

# 超声新技术在移植肾术后并发症应用中的最新进展

王晶 朱建平 蒋奕彦 郭君其

1960年已确认肾移植是终末肾功能衰竭治疗的优先选择方法。但是,肾移植术后的各种并发症给临床诊断和治疗带来了许多困难。超声检查是临床常用的影像学方法,具有无创、迅速、方便、快捷的特点。随着影像技术的不断发展,超声检查已成为肾移植术后的常规监测方法,对移植肾术后随访及并发症的监测起着越来越重要的作用。其中三维超声与声学造影新技术已显示出了较好的应用前景。

## 一、超声新技术及其原理

1. 彩色多普勒能量成像(color Doppler power imaging, CDPI):CDPI技术是以多普勒信号的强度为信息来源,以强度的平方值表示能量,不受探测角度的影响,因此可以明显地提高检测组织血流的敏感性,尤其有利于显示低流量、低流速的血流。其成像参数是血流中红细胞的能量成分,因而使超声技术对血流显像的评估进入了半定量水平。尤其是在移植肾血流灌注中的应用,更是得到了广泛关注。朱建平<sup>[1]</sup>利用CDPI对移植肾血流灌注进行6个级别的分级:5级,皮质血流呈珊瑚状,达肾包膜下;4级,皮质血流呈珊瑚状,距肾包膜 $\geq 2$  mm;3级,皮质血流稀疏;2级,弓形动脉彩色血流稀疏,皮质血流消失;1级,弓形动脉以远血管彩色血流消失;0级,肾主动脉及段间动脉显像好,叶间动脉彩色血流稀疏,弓形、皮质血流消失。但CDPI显示的是血流能量信息,并不是速度信息,故不能直接显示血流性质和方向,而且由于其只是平面显像,亦无法准确显示器官整体的血流灌注情况。

2. 三维超声显像技术:三维彩色血管能量成像(3D-color power angiography, 3D-CPA)是一项新开展、在器官整体血流显像方面具有独特优势的超声新技术<sup>[2-3]</sup>。血管能量成像(CPA)是利用红细胞通过的数量及信号振幅大小进行成像,对低速血流敏感性高。3D-CPA为三维超声成像技术与CPA相结合,以脏器血管解剖为基础,血流能量显示为条件,对受检部位进行多切面扫查,经计算机软件系统处理完成三维重建,从而能够完整立体地显示器官血管走行、数量、分布情况<sup>[4]</sup>。朱建平<sup>[5]</sup>利用3D-CPA对移植肾整体血流灌注进行6个级别的血流分级:5级,肾主动脉、段间及叶间血管树状结构呈立体珊瑚状分布,弓形血管呈多个立体拱桥状分布,肾皮质血管呈饱满的细绒线状分布,整个肾彩色血流丰富、连续、均匀,肾内血管树立体空间结构及层次感明显;4级,肾皮质血管细绒线状结构稀疏,余同正常移植肾;3级,肾皮质血管细绒线状结构消失,余同血流4级;2级,肾弓形血管立体拱桥状结构部分中断,余同血流3级;1级,肾弓形血管立体拱桥状结构消失,余同血流2级;0级,肾叶间血管树干结构稀疏,部分中断,余同血流1级。3D-CPA是基于CDPI基础上的血管三维重建技术,对脏器血管的扫查除具有CDPI敏感和准确的特性外,还可立体展示血管的分布、走行情况,弥补了CDPI对血流显示不够全面的不足。

新近开发的三维超声容积自动测量技术(virtual organ computer-aided analysis, VOCAL)是在三维图像重建的基础上手动或自动勾画待测实体的轮廓从而完成测量容积运算的新型技术。测量的指标包括:容积(V)、灰阶指数(mean gray value, MG)、血管指数(vascularization index, VI)、血流指数(flow index, FI)、血管血流指数(vascularization flow index, VFI),V反映移植肾的大小,VI反映移植肾内的血流容积分布,FI反映移植肾的平均血流速度,VFI根据血流速度评估移植肾的血流灌注,这四项指标客观地反映移植肾内血流循环的情况<sup>[6]</sup>,对脏器内血流灌注的半定量评价更加客观、准确。

