

移植肾磁共振成像研究进展

谢媛 综述 卢光明 审校

【摘要】 近年来随着成像技术的进步,磁共振在移植肾中的应用逐渐增多,本文旨在介绍磁共振血管成像、扩散加权成像、磁共振灌注成像、血氧水平依赖成像、磁共振弹性成像在移植肾功能评估及并发症诊断中的应用和价值。

【关键词】 肾移植; 排斥; 肾小管坏死, 急性; 磁共振成像

【中图分类号】 R692.9; R445.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2015)05-0542-03

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2015.05.009

肾移植较透析可显著降低患者治疗费用并且提高患者生存质量,被视为终末期肾病最理想的治疗方法。早期诊断移植肾术后并发症并及时采取有效的治疗措施对延长移植肾存活时间、提高移植肾存活率尤为重要。MRI技术具有多序列、多参数、多方位成像的特点,图像有高对比的软组织分辨力,并且不存在电离辐射的暴露问题。结合功能成像技术,MRI能够同时提供移植肾形态和功能方面的信息,在移植肾术后的功能评估和并发症检测中显示出了巨大的应用潜力。本文就近年来MRI在移植肾的应用进展作一综述。

磁共振血管成像

磁共振血管成像(magnetic resonance angiography, MRA)是MRI在临床上的基本应用之一。最初的磁共振血管成像技术不使用外源性对比剂,主要包括时间飞跃法(time-of-flight, TOF)和相位对比法(phase contrast, PC),构成了最初的非对比增强MR血管成像(non-contrast-enhanced MRA, NCE-MRA)技术。然而早期的NCE-MRA在移植肾血管的应用效果欠佳,小样本研究显示对移植肾动脉狭窄检出的假阳性率较高^[1,2]。

自钆对比剂1994年首次应用于MRA起^[3],随着硬件、软件的不断进步,对比增强MR血管成像(contrast-enhanced MRA, CE-MRA)拥有了较快的扫描速度和优秀的图像质量,迅速成为临床显示血管的常规扫描技术之一,逐步替代了NCE-MRA。Ismael等^[4]研究显示CE-MRA诊断移植肾术后血管并发症与金标准数字减影血管造影(digital subtraction angiography, DSA)有很好的 consistency, Hwang等^[5]将CE-MRA应用于144例移植肾受体,结果显示除了移植肾血管,CE-MRA还可以提供肾实质及肾周集合系统的信息,有助于移植肾功能不全原因的诊断和鉴别诊断。

近年来NCE-MRA再次焕发生机,除了节约成本之外,也考虑到对比剂所产生的安全问题^[6,7]。Lanzman等^[8]将非增强稳态自由进动磁共振血管成像(NCE-steady-state free precession MR angiography, NCE-SSFP MRA)序列与DSA对比,证实了NCE-SSFP MRA是一种可信的血管成像技术。Liu等^[9]的研究也证实NCE-SSFP MRA对移植肾血管的显示质量与CE-MRA相当,对移植肾动脉狭窄的诊断能力也无差异。Tang

等^[10]基于多翻转脉冲空间标记技术(spatial labeling with multiple inversion pulses, SLEEK)的NCE-MRA序列在评估移植肾血管解剖和并发症方面的研究也显示出了良好的应用前景,与DSA有良好的一致性。

扩散加权成像

扩散加权成像(diffusion-weighted imaging, DWI)是目前唯一能在活体检测体内水分子扩散运动的方法,而肾脏的主要功能均与水分子的运动有关,因而扩散特性能对不同病变肾功能变化提供有价值的信息。Thoeny等^[11]首先将DWI应用于移植肾受体成像,证实了移植肾DWI定量参数的可重复性及DWI进一步应用于移植肾功能监测的潜力。随后也有一系列研究继续探索了DWI对移植肾功能监测的意义。Abou-El-Ghar等^[12]研究显示急性移植肾功能受损的患者与术后肾功能正常的受体相比ADC值显著降低。Rheinheimer等^[13]的研究指出扩散参数尤其是ADC值与冷缺血时间显著相关。Eisenberger等^[14]和Vermathen等^[15]在两项研究中均将DWI用于移植肾术后长期随访中,显示出了良好的应用前景。

扩散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)是在DWI基础上发展起来的一种无创MRI技术。水分子在体内组织中的扩散在各个方向上并不相同,例如在肾组织中由于血管及肾小管等解剖结构的存在,水分子的扩散呈各向异性。DTI便是利用水分子扩散的各向异性来评价组织结构的完整性。Hueper等^[16]首次将DTI用于移植肾功能不全的评估,结果显示髓质FA值与正常对照组间存在显著差异,并且髓质平均FA值与移植肾功能显著相关。Lanzman等^[17]在40例移植肾受体中运用DTI技术进行功能评估,结果也显示移植肾功能较差的患者其髓质平均FA值较移植肾功能稳定者明显降低。

