窄或闭塞段近端 10 cm 通路流入道正常管径处、狭窄或闭塞段近端、狭窄段或闭塞段远端,各选取面积  $4.7 \text{ mm}^2$  大小感兴趣区(ROI),分别记为 Ref 点、2 点、3 点,ROI 完全落在血透通路范围内,并避开血透通路与其他血管重叠区域(图 3、4)。以 Ref 点为参考点,采集 iFlow 数据并计算出 2 点与 3 点密度达峰时间差值( $\Delta\text{TTP}$ )。所有患者 iFlow 数据采集与

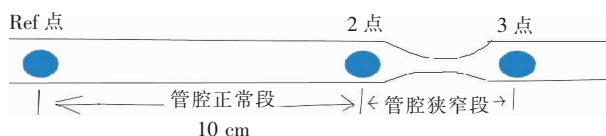


图3 ROI 选点示意图

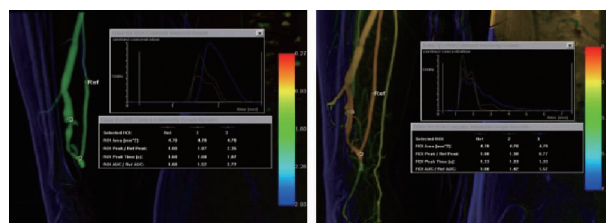


图4 造影图像 iFlow 后处理图

后处理均由 2 名经验丰富的介入医师共同完成。

### 1.3 血管多普勒超声监测图像数据处理

收集所有患者 PTA 术前 3 d 内及术后 3 d 内血管多普勒超声检查图像数据,分别测量术前、术后血透通路狭窄点管腔管径大小和收缩期峰值流速(图 5),根据圆形面积计算公式(圆形面积 $=\pi r^2$ ),计算出横截面积;横截面积与收缩期峰值流速相乘得出彩色超声血流量( $G$ )。

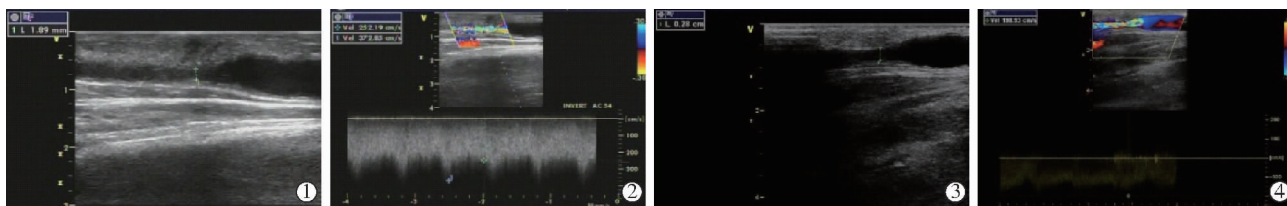


图5 多普勒超声监测

### 1.4 统计学分析

采用 SPSS 22.0 统计软件进行数据分析。计量资料以均数 $\pm$ 标准差( $\bar{x}\pm s$ )表示,配对  $t$  检验分析对比各患者术前、术后  $\Delta\text{TTP}$  间、 $Q$  间、 $S$  间差异及  $Q$  与  $G$  间差异,Pearson 相关系数分析  $Q$  与  $S$ 、 $\Delta\text{TTP}$  间相关性, $P<0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

25 例患者均完成 PTA 术前血管多普勒检查和 DSA 造影,术中 2 例闭塞性病变成功开通,23 例狭窄性病变中 20 例成功开通,3 例病变复杂,导丝未能通过狭窄段,开通失败。最终纳入术前术后共 47 个 DSA 图像数据及其对应多普勒超声监测数据。