3. 声学造影(contrast-enhanced ultrasound, CEUS):CEUS是利用超声造影剂使后散射回声增强,提高超声检查对低流量、低速血流显示能力的一项新技术。新型造影剂着重于探索微泡与入射声场之间的相互作用,提高检测微泡强度及持续时间的能力<sup>[7-8]</sup>。声诺维(SonoVue)超声造影成像技术作为一项新的超声成像技术,可以对组织器官进行微循环血流检测<sup>[9-10]</sup>,不仅能通过毛细血管网微循环,经外周静脉注射后还可到达肾实质,增强并显示肾内微小血管的血流。对比剂静脉团注2 min后排出80%,15 min完全排出体外,不经过肾脏代谢,对移植肾无毒性。CEUS可达到微灌注水平,其血流成像的敏感度是普通彩色超声的1000倍,并且可采用多帧存储方法二次存储动态影像,对移植肾的时间-强度曲线(time-intensity curve, TIC)进行量化分析。观察指标有拟合质量(quality of fit, QOF)、TIC的斜率、到达时间(arrive time, AT)、上升时间(rise time, RT)、平均通过时间(means transmit time, mTT)、达峰时间(time to peak, TTP)、完全排空时间等参数。

## 二、超声技术在移植肾术后并发症中的应用

### (一)移植肾术后急性排斥(acute rejection, AR)

1. 移植肾术后AR的病理基础:AR反应是肾移植术后早期最常见的并发症,也是导致移植肾功能丧失的主要原因<sup>[11]</sup>。

Racusen 等<sup>[12]</sup>将AR分为三型: I型,急性小管间质型排异反应(acute tubulointerstitial rejection, ATIR),其病理特征是肾小管炎及肾间质炎症,具体表现为肾间质水肿,间质内及肾小管上皮细胞间以T细胞为主的大量淋巴细胞浸润; II型,急性血管型排异反应(acute vascular rejection, AVR),其病理特征是肾动脉内膜炎,表现为入球小动脉、小叶间动脉内膜增生、肿胀,导致管腔狭窄或闭塞; III型,重度急性排异反应,其病理改变是全身血管炎和(或)肾动脉纤维样坏死。

2. 超声技术在移植肾AR中的应用:二维超声表现为移植肾肿大,肾锥体因水肿而明显肿大,回声减低,其高度可能大于对应的肾皮质厚度。AR不同病理分型可以有不同的血流特征。王炼等<sup>[13]</sup>就不同类型AR的超声表现及病理活检进行对照研究,发现ATIR的超声图像与正常移植肾相近,肾内血流灌注丰富,小叶间动脉的血流能清晰显示<sup>[14]</sup>。而AVR的声学图像小叶间动脉血流灌注明显减少,肾内小动脉舒张末期血流速度明显减低甚至消失,频谱波形呈单峰状。这些改变与AR的病理分型相符,AVR的病理损伤主要为入球小动脉增加,血流灌注减少,使超声图像发生相应的改变。而ATIR的主要病理改变是肾小管炎和间质炎症,对肾血管并没有直接损伤,因此ATIR不及AVR起病急重。CDPI检测血流灵敏度为CDFI的3倍,因此CDPI诊断AR的敏感性比CDFI高,若综合CDPI与CDFI来诊断AR,准确性将提高到85%,敏感性为100%。