磁共振灌注成像

磁共振灌注成像可分为使用外源性示踪剂和内源性示踪剂两类,前者基于快速注射对比剂后的首过效应反映组织血管分布及血流灌注情况;后者的代表是动脉自旋标记(artery spin labeling, ASL)灌注加权成像,使用血液中的氢质子作为内源性示踪剂无创反映组织血流灌注情况。

1. 对比剂首过灌注成像

对比剂首过灌注成像通过检测对比剂首次流经组织时引起的信号强度变化,可计算出其T1或T2*弛豫率变化,组织T1或T2*弛豫率的变化在一定范围内代表组织中对对比剂的浓

作者单位:210002 南京,南京军区南京总医院/南京大学医学院附属金陵医院医学影像科

作者简介:谢媛(1990—),女,江苏如皋人,硕士研究生,主要从事移植肾MRI研究工作。

通讯作者:卢光明, E-mail: luguangming@vip.163.com

度变化,而对比剂的浓度变化则代表血流动力学变化,通过数学模型的计算还可得到组织血流灌注的半定量信息,如组织血流量、血容量和平均通过时间等。Szolar等^[18]的研究显示磁共振灌注成像可用于无创鉴别急性排斥(acute rejection, AR)和急性肾小管坏死(acute tubular necrosis, ATN)。Wentland等^[19]也指出AR髓质血流灌注显著低于ATN患者及正常对照组,进一步证实了MR灌注成像用于无创鉴别急性移植肾功能不全的潜力。Yamamoto等^[20]应用小剂量钆对比剂进行首过灌注成像,也达到了较好地鉴别AR、ATN、正常移植肾的效果,进一步降低了对比剂对移植肾功能的影响。

2. 动脉自旋标记灌注加权成像

ASL的基本原理是在扫描容积上方标记磁性质子,当磁性标记的质子流入成像组织时可改变容积内组织的T1值,得到变化后的T1标记图像,然后将标记图像与原始图像减影,即得到反映组织灌注的图像。这种方法的优点是无需对比剂,可对移植肾灌注情况进行反复测定、长期随访。Lanzman等^[21]首次将ASL应用于移植肾血流灌注的评估,结果显示功能受损的移植肾皮质血流灌注明显低于正常移植肾。Artz等^[22]则指出ASL对不同功能水平的原位肾和移植肾的皮质灌注显像重复性很好,而在髓质灌注显像中重复性相对较差。Heusch等^[23]将ASL用于98例移植肾受体的灌注成像,结果显示皮质灌注在不同功能水平移植肾之间存在显著差异,皮质灌注与eGFR显著相关。这些数据显示在ASL中,皮质灌注信息较髓质更具价值。

血氧水平依赖成像

血氧水平依赖(blood oxygen level dependent, BOLD)成像技术最先是由Ogawa等^[24]于1990年提出,基于逆磁性的氧合血红蛋白脱氧后变成顺磁性的去氧血红蛋白这一事实,研究者发现血液中顺磁性分子的存在使血管和周围组织产生磁化率差异,在高场强下运用梯度回波序列检测这种差异即产生了血氧水平依赖的增强效应。

自2005年Sadowski等^[25]将该技术首次应用到移植肾后,已有一系列研究探讨了BOLD对移植肾氧合状态的显示情况。有数项研究都探讨了BOLD用于鉴别AR和ATN的可行性^[25-30]。Djamali等^[30]和Sadowski等^[25,26]的三项研究均发现在移植后的4个月内,AR、ATN患者与正常受体相比尽管髓质血流下降,但髓质氧合水平升高,皮质含氧量组间无明显差异。在Han等^[31]的研究中,AR患者皮髓质含氧量均较正常受体上升,髓质尤为明显,而ATN患者表现为含氧量下降。另一项研究指出AR患者与正常受体、健康志愿者相比皮髓质含氧量均上升^[29]。这些数据显示AR患者与正常受体相比髓质氧合上升,而皮质含氧量的变化各研究之间并不一致。而在慢性移植肾肾病患者中,皮髓质含氧量均较健康志愿者升高,并且皮髓质含氧量与氧化应激相关标志物相关^[32]。

磁共振弹性成像

弹性是组织固有的一种物理特性,人体各组织的弹性模量存在差异,组织的弹性特征可受病理改变的影响,例如纤维化、炎症、肿瘤等。磁共振弹性成像(magnetic resonance elastography, MRE)是一种新型的无创定量测量组织弹性特征的成像方