配对  $t$  检验分析结果显示,PTA 术前、术后  $S$  分

别为  $(73.38\pm 11.50)\%$ 、 $(41.03\pm 12.19)\%$ ,差异有显著统计学意义( $P<0.001$ ),术后管腔狭窄程度明显缩小; $Q$  分别为  $(307.35\pm 189.25) \text{ mL/min}$ 、 $(940.15\pm 268.55) \text{ mL/min}$ ,差异有显著统计学意义( $P<0.001$ ),术后 DSA 血流量明显增加; $G$  分别为  $(331.31\pm 174.72) \text{ mL/min}$ 、 $(990.80\pm 246.03) \text{ mL/min}$ ,差异有显著统计学意义( $P<0.001$ ); $Q$  与  $G$  间差异有统计学意义( $P<0.05$ );术前、术后  $\Delta\text{TTP}$  分别为  $(1.03\pm 0.76) \text{ s}$ 、 $(0.18\pm 0.12) \text{ s}$ ,差异有显著统计学意义( $P<0.001$ ),见表 2。直线相关分析结果显示, $S$  与  $Q$  间呈负相关性( $r=-0.81, P<0.001$ ); $\Delta\text{TTP}$  与  $Q$  间呈负相关性( $r=-0.65, P<0.001$ )。直线回归分析结果显示, $Q$  与  $\Delta\text{TTP}$  间有直线关系( $t=-5.6, P<0.05$ ),直线回归方程 $\hat{y}=834.36-318.01x(x\geq 0)(0\leq x\leq 0.12 \text{ 时}, \hat{y}\geq 800)$ ,见图 2。



表 2 各参数之间配对 *t* 检验分析结果

比较对象	平均值	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
S 术前/%	73.38±11.50	9.11	<0.001
S 术后/%	41.03±12.19		
Q 术前/(mL/min)	307.35±189.25	12.40	<0.001
Q 术后/(mL/min)	940.15±268.55		
G 术前/(mL/min)	307.35±189.25	13.80	<0.001
G 术后/(mL/min)	990.80±246.03		
Q/(mL/min)	604.06±393.10	2.70	0.010
G/(mL/min)	637.06±395.00		
ΔTTP 术前/s	1.03±0.76	5.15	<0.001
ΔTTP 术后/s	0.18±0.12		

### 3 讨论

维持有效通路血流量是血液透析能够顺利进行的关键,监测通路血流量、及时获取血流量变化信息,对于维护血透通路意义重大。DSA 参数彩色编码技术作为一种图像后处理技术,通过收集 DSA 造影图像密度随时间变化而变化信息,通过计算机算法转变为图像像素,获取血流分布、血流速度变化等功能性参数指标<sup>[10]</sup>。研究表明,DSA 参数彩色编码技术可客观地反映成像血管实时血流速度<sup>[11]</sup>。Syngo iFlow 软件由德国 Siemens 公司开发、推广,首先被用于评估神经系统血管重建,实时成像评估、指导术中治疗方案<sup>[12]</sup>。随着技术成熟,Syngo iFlow 成像技术已用于更多领域。有研究表明,Syngo iFlow 成像技术可在术中实时测量、定量评价肝细胞癌血流动力学变化,以判断肿瘤栓塞程度<sup>[13]</sup>。也有报道将 Syngo iFlow 成像技术应用于评估下肢动脉缺血性疾病血管腔内介入治疗前后血流动力学改变,取得了初步经验<sup>[14-15]</sup>。Zhang 等<sup>[16]</sup>将 Syngo iFlow 成像技术用于评判兔下肢缺血-再灌注损伤,结果表明该技术可有效判断缺血-再灌注损伤程度,有望为临床肢体缺血-再灌注损伤建立评价标准。Syngo iFlow 成像技术在评价组织灌注方面显示出强大功能,可与 CT 灌注成像相媲美。然而 Syngo iFlow 成像技术目前尚未应用于评价人工血透通路 PTA 术疗效。本研究通过回顾性分析人工血透通路狭窄或闭塞性病变 DSA 图像,获取 iFlow 彩色编码技术参数 ΔTTP 与对应血透通路血流量 *Q*,结果显示 ΔTTP 在 PTA 术中实时监测人工血透通路血流量具有巨大潜力。