三维超声技术在移植肾术后AR的临床应用越来越受到重视。曹兵生等<sup>[15]</sup>应用三维超声及体元法测量9例动物模型以及3例移植肾排异反应患者切除的肾脏体积,与二维超声测得的肾脏体积相比,三维超声比二维超声更加敏感地发现移植肾肿大等表现的排异反应。魏炜等<sup>[16]</sup>对58例肾移植患者通过超声仪自带成像系统进行三维结构重建,发现急性排组移植肾三维重建后肾脏体积 $[(179\ 245.53 \pm 13\ 143.65)\text{mm}^3]$ 较对照组 $[(140\ 214.35 \pm 12\ 854.13)\text{mm}^3]$ 明显增大,增大幅度为 $(21 \pm 5)\%$ ,对急性排组中20例患者排异前后肾脏体积自身比较结果近似一致,提示排异反应的发生可能与肾脏体积增大具有一定的相关性。曹军英等<sup>[17]</sup>收集30例移植肾排异反应患者,采用3D-CPA之后,发现排异组3D-CPA显示完整的血管树结构消失,彩色血流信号断续,三维重建后VOCAL法<sup>[18]</sup>计算的移植肾体积与对照组相比差异有统计学意义,说明三维超声体积测测比二维超声更敏感。

Fischer 等<sup>[19-20]</sup>认为CEUS后对移植肾的主肾动脉、小叶间动脉和包膜下区域分别进行TIC分析可以较其他常规检查更早诊断AR反应。龚渭冰等<sup>[21]</sup>对18例移植肾患者进行CEUS检查,发现AR组的灌注参数曲线下面积(area under curve, AUC)为 $4823.00 \pm 1465.03$ ,而正常组的AUC为 $7721.56 \pm 576.35$ ,并且两者的差异有统计学意义。此改变在AR的阻力指数上升之前即可发生。

## (二)移植肾术后慢性排斥(chronic rejection, CR)

1. 移植肾术后CR的病理基础:CR病理表现为肾小球炎症细胞浸润,外周毛细血管基底膜双轨状改变或广泛增厚、分层,伴系膜基质增生,可见节段性或球性肾小球硬化,缺血性塌陷;肾皮质纤维化,肾小管萎缩,小管基底膜增厚、皱缩,周围间质纤维化,淋巴、单核和浆细胞浸润;动脉单核、泡沫细胞浸润,内膜增生、水肿增厚或纤维化,动脉管壁纤维素样坏死,部分可见小动脉平滑肌退变及透明变性增厚,并引起管腔狭窄甚至闭塞。

2. 超声技术在移植肾CR中的应用:移植肾CR二维超声表现为肾体积先增大,后缩小,肾轮廓线粗糙不平,肾实质回声增强,与肾窦分界不清。CDFI显像表现为肾内血流稀疏,严重者肾皮质区无血流信号,仅在肾窦内见少量血流信号。脉冲多普勒显示肾血管阻力增加,搏动指数、阻力指数增高。CDPI显示肾动脉管径变细,段动脉细而残缺,肾内其他动脉不显示,呈树干型,晚期肾内可见星点状分布的稀少血流。

三维超声对移植肾CR的研究还处在初级阶段,尚未见实验研究的报道。临床研究中也仅有少量报道,蒋苏齐等<sup>[22]</sup>对30例移植肾患者进行三维超声体积重建,显示移植肾血管树状立体结构稀疏,弓形、叶间动脉常不连续,弓形动脉立体拱桥状结构部分中断或消失,与移植肾功能稳定组相比,CR的三维血管能量血流分级为0~4级,差异有统计学意义。

利用SonoVue对移植肾进行CEUS成像,可以检测出CR时的微循环灌注变化<sup>[23-25]</sup>。目前实验研究还未见相关报道,但邢晋放等<sup>[26]</sup>对36例同种异体移植肾患者常规超声检查结束后进行CEUS,配备对比脉冲序列造影成像软件,观察肾实质微循环灌注情况。与功能正常组移植肾比较,CR组皮质从开始增强到达峰所需时间延长;而以皮质 $RT \leq 7.40\text{ s}$ 预测CR的阳性预测值为86.8%。ROC曲线分析显示功能正常组皮质达峰时间为13.5~20.52 s,CR组皮质达峰时间明显延长( $TTP > 22\text{ s}$ ),差异有统计学意义。

