

ZTE 成像技术对肺实质结构的显示价值

陈俊汝, 凌冰冰, 孙学进, 鲁毅, 莫茵

【摘要】 目的:探讨零回波时间(ZTE)成像技术在肺实质显示中的可行性及临床应用价值。**方法:**采用 GE 3.0T MR 扫描仪对 20 例健康志愿者行常规单次激发快速自旋回波(SS-FSE)序列和 ZTE 序列扫描,对两种成像方法获得的图像质量进行主观评分,测量 SNR 和 SIR,以及各个序列的肺实质 SI 和主支气管腔内 SI,并进行统计学分析。**结果:**SS-FSE 序列的图像质量主观评分为 2.00 ± 0.75 , ZTE 序列的图像质量主观评分为 3.50 ± 1.00 ,两者差异有统计学意义($Z = -3.681, P < 0.01$)。SS-FSE 序列和 ZTE 序列的 SNR 分别为 5.81 ± 1.96 和 8.84 ± 1.36 ,两者差异有统计学意义($t = 7.804, P < 0.01$)。SS-FSE 序列和 ZTE 序列的 SIR 分别为 0.78 ± 0.22 和 0.97 ± 0.11 ,两者差异有统计学意义($t = 4.056, P < 0.01$)。在 SS-FSE 序列中,肺实质 SI 为 69.36 ± 24.18 ,主支气管腔内 SI 为 307.94 ± 206.55 ,两者差异有统计学意义($Z = -3.920, P < 0.01$)。在 ZTE 序列中,肺实质 SI 为 34.16 ± 3.79 ,主支气管腔内 SI 为 28.59 ± 8.59 ,两者差异有统计学意义($Z = -2.837, P = 0.005$)。**结论:**ZTE 技术显示肺实质是可行的,它能够清晰地显示肺实质结构,在 MR 肺部成像中具有较高的临床应用价值。

【关键词】 单次激发快速自旋回波序列; 零回波时间序列; 磁共振成像; 肺实质; 图像质量

【中图分类号】 R445.2; R563 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2020)07-0860-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2020.07.006

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



The value of ZTE imaging technology in the display of lung parenchyma CHEN Jun-ru, LING Bing-bing, SUN Xue-jin, et al. Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Kunming 650032, China

【Abstract】 Objective: To investigate the feasibility and clinical application value of zero echo time (ZTE) technology in display of lung parenchyma. **Methods:** Twenty healthy volunteers underwent routine single shot fast spin echo (SS-FSE) sequence and ZTE sequence scans using a GE 3.0T magnetic resonance scanner. The subjective quality scores of the images, the SNR and the SIR were measured and analysed between the two sequences. The SI of lung parenchyma and main bronchial lumen also were measured and analysed in each sequence. **Results:** The subjective quality score of SS-FSE sequence was 2.00 ± 0.75 , and the subjective quality score of ZTE sequence was 3.50 ± 1.00 , with statistically significant difference ($Z = -3.681, P < 0.01$). The SNR of the SS-FSE sequence and the ZTE sequence were 5.81 ± 1.96 and 8.84 ± 1.36 , respectively, with statistically significant difference ($t = 7.804, P < 0.01$). The SIR of the SS-FSE sequence and the ZTE sequence were 0.78 ± 0.22 and 0.97 ± 0.11 , respectively, with statistically significant difference ($t = 4.056, P < 0.01$). In the SS-FSE sequence, the SI of the lung parenchyma was 69.36 ± 24.18 , and the SI in the main bronchial lumen was 307.94 ± 206.55 . The difference was statistically significant ($Z = -3.920, P < 0.01$). In the ZTE sequence, the SI of the lung parenchyma was 34.16 ± 3.79 , and the SI in the main bronchial lumen was 28.59 ± 8.59 . The difference was statistically significant ($Z = -2.837, P = 0.005$). **Conclusion:** ZTE technology is feasible in the display of lung parenchyma. It can clearly show the structure of lung parenchyma and has high clinical application value in pulmonary magnetic resonance imaging.