法,其基本原理是利用磁共振技术显示人体的组织或器官在外力作用下产生的质点位移,通过运动敏感梯度获得相位图像,以此为基础通过对弹性力学的逆行求解,得出组织或器官内部各点的弹性系数的分布图,并以组织或器官的弹性力学参数作为医学诊断的依据。

目前关于MRE的研究已覆盖全身多种器官,其最重要的临床应用之一在于无创评估肝脏纤维化^[33,34]。Lee等^[35]对11例肾移植术后患者进行了MRE检查,通过与肾穿刺活检结果相比较,显示中度肾实质纤维化患者与轻度纤维化患者相比,组织硬度有增高趋势,但差异无统计学意义,提示MRE技术具有无创评估移植肾纤维化及炎症的潜力。目前针对移植肾的MRE成像研究较少,仍需进一步的临床试验探讨MRE在移植肾功能评估、并发症诊断中的价值。

综上所述,MRI在移植肾功能评估及并发症监测中具有广泛的应用前景。尽管目前受软硬件普及、技术推广等方面的限制,移植肾MRI的临床应用尚未广泛开展,但随着软硬件的不断开发、标准操作程序的制定和推广,有理由相信MRI结合各种常规和新型成像技术的优点,必将在移植肾的基础和临床研究中发挥更为重要的作用。

参考文献:

- [1] Smith HJ, Bakke SJ. MR angiography of in situ and transplanted renal arteries. Early experience using a three-dimensional time-of-flight technique[J]. Acta Radiol, 1993, 34(2): 150-155.
- [2] Loubeyre P, Cahen R, Grozel F, et al. Transplant renal artery stenosis. Evaluation of diagnosis with magnetic resonance angiography compared with color duplex sonography and arteriography[J]. Transplantation, 1996, 62(4): 446-450.
- [3] Prince MR. Gadolinium-enhanced MR aortography[J]. Radiology, 1994, 191(1): 155-164.
- [4] Ismael MM, Abdel-Hamid A. Role of high resolution contrast-enhanced magnetic resonance angiography (HR CeMRA) in management of arterial complications of the renal transplant[J]. Eur J Radiol, 2011, 79(2): e122-e127.
- [5] Hwang JK, Chun HJ, Kim JM, et al. Contrast-enhanced magnetic resonance angiography in the early period after kidney transplantation[J]. Transplant Proc, 2013, 45(8): 2925-2930.
- [6] Rydahl C, Thomsen HS, Marckmann P. High prevalence of nephrogenic systemic fibrosis in chronic renal failure patients exposed to gadodiamide, a gadolinium-containing magnetic resonance contrast agent[J]. Invest Radiol, 2008, 43(2): 141-144.
- [7] Sadowski EA, Bennett LK, Chan MR, et al. Nephrogenic systemic fibrosis: risk factors and incidence estimation[J]. Radiology, 2007, 243(1): 148-157.
- [8] Lanzman RS, Voiculescu A, Walther C, et al. ECG-gated nonenhanced 3D steady-state free precession MR angiography in assessment of transplant renal arteries: comparison with DSA[J]. Radiology, 2009, 252(3): 914-921.
- [9] Liu X, Berg N, Sheehan J, et al. Renal transplant: nonenhanced renal MR angiography with magnetization-prepared steady-state free precession[J]. Radiology, 2009, 251(2): 535-542.
- [10] Tang H, Wang Z, Wang L, et al. Depiction of transplant renal vascular anatomy and complications: unenhanced MR angiography by using spatial labeling with multiple inversion pulses[J].

