

综述

超快速动态对比增强MRI在乳腺疾病诊断中的研究进展

邝铭伟 许茜*

河北医科大学第四医院CT磁共振科

(河北石家庄 050011)

【摘要】超快速动态对比增强MRI(ultrafast MRI)是近年来发展的一项新技术,相较于传统乳腺常规DCE-MRI,以高时间分辨率捕捉造影剂的早期快速流入,获取早期的动力学信息,来更好的来鉴别乳腺良恶性病变。本文在ultrafast MRI的成像原理、优劣势、鉴别乳腺良恶性病变方面的进展及其未来发展趋势进行了综述。

【关键词】磁共振成像;
超快速磁共振动态对比增强MRI;
乳腺良恶性病变

【中图分类号】R445.2

【文献标识码】A

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.11.055

Research Progress of Ultra-fast Dynamic Contrast Enhanced MRI in the Diagnosis of Breast Diseases

Qi Ming-wei, XU Qian*

Department of CT/MRI, Hebei Medical University Fourth Affiliated Hospital, Shijiazhuang 050011, Hebei Province, China

ABSTRACT

Ultrafast dynamic contrast enhanced MRI (ultrafast MRI) is a new technology developed in recent years. Compared with conventional breast DCE-MRI, ultrafast MRI captures the early rapid inflow of contrast agent with high temporal resolution and acquires early dynamic information to better identify benign and malignant breast lesions. In this paper, the imaging principle, advantages and disadvantages of ultrafast MRI, the identification of benign and malignant breast lesions and its future development trend are reviewed.

Keywords: Magnetic Resonance Imaging; Ultra-fast Magnetic Resonance Dynamic Contrast Enhanced MRI; Benign and Malignant Breast Lesions

近年来,乳腺癌的发病率不断上升,其发病率已居女性恶性肿瘤首位。世界卫生组织国际癌症研究机构(IARC)所发布的2020年全球最新癌症负担数据中,乳腺癌新发226万例,远超女性其他癌症类型。在我国,2020年新发乳腺癌患者高达42万例,新发病例数位居全球第一^[1],乳腺癌严重威胁女性生命健康与安全。目前,乳腺癌常规影像检查主要包括超声成像、钼靶X线摄影和乳腺磁共振成像,相较于其他两项检查,磁共振成像软组织分辨率高,可进行多方位、多序列成像,无电离辐射,可行动态增强扫描,打破了单一形态学的疾病诊断模式,对疾病进行定量、定性分析,提供更加精准的诊断信息以评估治疗效果及提示预后^[2]。但是,传统的乳腺常规DCE-MRI包括诸如高检查成本和冗长的检查时间等障碍,使得其在筛查环境中的使用具有挑战性。超快速动态对比增强MRI(ultrafast MRI)是一种新颖的序列,用于以高时间分辨率(通常 $\leq 6-7$ 秒)捕捉早期造影剂的快速流入,并在前2分钟内快速连续成像,以呈现早期阶段的动力学曲线。

1 ultrafast MRI成像原理

在常规DCE-MRI中,肿瘤的强化在早期达到峰值(1-2分钟),而肿瘤的显著性由于进入延迟阶段而降低,从而呈现出经典的3型动力学曲线。ultrafast MRI在提高时间分辨率的基础上,来最大限度地提高肿瘤的显著性,从而对乳腺病变进行快速的诊断。在2014年,Manojkumar等人^[3]提出了一种新的高时间、空间分辨率的多期动态对比增强成像方法-DISCO序列,DISCO序列(differential Subsampling with Cartesian Ordering)整合了3D双回波扰相梯度回波序列和伪随机可变密度K空间分割,对于K空间中心区域按照椭圆的轨迹进行每次采样,对于周围区域随机欠采样,空间分辨率为 $1.1 \times 1.1 \times 1.2 \text{mm}^3$,时间分辨率为9s,可用于捕捉肿瘤的早期快速强化,ultrafast MRI应运而生。ultrafast MRI技术使用了各种方法,包括并行成像,视图共享和压缩感知。其中,视图共享技术包括时间分辨交叉随机轨迹成像(time-resolved angiography with interleaved stochastic trajectories, TWIST)技术、黄金角径向稀疏并行采样技术(golden angle radial sparse parallel, GRASP)、时间分辨对比剂动态成像(time-resolved imaging of contrast kinetics, TRICKS)技术及4D锁孔时间分辨率血管成像(4D time-resolved MR angiography with keyhole, 4D-TRAK)技术等^[4]。ultrafast MRI通过一些半定量及定量参数如最大斜率[MS]、初始增强率[ER]、推注到达时间[BAT]等来反映病变早期半定量及定量学特征。

