

磁共振超短回波时间序列在肺结构及功能成像中的研究进展

沙茹玉 徐志广

皖南医学院第二附属医院放射科 安徽 芜湖 241000

摘要: 磁共振成像是CT的无辐射检查的替代方式,肺部磁共振成像一直是临床研究重点。超短回波时间(UTE)序列作为目前最广泛关注的肺部磁共振成像技术,随着科学技术的进步,UTE MRI结合功能成像在肺纤维化、肺部感染及结节诊断及纵向研究中具有重要价值。具有本文主要对UTE成像技术在肺结构及功能成像中的应用及研究进展进行综述。

关键词: 超短回波时间序列; 磁共振成像; 结构成像; 功能成像

肺磁共振成像与常规磁共振成像相比存在较大的技术挑战。其一,肺是机体完成气体交换的器官,肺泡结构中的空气与肺组织之间进行不断的气体交换,从而影响磁场的均匀性,导致图像信噪比减低;其二,肺组织的质子密度低,从而导致横向弛豫(T2WI)时间短,在常规的磁共振成像序列中无法对其进行编码,呈现低信号或无信号。其三,图像采集时间长,心脏及呼吸运动伪影较重。然而,人们越来越认识到,X射线及CT可以使患者暴露在足够高剂量的电离辐射下,从而增加癌症风险,特别是在纵向研究和儿科人群中,对于5岁以下的患者,每个胸部CT的平均肺部剂量为10 mGy,预计该年龄组女孩和男孩的每360次和每1200次胸部CT扫描将分别导致一例放射性实体癌症^[1]。超短回波时间序列从提出到现在经历了20多年的发展,是针对短T2组织开发的一种成像技术,在扫描仪硬件、软件进步和序列优化的技术发展过程中,经历了一次复兴。本文就目前超短回波时间磁共振成像技术在肺结构及功能成像中的研究现状进行综述。

1 肺结构成像技术

2D UTE序列与3D UTE序列都是由两个带有相反层面选择梯度的半sinc函数射频脉冲激发后,立刻采集自由衰减信号,无需对射频脉冲进行相位编码,从而可以缩短TE时间,从而降低短T2组织的信号损失,实现快速采集;两个半脉冲的回波信号叠加在一起填充成一条K空间线,采用径向方式填充K空间,并且从K空间中心开始数据采集。3D UTE优于2D UTE,因为它提供了更高的和各向同性的空间分辨率,完整的胸部覆盖和更少的运动伪影^[2]。除了缩短TE时间外,还应该考虑呼吸运动对肺部磁共振成像的影响。在自由呼吸期间,肺UTE采集

最常采用呼吸门控在下屏气期间进行图像采集,而对于慢性呼吸系统疾病和呼吸困难患者或者儿童不配合的情况下,导致图像质量较差。有研究学者将VIBE(Volume Interpolated Breath-Hold Examination)成像技术应用到UTE序列中去,与传统UTE-MRI序列相比该技术联合了压缩感知和黄金角径向采样,能够在自由呼吸状态下进行连续的数据采集,同时具有根据临床需要重建任意时间分辨率图像的特点^[3]。因此,对即便是不能屏气或屏气效果差的患者,采用该技术也可以良好成像。

2 肺功能成像

2.1 超极化气体¹²⁹Xe

¹²⁹Xe为外源性惰性气体,具有生物组织安全性,并且在肺组织和血液中具有较高的溶解度,因此超极化¹²⁹Xe MRI技术在生物医学领域具有显著优势。自从1997年Mugler教授等人得到人体肺部的首幅超极化¹²⁹Xe MRI图像以来,超极化¹²⁹Xe技术在人体肺部MRI探测中发展迅速。正由于超极化气体¹²⁹Xe弥补了普通肺部¹H MRI信号低的缺点,可以对肺部的通气功能进行的可视化评估。而更重要的是超极化¹²⁹Xe气体进入肺泡后,可部分溶解于肺组织、血浆和红细胞,三种信号的化学位移不同,并且存在动态交换,可以对肺换气功能的进行评估^[4]。杨昊等人证实了人肺超极化¹²⁹Xe MRI的可行性和安全性,并与计算机断层扫描相比,¹²⁹Xe MRI对早期和较小的通气缺陷敏感,同时¹²⁹Xe MRI信号的分布反映了肺对重力梯度的顺应性^[5]。谢军帅研究发现超极化¹²⁹Xe MRI图像不仅发现了两肺下叶的通气缺陷区域,也可以发现双肺上叶的通气缺陷区域以及气管痉挛引起的通气受阻情况。说明人体肺部超极化¹²⁹Xe MRI成像不仅能够发现CT异常区域,也能发现CT无法观测的通气功能受损区域。

2.2 氧增强MRI技术

由于改进的UTE技术,氧增强(Oxygen-enhanced, OE)磁共振最近也取得了进展。OE-MRI通过采集两组T1加权图像来工作,一组在常氧呼吸期间,另一组在高氧呼吸期间。由于氧分子的顺磁效应,氧浓度增加会导致组织和血液中的T1缩短,从而突出氧合增加的区域^[6]。这些方法通常使用2D反转恢复序列和快速自旋回波序列来实现肺部的T1WI对比度,其中T1恢复时间取决于氧分压(PO_2)。因此,常氧和无高氧呼吸之间的T1变化可用于可视化肺组织和血液中 PO_2 的区域变化,这些变化对应于区域通气和血液体积。OE-MRI与FSE序列比较主要的劣势在于覆盖范围有限和扫描时间长。3D UTE采集与OE-MRI的结合通过提高SNR来减轻这些限制,同时提供全肺覆盖和降低心脏运动敏感性^[7]。OE-MRI的功能成像与UTE的结构成像,可以为间质纤维化结构异常及功能损坏严重程度提供一个可视化方法。