- Radiology, 2014, 271(3):879-887.
- [11] Thoeny HC, Zumstein D, Simon-Zoula S, et al. Functional evaluation of transplanted kidneys with diffusion-weighted and BOLD MR imaging: initial experience [J]. Radiology, 2006, 241(3):812-821.
- [12] Abou-El-Ghar ME, El-Diasty TA, El-Assmy AM, et al. Role of diffusion-weighted MRI in diagnosis of acute renal allograft dysfunction: a prospective preliminary study [J]. Br J Radiol, 2012, 85(1014):e206-e211.
- [13] Rheinheimer S, Schneider F, Stieltjes B, et al. IVIM-DWI of transplanted kidneys: reduced diffusion and perfusion dependent on cold ischemia time [J]. Eur J Radiol, 2012, 81(9):e951-e956.
- [14] Eisenberger U, Binser T, Thoeny HC, et al. Living renal allograft transplantation: diffusion-weighted MR imaging in longitudinal follow-up of the donated and the remaining kidney [J]. Radiology, 2014, 270(3):800-808.
- [15] Vermathen P, Binser T, Boesch C, et al. Three-year follow-up of human transplanted kidneys by diffusion-weighted MRI and blood oxygenation level-dependent imaging [J]. J Magn Reson Imaging, 2012, 35(5):1133-1138.
- [16] Hueper K, Gutberlet M, Rodt T, et al. Diffusion tensor imaging and tractography for assessment of renal allograft dysfunction-initial results [J]. Eur Radiol, 2011, 21(11):2427-2433.
- [17] Lanzman RS, Ljimini A, Pentang G, et al. Kidney transplant: functional assessment with diffusion-tensor MR imaging at 3T [J]. Radiology, 2013, 266(1):218-225.
- [18] Szolar DH, Preidler K, Ebner F, et al. Functional magnetic resonance imaging of human renal allografts during the post-transplant period: preliminary observations [J]. Magn Reson Imaging, 1997, 15(7):727-735.
- [19] Wentland AL, Sadowski EA, Djamali A, et al. Quantitative MR measures of intrarenal perfusion in the assessment of transplanted kidneys: initial experience [J]. Acad Radiol, 2009, 16(9):1077-1085.
- [20] Yamamoto A, Zhang JL, Rusinek H, et al. Quantitative evaluation of acute renal transplant dysfunction with low-dose three-dimensional MR renography [J]. Radiology, 2011, 260(3):781-789.
- [21] Lanzman RS, Wittsack HJ, Martirosian P, et al. Quantification of renal allograft perfusion using arterial spin labeling MRI: initial results [J]. Eur Radiol, 2010, 20(6):1485-1491.
- [22] Artz NS, Sadowski EA, Wentland AL, et al. Reproducibility of renal perfusion MR imaging in native and transplanted kidneys using non-contrast arterial spin labeling [J]. J Magn Reson Imaging, 2011, 33(6):1414-1421.
- [23] Heusch P, Wittsack HJ, Blondin D, et al. Functional evaluation of transplanted kidneys using arterial spin labeling MRI [J]. J Magn Reson Imaging, 2014, 40(1):84-89.
- [24] Ogawa S, Lee TM, Kay AR, et al. Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation [J]. Proc Natl Acad Sci USA, 1990, 87(24):9868-9872.
- [25] Sadowski EA, Fain SB, Alford SK, et al. Assessment of acute renal transplant rejection with blood oxygen level-dependent MR imaging: initial experience [J]. Radiology, 2005, 236(3):911-919.
- [26] Sadowski EA, Djamali A, Wentland AL, et al. Blood oxygen level-dependent and perfusion magnetic resonance imaging: detecting differences in oxygen bioavailability and blood flow in transplanted kidneys [J]. Magn Reson Imaging, 2010, 28(1):56-64.
- [27] Liu G, Han F, Xiao W, et al. Detection of renal allograft rejection using blood oxygen level-dependent and diffusion weighted magnetic resonance imaging: a retrospective study [J]. BMC Nephrol, 2014, 15(1):155-158.
- [28] Park SY, Kim CK, Park BK, et al. Evaluation of transplanted kidneys using blood oxygenation level-dependent MRI at 3T: a preliminary study [J]. AJR, 2012, 198(5):1108-1114.
- [29] Xiao W, Xu J, Wang Q, et al. Functional evaluation of transplanted kidneys in normal function and acute rejection using BOLD MR imaging [J]. Eur J Radiol, 2012, 81(5):838-845.
- [30] Djamali A, Sadowski EA, Samaniego-Picota M, et al. Noninvasive assessment of early kidney allograft dysfunction by blood oxygen level-dependent magnetic resonance imaging [J]. Transplantation, 2006, 82(5):621-628.
- [31] Han F, Xiao W, Xu Y, et al. The significance of BOLD MRI in differentiation between renal transplant rejection and acute tubular necrosis [J]. Nephrol Dial Transplant, 2008, 23(8):2666-2672.
- [32] Djamali A, Sadowski EA, Muehrer RJ, et al. BOLD-MRI assessment of intrarenal oxygenation and oxidative stress in patients with chronic kidney allograft dysfunction [J]. Am J Physiol Renal Physiol, 2007, 292(2):F513-F522.
- [33] Yin M, Talwalkar JA, Glaser KJ, et al. Assessment of hepatic fibrosis with magnetic resonance elastography [J]. Clin Gastroenterol Hepatol, 2007, 5(10):1207-1213.
- [34] Huwart L, Sempoux C, Salameh N, et al. Liver fibrosis: noninvasive assessment with MR elastography versus aspartate aminotransferase-to-platelet ratio index [J]. Radiology, 2007, 245(2):458-466.
- [35] Lee CU, Glockner JF, Glaser KJ, et al. MR elastography in renal transplant patients and correlation with renal allograft biopsy: a feasibility study [J]. Acad Radiol, 2012, 19(7):834-841.

(收稿日期:2015-03-10)