2 ultrafast MRI优势

ultrafast MRI在增强后早期提高了恶性病变的显著性,并可以提高对致密型乳腺中病灶的检测能力。有文献提出^[5],大多数乳腺癌在造影剂到达主要血管后10秒内开始增强,而良性病变平均在随后15秒开始增强。与传统的延迟动力学相比,早期动力学信息对良性和恶性病变具有更大的区分能力。ultrafast MRI可以在晚期增强的良性病变对对比剂完全摄取之前检测到早期快速增强的恶性病变。另外,由于肿瘤强化通常在120秒内达到峰值,背景实质强化(BPE)在大约300秒达到峰值^[2],因此ultrafast MRI还可在早期区分癌症和背景实质强化。并且在最近的多项研究中,与常规的DCE-MRI相比,ultrafast MRI越来越多地用于筛查。

3 ultrafast MRI在诊断乳腺病变中的应用

3.1 ultrafast MRI对鉴别乳腺良恶性病变的价值 目前,已经有多项研究从不同角度

【第一作者】邝铭伟,女,硕士研究生,主要研究方向:乳腺肿瘤影像诊断。E-mail: qimingwei18@163.com

【通讯作者】许茜,女,主任医师。主要研究方向:乳腺及呼吸系统肿瘤影像诊断、术前分期及疗效评估。E-mail: xuqianhb@sina.com

表明,ultrafast MRI在鉴别乳腺良恶性病变方面具有重大意义。曹颖等人^[6]纳入142名乳腺肿瘤患者共150个良恶性病变,通过测量ultrafast MRI半定量参数(MS, TTP, TTE, iAUC)、定量参数(K^{trans} , K_{ep} , V_e)以及ADC值,发现乳腺恶性病变较乳腺良性病变具有更低的ADC、TTE、TTP、 V_e 以及更高的MS、 K^{trans} 、 K_{ep} ,研究还发现ultrafast MRI半定量多参数和ADC值组合的AUC显著优于ultrafast MRI半定量多参数和定量多参数($P=0.014$ 和 <0.001),并且敏感性也得到了显著提高。这表明ultrafast MRI联合DWI在鉴别乳腺良恶性病变方面较单用ultrafast MRI发挥出了更大的诊断价值。Natsuko等人^[7]研究发现,ultrafast MRI有助于区分亚厘米级癌与良性病变。与良性病变相比,亚厘米级癌表现出明显更大的MS和SER,以及更短的BAT。其中,MS、BAT被确定为亚厘米级癌的显著预测因素。这项研究对诊断较小的乳腺病变提供了理论依据。

另外,人工智能(artificial intelligence, AI)技术在临床及影像领域得到了广泛的应用。近年来,AI影像辅助诊断系统在快速定位病灶,减少漏诊误诊方面发挥了巨大的作用,与医师人工阅片模式相结合,在图像采集、重构、切割、构建预期模型及核实等步骤中,协助识别病变的特征,提高病变检测灵敏度,降低假阳性率,在病变分类方面具有相当大的潜力。目前,在肺^[8]、肝脏^[9]、骨骼^[10]等器官的病变诊断方面提供了巨大帮助。Mehmet等人^[11]通过使用深度学习和随机森林算法,与ultrafast MRI相结合,对影像信息进行提取,并对乳腺病变进行分类,发现AI与多参数ultrafast MRI相结合的AUC高于单独使用ultrafast MRI($P=0.002$)。