本研究所有患者介入手术均经肱动脉途径,对狭窄性和闭塞性病变开通成功患者,均予一次性全程治疗人工血透通路,治疗前后造影均采用相同参数高压注射,经肱动脉血管鞘行前臂血管造影,统一造影图像标准,以避免静脉端入路造影导管对图

像的干扰。本研究基于术中 DSA 造影图像计算出 DSA 血流量,即 PTA 术中血透通路实时血流量,与基于 DSA 造影图像后处理所获 iFlow 彩色编码相关参数 ΔTTP 相对应,保证了两者间相关性分析的可信度。DSA 血流量 *Q* 与彩色超声血流量 *G* 比较,差异有统计学意义( $P=0.01$ )。本研究认为,存在这种差异的主要原因:①DSA 造影与彩色超声监测处于不同时间点,病变进展所致血管狭窄程度不同;②DSA 监测血流量计算方法存在精度偏差,计算所得血流量数据与实际血流量间存在一定偏差。但本研究通过加权计算平均血管横截面积、平均血流速度,进而计算出血流量值,最大程度接近了实际值,且 DSA 血流量与彩色超声血流量间差异并不大。余少斌等<sup>[17]</sup>基于超声稀释法对 213 例狭窄与非狭窄性血透通路血流量进行监测,结果显示狭窄性、非狭窄性病变平均血流量分别为 320(290~370) mL/min、895(600~1 205) mL/min。本研究所测术前、术后 DSA 血流量与之大体相近,直线相关分析也显示 DSA 血流量 *Q* 与管腔狭窄程度 *S* 呈负相关性。由此可见,本研究中 DSA 血流量计算方法可行,能有效评估人工血透通路血流量。

本研究结果显示 ΔTTP 与 *Q* 间具有良好负相关性,揭示了利用 iFlow 相关参数 ΔTTP 评估人工血透通路血流量具有较高的临床价值。目前对于人工血透通路血流量的正常值尚无统一标准,低血流量易导致血透通路失功能,高流量则易出现严重盗血现象及并发心功能不全等。有研究表明,内漏血流量个体差异大(300~3 000 mL/min)<sup>[18]</sup>。丁红等<sup>[19]</sup>、余少斌等<sup>[17]</sup>研究表明,低流量组(<800 mL/min)和高流量组( $\geq 1\,500$  mL/min)患者并发症发生率明显高于中等流量组(800~1 500 mL/min)。本研究显示 DSA 血流量 *Q* 与达峰时间差值 ΔTTP 间有直线关系( $t=-5.6, P<0.05$ ),直线回归方程  $y' = 834.36 - 318.01x$  ( $x \geq 0$ )。按照丁红等<sup>[19]</sup>、余少斌等<sup>[17]</sup>研究推荐,人工血透通路血流量应控制在中等流量组(800~1 500 mL/min),当达峰时间差值 ΔTTP<0.12 时,血流量>800 mL/min。因此,本研究认为 PTA 治疗人工血透通路狭窄或闭塞性病变时,狭窄近、远端密度达峰时间差值 ΔTTP<0.12 的治疗效果较为理想。

本研究结论认为,DSA iFlow 彩色编码成像技术获得的前臂人工血透通路相关参数 ΔTTP,对评估人工透析通路血流量有较高的参考价值,为 PTA 治疗人工血透通路失功能过程中实时有效地评估血流量提供了一种新方法。