## (三)急性肾小管坏死(acute tubular necrosis, ATN)

1. 移植肾术后ATN的病理基础:ATN是由于缺血再灌注损伤引起的,分为三个阶段:第一阶段为缺血再灌注损伤期,肾小管细胞凋亡或坏死,死亡细胞和碎屑脱落产生肾小管阻塞。第二阶段为维持期,损伤的肾小管细胞修复和增殖;生存的上皮细胞位于基膜或保留粘着和分化,表现为胚胎原性、间充质表型,一些未分化细胞跨过基底膜进入间质成纤维细胞处,在损伤肾小管周围形成骨架。第三阶段为恢复期,肾小管功能恢复正常;保留的肾小管增殖,清除腔内碎屑,修复基膜,分化为成熟上皮细胞。

2. 超声技术在ATN中的应用:目前肾移植术后ATN是最常见的并发症之一,是引起移植肾失功能的主要原因<sup>[27]</sup>。移植肾血流动力学状态反映了它的功能状况<sup>[28]</sup>。ATN彩色超声表现为移植肾皮质内血流减少,尤以舒张期明显,血流频谱显示主肾动脉和段动脉血流束变细、收缩期峰值流速( $V_p$ )与移植肾功能正常组相近( $P > 0.05$ ),叶间动脉、弓形动脉 $V_p$ 略降低,主肾动脉和段动脉舒张末期或舒张中晚期血流频谱中断,叶间动脉舒张期血流频谱很低甚至无频谱信号或出现反向血流频谱,弓形动脉几乎没有舒张期血流频谱或仅见少许极低间断脉冲样频谱,部分出现反向血流频谱,这些表现都与ATN病理变



化相关联。

利用 CEUS 的 TIC 的 AUC 可以评估 ATN 血流量的变化程度。叶艺等<sup>[29]</sup>建立 ATN 犬模型 12 只,行 CEUS 获得相关参数,得到 ATN 后峰值前移,峰值强度下降 2.1%,AUC 下降 42.4%,降支减半时间下降 44.9%,mTT 下降 31.6%。虽然实验样本量较少,而且尚无相关临床报道,但观察到移植肾 CEUS TIC 的变化特点,仍可客观反映移植肾 ATN 后的血流灌注变化。

#### (四) 移植肾术后肾动脉狭窄(transplanted renal artery stenosis, TRAS)

1. 移植肾术后 TRAS 的病理基础:造成 TRAS 的病因复杂多样,常见病因有动脉硬化、不正确的移植位置而产生的湍流引起继发性受损、血管受压、纤维化和缠绕、高血压、采集供肾时的损伤、糖尿病等<sup>[30]</sup>。TRAS 的病理显示血管内存在纤维素样物质的沉积,内膜增生、损伤及内弹力层的紊乱<sup>[31]</sup>。

2. 超声技术在 TRAS 中的应用:彩色超声是一种有效的无创的诊断 TRAS 的方法。国外已有很多彩色超声诊断 TRAS 的报告,可以正确识别程度 >60% 的狭窄,整体敏感性和特异性为 100%<sup>[32]</sup>。国内有文献报道,4 例 TRAS 患者中肾动脉最大峰值速度均 >1.25 m/s,平均 1.42 m/s。阻力指数均 >0.75,平均 0.82。狭窄部位均见色彩混叠,呈红蓝相间的花色血流。多普勒频谱增宽离散,呈湍流频谱。在狭窄的近端或远端,血流峰值速度及阻力指数均明显下降。肾内各级血管显示大多正常,但血流频谱可见收缩期速度上升缓慢,加速度时间均超过 0.1 s<sup>[33]</sup>。