3.2 ultrafast MRI对乳腺癌分子分型的预测价值 Sung等人^[12]研究了ultrafast MRI增强时间(TTE)与组织病理学特征之间是否存在相关性,根据肿瘤大小、组织学类型、组织学分级、肿瘤亚型和Ki-67表达水平,比较了TTE、MS和SER的中位数。结果显示,浸润性癌的TTE短于原位癌,大于2cm肿瘤的TTE短于小于2cm的肿瘤。高级别癌症的TTE短于中低级别癌症。HER2阳性癌的TTE短于HER2阴性癌。Ki-67表达水平高的TTE比Ki-67表达水平低的癌症短,而MS和SER的中位数值并无差异。另外, Sorin等人^[13]研究发现病变大小、MS值以及ME是导管原位癌组织学升级为侵袭性癌症的预测因素。三阴性乳腺癌(TNBC)是一种高度增殖的癌症亚型。在癌组织中,ER、PR和Her2三种受体均表达阴性^[14]。有研究表明^[15],程序性死亡受体配体-1(programmed death-ligand-1, PD-L1)在TNBC病人中的表达水平与活性明显高于其他乳腺癌亚型,表明TNBC具有强免疫源性,可适用于抗PD-L1治疗。Akane等人^[16]通过研究ultrafast MRI的动力学参数最大斜率(MS)和增强时间(TTE)、ADC值、病变大小以及ultrafast MRI和早期常规DCE-MRI的病灶边缘强化率来预测TNBC,并且评估了TNBC患者程序性死亡受体配体1(PD-L1)的表达状态。研究发现TNBC比非TNBC的MS更高, TTE更低,病变尺寸更大, TNBC的边缘强化率高于非TNBC。并且ultrafast MRI的动力学参数MS和早期常规DCE-MRI的边缘强化率相结合,可以用于识别以肿块形式出现的TNBC。与不表达PD-L1的TNBC病变相比,表达PD-L1的TNBC病变具有较高的边缘强化率和较低的MS。这项研究对于三阴性乳腺癌的诊断及治疗提供了理论依据。

3.3 ultrafast MRI对乳腺癌新辅助治疗疗效及预后的预测价值微血管密度(MVD)是衡量新血管形成或血管分布的指标,有研究表明, MVD与转移风险、预后和新辅助化疗^[17]的有效性相关,在新辅助化疗期间评估MVD被认为是治疗有效的重要标志。在新辅助化疗期间评估MVD来判断治疗的有效性非常重要。Naoko^[18]等人采用了ultrafast MRI并结合经验数学模型(EMM)来分析乳腺癌病灶的动态增强曲线。使用经验数学模型中的参数与组织学微血管密度进行相关性分析,以评估乳腺癌组织中的微血管密度。结果显示, EMM参数与MVD显著相关,这表明ultrafast MRI可准确评估乳腺癌血管生成情况。

Margaux等人^[19]研究了ultrafast MRI半定量参数最大斜率(MS)与癌症临床参数和常规预后因素的关系,发现MS值随着BMI的增加、患者处于绝经状态以及ER表达阳性状态而降低,并随

着肿瘤大小的增加而增加。新辅助化疗(NAC)是对乳腺癌患者手术前进行的全身化疗^[20],用于控制原发性乳腺癌,可以缩小病变的大小,增加保乳机会,提高乳腺癌手术率。Erina等人^[21]通过评价ultrafast MRI对癌症新辅助化疗(NAC)后残留病变大小的诊断价值,发现ultrafast MRI可能强烈提示残余疾病的存在,并有效评估残余浸润性导管癌(IDC)的扩展。Jin等人^[22]研究发现,ultrafast MRI衍生的早期动力学参数如TTE和MS,与乳腺癌患者的组织病理学预后因素相关。