3 UTE MRI 序列的应用

3.1 肺间质纤维化

肺间质纤维化是原因不明的、慢性、进展性纤维化疾病,也是慢性进行性肺病死亡的主要原因,此类患者病情评估对治疗方案具有重要意义。全肺功能检测是间质纤维化中最常用的纵向评估方法,肺活量百分比(FVC%p)、预测一氧化碳肺部扩散能力百分比(DLco%p)检测已被证明与生存率相关,但DLco%p主要用于分期而不是进展。已知IPF表现在肺基部和外周部分,因此肺磁共振结构及功能成像弥补了临床检查方法的空白。A.D.Hahn等人研究发现IPF进展者的与非进展组相比,疾病进展者的CT结构正常表现区域的红细胞/屏障比率降低(0.21 ± 0.07 与 0.28 ± 0.05 ; $P = 0.01$),但肺基底部及外周部纤维化区域没有降低,说明肺内的非纤维化区域存在气体转移的差异^[8]。

3.2 肺部感染

研究证明,UTE MRI成像在诊断肺部感染、炎症和脓肿等方面是可行的^[9]。Ozcan HN等人研究证明UTE MRI成像在检测免疫力低下儿童肺部感染方面与CT相当,仅在描绘病变 < 3 mm方面较差,并认为在评估免疫功能低下儿童(避免进一步放射损伤)的肺炎时,MRI可以被认为是CT的无辐射替代方法^[10]。J. Geiger等研究认为3D UTE序列在检测小结节或实变方面优于其他标准MRI序列,在伴有空洞、脓肿形成、坏死或胸膜脓胸的复杂肺炎中,MRI的准确性与CT相似^[11]。Fauveau V等人最近的一项研究表明,UTE MRI成像在显示COVID-19肺炎变化方面具有与CT诊断具有较高的一致性,并可作为不同的肺

部疾病成像提供有价值信息,包括对冠状病毒病后病变的评估^[12]。J.T.Grist比较了新冠肺炎感染后住院治疗患者与非住院治疗患者两个月后的肺功能变化,两组虽然肺部CT表现正常,但非住院治疗患者和住院治疗患者存在超级化 ^{129}Xe MRI肺扫描和平均红细胞/组织血浆比率异常,且NHLC组可见较PHC组具有更低的气体交换率。因此,肺部UTE MRI成像作为CT的一种无辐射替代方法,可以更频繁地作为肺部感染患者的随访工具,尤其在儿童群体当中。

结束语

综上所述说明了超短回波时间磁共振成像技术成像在评估肺部疾病方面的能力,MRI成像在许多肺部疾病综合研究中具有不可忽略的地位,特别是对青少年患者避免不必要的辐射诊断当中。3D UTE MRI方法在临床研究领域显示出巨大的前景,但还需要进一步的技术进步,从而越来越多的走进临床诊断当中。

参考文献

- [1] Miglioretti DL, Johnson E, Williams A, et al. The Use of Computed Tomography in Pediatrics and the Associated Radiation Exposure and Estimated Cancer Risk[J]. *Jama Pediatr* 2013, 167(8): 700-707.
- [2] Liszewski MC, Ciet P, Lee EY. MR imaging of lungs and airways in children: past and present[J]. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 2019, 27(2): 201-25.
- [3] Darot E, Delacoste J, Dunet V, et al. Lung MRI assessment with high-frequency noninvasive ventilation at 3 T[J]. *Magn Reson Imaging*, 2020, 74: 64-73.
- [4] 杨昊,王科,涂宁,张会婷,吴光耀,周欣.超极化 ^{129}Xe 人体肺部磁共振成像[J]. *武汉大学学报(医学版)*, 2017, 38(04): 582-586.
- [5] 谢军帅. 人体肺部结构与功能的超极化 ^{129}Xe 磁共振定量研究. In: 中国科学院大学(中国科学院武汉物理与数学研究所), 2019.
- [6] Kruger S, Fain S, Johnson K, et al. Oxygen-enhanced 3D radial ultrashort echo time magnetic resonance imaging in the healthy human lung[J]. *NMR Biomed*, 2014, 27(12): 1535-1541.
- [7] Martini K, Gyax C, Benden C, et al. Volumetric dynamic oxygen-enhanced MRI (OE-MRI): comparison with CT Brody score and lung function in cystic fibrosis patients[J]. *Eur Radiol*, 2018, 28(10): 4037-4047.
- [8] Hahn A, Carey K, Barton G, et al. Hyperpolarized ^{129}Xe MR Spectroscopy in the Lung Shows 1-year Reduced

Function in Idiopathic Pulmonary Fibrosis[J].Radiology,2022, 305(3): 688-696.

[9] Liszewski MC, Grkem S, Sodhi KS, et al. Lung magnetic resonance imaging for pneumonia in children[J]. Pediatr Radiol,2017, 47(11): 1420-1430.

[10] Jga B, Kgzc D, Ajb E, et al. Clinical application of ultrashort echo-time MRI for lung pathologies in children[J]. Clin Radiol, 2021, 76(9): 708.e9-708.e17.

[11] Fauveau V,Jacobi A,Bernheim A,et al.Performance of spiral UTE-MRI of the lung in post-COVID patients[J]. Magn Reson Imaging, 2023,96: 135-143.

[12] Grist James T,Collier Guilhem J,Walters Huw et al. Lung Abnormalities Detected with Hyperpolarized Xe MRI in Patients with Long COVID.[J] .Radiology, 2022, 305: 709-717.