## [参考文献]

- [1] 王玉柱,叶朝阳,金其庄. 中国血液透析用血管通路专家共识[J]. 中国血液净化, 2014, 13:549-558.
- [2] KDOQI, National Kidney Foundation. KDOQI clinical practice guidelines and clinical practice recommendations for anemia in chronic kidney disease[J]. Am J Kidney Dis, 2006, 47(5 Suppl 3): S11-S145.
- [3] 朱景航,库媛,黄学卿,等. 经皮腔内血管成形术治疗血液透析动静脉内瘘狭窄效果的影响因素分析[J]. 介入放射学杂志, 2018, 27:73-78.
- [4] 杨志,林龙英,王家兴,等. 经皮球囊扩张治疗血液透析动静脉内瘘狭窄临床分析[J]. 实用放射学杂志, 2015:1351-1353.
- [5] Kitrou P, Spiliopoulos S, Karnabatidis D, et al. Cutting balloons, covered stents and paclitaxel-coated balloons for the treatment of dysfunctional dialysis access[J]. Expert Rev Med Devices, 2016, 13: 1119-1126.
- [6] Karnabatidis D, Kitrou P. Drug eluting balloons for resistant arteriovenous dialysis access stenosis[J]. J Vasc Access, 2017, 18: 88-91.
- [7] Hatakeyama S, Toikawa T, Okamoto A, et al. Efficacy of SMART stent placement for salvage angioplasty in hemodialysis patients with recurrent vascular access stenosis[J]. Int J Nephrol, 2011, 2011: 464735.
- [8] 林开勤,方学华. 血液透析患者上肢动静脉内瘘狭窄或闭塞的介入治疗[J]. 介入放射学杂志, 2010, 19:130-131.
- [9] Vascular Access Work Group. Clinical practice guidelines for vascular access[J]. Am J Kidney Dis, 2006, 48(Suppl 1): S248-S273.
- [10] Strother CM, Bender F, Deuerling-Zheng Y, et al. Parametric color coding of digital subtraction angiography[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2010, 31: 919-924.
- [11] Ho YJ, Chang MB, Lin YH, et al. Quantitative portal vein velocity of liver cancer patients with transcatheter arterial chemoembolization on angiography[J]. Scient Word J, 2012, 2012: 830531.
- [12] Lin CJ, Luo CB, Hung SC, et al. Application of color-coded digital subtraction angiography in treatment of indirect carotid-cavernous fistulas: initial experience[J]. J Chin Med Assoc, 2013, 76: 218-224.
- [13] 王宇喆,尹化斌. iFlow 彩色编码技术实时定量测定肝细胞癌经肝动脉化疗栓塞术前血流动力学改变的可行性探讨[J]. 临床肝胆病杂志, 2018, 34:133-136.
- [14] 苏浩波,楼文胜,顾建平. 彩色编码血流成像在严重下肢动脉缺血腔内治疗前后循环变化的评估价值[J]. 中华医学杂志, 2015, 95:3036-3040.
- [15] Kostrzewa M, Kara K, Pilz L, et al. Treatment evaluation of flow-limiting stenoses of the superficial femoral and popliteal artery by parametric color-coding analysis of digital subtraction angiography series[J]. Cardiovasc Intervent Radiol, 2017, 40: 1147-1154.
- [16] Zhang Y, Li C, Zhang H, et al. Color-coded digital subtraction angiography for assessing acute skeletal muscle ischemia-reperfusion injury in a rabbit model[J]. Acad Radiol, 2018, 25: 1609-1616.
- [17] 余少斌,周莉,曾筱茜,等. 基于超声稀释法的血管通路监测在动静脉内瘘维护中的临床应用[J]. 中国血液净化, 2017, 16:781-785.
- [18] Teodorescu V, Gustavson S, Schanzer H. Duplex ultrasound evaluation of hemodialysis access: a detailed protocol[J]. Int J Nephrol, 2012, 2012: 508956.
- [19] 丁红,顾奇澜,朱宇莉,等. 高频超声监测稳定血透患者动静脉内瘘并发症的临床价值再评价[J]. 中国临床医学影像杂志, 2015, 26:118-121.

(收稿日期:2019-09-26)

(本文编辑:边伟)