新型 CEUS 技术及声学密度定量分析技术评价移植肾的血流灌注状态,是诊断 TRAS 的新方法。马穗红等<sup>[34]</sup>建立 10 只 TRAS 犬模型,通过对肾动脉狭窄前、后肾皮质 TIC 分析可以发现,各参数指标随狭窄程度的变化而发生变化。对于轻度 TRAS(25%~49%),只有曲线的下降支斜率(Alpha)差异有统计学意义,而 AUC、曲线达峰绝对值(DPI)和 TTP 均无明显改变;移植肾动脉中、重度狭窄(50%~99%)时,Alpha、AUC、DPI、TTP 与正常对照组相比差异均有统计学意义( $P \leq 0.045$ )。张艳等<sup>[35]</sup>对 8 例 TRAS 患者进行 CEUS 检查,发现 TRAS 患者肾动脉狭窄处可见充盈缺损,肾内造影剂灌注缓慢,皮质回声增强较弱,使其 TIC 上升缓慢,搏动指数值小;造影剂补充不足,TIC 下降迅速,降支减半时间短,AUC 小。TRAS 程度越重,这种变化越显著。

#### (五) 环孢素 A 肾中毒(CsA nephrotoxicity, CsA-NT)

1. 移植肾术后 CsA-NT 的病理基础:CsA 肾毒性损害一般分为急性肾毒性损害和慢性肾毒性损害。CsA 急性肾毒性损害的机制与 CsA 引起持续性血管收缩有直接关系。病理学上主要表现为肾小管上皮细胞轻度颗粒变形,部分出现小圆形空泡变性,肾小管上皮细胞刷状缘脱落,部分患者有肾小管坏死伴有大量淋巴细胞、单核细胞和少量浆细胞、中性粒细胞浸润<sup>[36]</sup>。

2. 超声技术在 CsA-NT 中的应用:CsA 是目前广泛用于器官移植术后抗排斥反应的一种高效免疫抑制剂,但是,CsA 存在较强的肾毒性,其发生率约为 30%<sup>[37]</sup>。张凤秀等<sup>[38]</sup>应用彩色多普勒对移植肾 CsA-NT 进行监测,发现 CSA-NT 组 9 例患者 CDPI 和 CDFI 显示肾内血流仅肾皮质部血流减少,血流频谱示各级肾动脉峰值血流速度普遍减低,S/D 减小,阻力指数明显减低(0.35~0.55)。表明 CDFI、CDPI 能快速显示移植肾内血供情况,通过判断阻力指数值尽早判断有无 CsA-NT,为临床提供帮助。三维超声及 CEUS 在 CsA-NT 中的应用还在初步研究发展当中,国内外尚未见相关文献报道。

### 三、展望

综上所述,二维及 CDFI 超声技术对肾移植患者术后进行动态监测已经成为诊断移植肾并发症的常规检查,但是,由于很多并发症的超声表现难以鉴别,以及常规超声本身的局限性,二维及 CDFI 的应用及发展受到限制。CDPI 只是对移植肾进行平面能量血流分级,而 3D-CPA 则对其进行整体能量血流分级,真实再现了移植肾整体血流灌注情况,然而,这两者皆为半定量水平评估血流灌注。CEUS 作为一种新的超声技术,其敏感性是普通彩色超声的 1000 倍,并利用 TIC 参数定量评估移植肾血流灌注情况。目前 CEUS 及三维超声对各种并发症的研究还处于初级阶段,三维、造影评估参数等在并发症鉴别诊断上尚无最佳参考阈值,相关的特异性、敏感性及准确性尚无相应文献报道,病理分型与声像图之间的相关性及 CDFI、CDPI、三维、造影图像之间的相关性尚无临床报道。因此,三维超声技术及 CEUS 在移植肾术后并发症中的评价中有着广泛研究空间及应用前景。