3.4 ultrafast MRI对乳腺癌淋巴结转移价值淋巴结状态是乳腺癌预后的重要因素之一,对指导局部和全身治疗决策至关重要。然而,乳腺前哨淋巴结活检(SLNB)的评估效率低,是一种侵入性手术,容易引发手术相关并发症。为了提高诊断准确性,已经报道了各种成像技术。尽管有关ultrafast MRI对术前淋巴结转移提示的研究报道较少,但目前已有文献报道了ultrafast MRI诊断腋窝淋巴结转移的可行性^[23],文章基于淋巴结与原发肿瘤的同源性即增大的淋巴结与原发乳腺癌病变早期增强模式相类似。一名被诊断为浸润性乳腺癌的74岁女性,左侧腋窝有一枚短径为8mm的稍大淋巴结。在超声图像上表现出皮质增厚,在F18-FDG PET/CT上的显像剂积聚不明显,难以诊断其是否转移。细针穿刺活检(FNA)检查结果也无法确定是否为淋巴结转移。而在ultrafast MRI扫描中其表现出显著强化的特征,根据这一结果进行了超声引导下的淋巴结粗针穿刺活检(CNB),术前诊断为淋巴结转移。这项研究表明了ultrafast MRI在评估原发性乳腺癌病变和诊断淋巴结转移方面的潜在用途。然而,仍需要更多的研究来证实其临床应用的可靠性。

4 局限性

虽然多项研究报告称,与传统的DCE-MRI相比,ultrafast MRI衍生的动力学参数在鉴别恶性肿瘤方面具有同等或更好的诊断能力,但是在大多数形式的ultrafast MRI中,时间分辨率的提高是以空间分辨率降低为代价的,很难做到两者的绝对平衡。另外,低级别的导管原位癌及某些小叶癌强化较慢,在早期不能完全显著强化,这就导致在早期诊断时,会漏掉一些恶性病变。相反,一些良性病变如炎性病变,在早期便呈现出显著强化的特征,有时难以与恶性病变相区分,需要活检及病理最终确诊。

5 展望

目前,文献报道的实现乳腺ultrafast MRI大多使用TWIST技术,而对于GRASP技术报道较少。GRASP技术基于梯度回波脉冲序列,采用径向“星堆叠”k空间采样^[24]和黄金角排序^[25],具有更高的时间分辨率,强化曲线更加平滑,曲线所能展示的信息更加详细。GRASP序列本身具有防运动伪影的作用,因此可以克服胸壁呼吸的影响,特别是近胸壁肿瘤。VIBE(volume interpolated breath hold examination)为容积内插屏气的体部MRI检查序列,实质是三维容积内插快速扰相GRE T1WI序列。Laura等人^[26]通过将GRASP序列与VIBE序列进行比较,发现GRASP序列在乳腺病变评估方面的性能与传统的VIBE成像几乎相当。而GRASP-VIBE序列联合了压缩感知、并行采集和黄金角径向采样技术,可以在患者自由呼吸状态下进行数据采集^[27],以Star-vibe序列为原型,进一步增加了运动的稳定性。既往研究表明,GRASP-VIBE序列可用于肝脏^[27]、头颈^[28]、前列腺^[29]、肠道^[30]、肺^[31]等多个器官的DCE-MRI研究。

根据2013年第5版乳腺影像报告与数据系统(Breast Imaging Reporting and Data System)^[32],DCE-MRI时间信号曲线分为三种类型:I型为流入型,随时间的延长而继续强化,且大于早期强化最高点的10%;II型为平台型,随时间推移呈平台改变,如有轻度升高或流出,则变化在早期强化最高点上下10%范围之内;III型为流出型,强化达峰值后信号强度迅速下降范围大于峰值10%以上。I型病灶倾向于良性,II型病灶的性质不能确定,III型病灶通常为恶性。对于II型病灶,若能利用ultrafast MRI在早期鉴别其良恶性,则有可能降低术前活检的几率,有利于指导