### 参 考 文 献

- [1] 朱建平,蒋彦彦,罗晓莉,等.彩色多普勒血流与能量显像在移植肾排斥中的对比研究.福建医药杂志,2004,26(3):49-50.
- [2] Ying M, Pang BS. Three-dimensional ultrasound measurement of cervical lymph node volume. Br J Radiol, 2009, 82(980):617-625.
- [3] Chiu B, Krasinski A, Spence JD, et al. Three-dimensional carotid ultrasound segmentation variability dependence on signal difference and boundary orientation. Ultrasound Med Biol, 2010, 36(1):95-110.
- [4] 王琨,郭琳娜,熊彤.三维超声成像技术在卵巢肿瘤诊断中的应用.天津医科大学学报,2009,15(3):497-507.
- [5] 朱建平,罗晓莉,姚俊华,等.三维血管能量血流分级在移植肾急性排斥中的临床应用.中华超声影像学杂志,2006,15(8):594-596.
- [6] 张艳平,朱建平.超声技术在移植肾血流灌注研究中的应用进展.福建医药杂志,2009,31(1):86-87.
- [7] Qin S, Caskey CF, Ferrara KW. Ultrasound contrast microbubbles in imaging and therapy: physical principles and engineering. Phys Med Biol, 2009, 54(6):R27-57.

- [ 8 ] Doimikov AA, Zhao S, Dayton PA. Modeling of the acoustic response from contrast agent microbubbles near a rigid wall. *Ultrasonics*, 2009, 49 ( 2 ) : 195-201.
- [ 9 ] Marret H, Barillot I, Rolland Y, et al. Contrast ultrasound using SonoVue for pelvic radiation with concurrent chemotherapy monitoring in stage IB-II cervical cancer. *Cancer Radiother*, 2009, 13 ( 6/7 ) : 515-519.
- [ 10 ] Dai Y, Chen MH, Yin SS, et al. Focal liver lesions: can SonoVue-enhanced ultrasound be used to differentiate malignant from benign lesions? *Invest Radiol*, 2007, 42 ( 8 ) : 596-603.
- [ 11 ] Girlanda R, Kleiner DE, Duan Z, et al. Monocyte infiltration and kidney allograft dysfunction during acute rejection. *Am J Transplant*, 2008, 8 ( 3 ) : 600-607.
- [ 12 ] Racusen LC, Solez K, Colvin RB, et al. The Banff 97 working classification of renal allograft pathology. *Kidney Int*, 1999, 55 ( 2 ) : 713-723.
- [ 13 ] 王炼, 姚绍球, 杨斌, 等. 彩色多普勒超声鉴别诊断不同类型的移植肾急性排异. *中华超声影像学杂志*, 1999, 8 ( 2 ) : 89-92.
- [ 14 ] 王曦曦, 何云, 李智贤. 超声监测移植肾急性排异反应的临床应用进展. *广西医科大学学报*, 2007, 24 ( 3 ) : 479-481.
- [ 15 ] 曹兵生, 盛林, 董宝, 等. 三维超声重建测量肾脏体积的实验研究. *中国临床医学影像杂志*, 2005, 16 ( 12 ) : 86-88.
- [ 16 ] 魏炜, 艾红, 汪靖园, 等. 三维彩色多普勒超声诊断移植肾急性排异反应. *中国医学影像技术*, 2009, 25 ( 1 ) : 110-113.
- [ 17 ] 曹军英, 蒋苏齐, 王占江. 三维超声定量分析移植肾排异反应. *医学影像学杂志*, 2008, 18 ( 8 ) : 899-901.
- [ 18 ] 徐辉雄, 徐作峰, 吕明德, 等. 三维超声容积自动测量技术的准确性及重复性研究. *中国超声医学杂志*, 2003, 19 ( 3 ) : 232-236.
- [ 19 ] Fischer T, Ebeling V, Giessing M, et al. A new method for standardized diagnosis following renal transplantation. *Ultrasound with contrast enhancement. Urologe A*, 2006, 45 ( 1 ) : 38-45.
- [ 20 ] Fischer T, Mühler M, Kröncke TJ, et al. Early postoperative ultrasound of kidney transplants: evaluation of contrast medium dynamics using time-intensity curves. *Rofo*, 2004, 176 ( 4 ) : 472-477.
- [ 21 ] 龚渭冰, 罗国新, 王莎莎. 超声造影在移植肾急性排斥反应中的初步临床研究. *临床超声医学杂志*, 2008, 10 ( 1 ) : 7-9.
- [ 22 ] 蒋苏齐, 曹军英, 张筠. 二维及三维超声观察移植肾排斥反应时体积及血管指数的变化. *中国临床医学影像杂志*, 2008, 19 ( 12 ) : 869-871.
- [ 23 ] Sanchez K, Barr RG. Contrast-enhanced ultrasound detection and treatment guidance in a renal transplant patient with renal cell carcinoma. *Ultrasound Q*, 2009, 25 ( 4 ) : 171-173.
- [ 24 ] Luo W, Zhou X, Ren X, et al. Enhancing effects of SonoVue, a microbubble sonographic contrast agent, on high-intensity focused ultrasound ablation in rabbit livers in vivo. *J Ultrasound Med*, 2007, 26 ( 4 ) : 469-476.
- [ 25 ] Tsuruoka K, Yasuda T, Koitabashi K, et al. Evaluation of renal microcirculation by contrast-enhanced ultrasound with Sonazoid as a contrast agent. *Int Heart J*, 2010, 51 ( 3 ) : 176-182.
- [ 26 ] 刑晋放, 杜联芳, 姜露莹, 等. 移植肾慢性排斥的 SonoVue 超声造影临床研究. *中国医学影像技术*, 2008, 24 ( 5 ) : 728-730.
- [ 27 ] Sharma AK, Tolani SL, Rathi GL, et al. Evaluation of factors causing delayed graft function in live related donor renal transplantation. *Saudi J Kidney Dis Transpl*, 2010, 21 ( 2 ) : 242-245.
- [ 28 ] Ardalan MR, Nasri H, Ghabili K, et al. Acute tubular necrosis after renal allograft segmental infarction: the nephrotoxicity of necrotic material. *Exp Clin Transplant*, 2008, 6 ( 4 ) : 312-314.
- [ 29 ] 叶艺, 龚渭冰, 侯连兵, 等. 超声造影诊断移植肾急性肾小管坏死的实验研究. *中华超声影像学杂志*, 2004, 13 ( 9 ) : 703-706.
- [ 30 ] Kamali K, Abbasi MA, Behzadi AH, et al. Incidence and risk factors of transplant renal artery stenosis in living unrelated donor renal transplantation. *J Ren Care*, 2010, 36 ( 3 ) : 149-152.
- [ 31 ] Bruno S, Remuzzi G, Ruggenenti P. Transplant renal artery stenosis. *J Am Soc Nephrol*, 2004, 15 ( 1 ) : 134-141.
- [ 32 ] Hurair S, Tanimu D, Gorka W. Value of Doppler ultrasound hemodynamics in the assessment of renal artery stenosis in transplanted kidneys: an assessment of patients after percutaneous transluminal angioplasty. *Saudi J Kidney Dis Transpl*, 2001, 12 ( 2 ) : 157-163.
- [ 33 ] 潘晓明, 晨霞. 彩超对肾移植血管并发症的诊断价值. *内蒙古医学杂志*, 2005, 37 ( 1 ) : 47-48.
- [ 34 ] 马穗红, 龚渭冰, 柳建华. 声学造影对移植肾动脉狭窄 AD 定量的实验研究. *中国超声医学杂志*, 2009, 25 ( 6 ) : 542-545.
- [ 35 ] 张艳, 龚渭冰, 罗国新. 移植肾肾动脉狭窄的超声造影定量研究. *临床超声医学杂志*, 2007, 9 ( 4 ) : 202-204.
- [ 36 ] 张峻, 肖茂林, 刘士贵, 等. 环孢素 A 肾中毒诊断与治疗. *柳州医学*, 2008, 21 ( 1 ) : 18-20.
- [ 37 ] 郑克立. *临床肾移植学*. 北京: 科学技术文献出版社, 2006: 195-196.
- [ 38 ] 张凤秀, 张峻, 肖茂林. 彩色多普勒超声监测移植肾环孢素 A 肾中毒的临床价值. *中国超声医学杂志*, 2008, 24 ( 5 ) : 444-446.

(收稿日期: 2010-05-04)

(本文编辑: 吴莹)