【Key words】 SS-FSE sequence; ZTE sequence; Magnetic resonance imaging; Lung parenchyma; Image quality

作者单位: 650032 昆明, 昆明医科大学第一附属医院医学影像科

作者简介: 陈俊汝(1994-), 女, 云南省曲靖市人, 硕士研究生, 主要从事磁共振成像技术工作。

通讯作者: 孙学进, E-mail: sunxuejinkm@126.com

肺组织由肺实质和肺间质组成,肺实质是指支气管在肺内的各级分支及其终末端的肺泡,肺间质是指填充于实质之间的结缔组织,血管、神经和淋巴管等^[1]。肺实质是肺内具有气体交换功能的含气腔隙及结构,其内含有大量的气体,氢质子含量低,而磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)主要依赖于氢质子^[2],因此,在常规的脉冲序列中,肺实质表现为极低的信号。此外,由于肺实质中气体与软组织界面存在很大的磁敏感差异,造成局部微观磁场不均匀,以及心跳和呼吸运动产生的伪影等,使肺部的图像质量很差^[3]。目前,单次激发快速自旋回波(single shot fast spin echo, SS-FSE)序列是临床常用的胸部 MRI 序列,其在显示胸壁肌肉等软组织方面具有较高的临床应用价值,但是在肺实质的显示方面却受到了限制^[4]。随着磁共振新技术的发展,已经逐渐打破了肺部 MRI 的局限性。零回波时间(zero echo time, ZTE)成像技术是一种显示短 T₂ 组织的成像技术^[5-6],它基于三维放射状 K 空间填充方式,结合微动梯度编码和超快速瞬切射频技术,实现了零回波时间信号采集^[7],能够快速获取迅速衰减的肺组织信号,在肺部成像中具有较大的潜力。本研究通过比较临床常用的 SS-FSE 序列和磁共振新技术 ZTE 序列在肺成像中的图像质量,旨在探讨 ZTE 技术显示肺实质的价值,为 MRI 在肺部的应用推广打下基础。

材料与方法

1. 一般资料

搜集健康志愿者 20 例,男、女各 10 例,年龄 20~36 岁,平均年龄 29 岁,2019 年 5—7 月在昆明医科大学第一附属医院进行 MRI 检查。纳入标准:①无咳嗽、咳痰等呼吸系统症状;②没有经常暴露于粉尘环境中;③受试者自愿参与研究并能遵守实验要求。排除标准:①MRI 检查发现肺部具有明显病变者;②肥胖及胸腔较小者;③MRI 检查禁忌症者。本研究得到了医院伦理委员会的批准,检查前所有志愿者均签署知情同意书。

2. 检查设备与方法

采用 GE 750W 3.0T 超导型 MRI 扫描仪,16 通道腹部接收阵列线圈,利用弹性呼吸带获取呼吸信息。受检者仰卧位,脚先进,双手上举置于头颈部两侧,线圈中心置于肺野中心,采用呼吸触发技术在自由呼吸状态下采集图像。扫描序列包括常规 SS-FSE 序列和 ZTE 序列,扫描参数:SS-FSE 序列:FOV 36 cm×36 cm,TR 2100 ms,TE 62.4 ms,层厚 6 mm,层间距 1 mm,层数 24 层,矩阵 288×224, BW 41.67 kHz, FA 180°, NEX 0.54 次,扫描时间 66 s。ZTE 序列:FOV

36 cm×36 cm, TR 466 ms, TE 0 ms, 层厚 1.2 mm, 层间距 0 mm, 层数 120 层, 矩阵 300×300, BW 62.5 kHz, FA 2°, NEX 1.0 次, 扫描时间 249 s。

SS-FSE 序列和 ZTE 序列均采集冠状面图像, ZTE 序列采用各项同性扫描,扫描结束后利用冠状面重建横轴面和矢状面图像。为减少采集时间以及增加左右方向的空间分辨率,相位编码方向设为左右方向(R/L);为获得理想的肺部 MRI 图像,检查前训练志愿者平静规律的呼吸,以保证采集层面的一致性;为减少噪音对志愿者听力的影响,检查中给志愿者佩戴耳机。扫描完成后将肺部图像传至 MRI ADW 4.6 工作站,进行图像处理和分析。

3. 图像质量评价

主观评价:由 2 名经验丰富的影像诊断医师,采用双盲法阅片评估,根据伪影程度,肺实质结构清晰度,以及总体满意度对两组图像进行评分,具体评分标准见表 1。3 分以上为满足诊断要求,当个别图像评分不一致时通过讨论后达成一致。将评分结果进行统计学分析,以比较两组不同序列获取的图像质量差异。

表 1 图像质量主观评分表

评分	图像质量	具体描述
1	差	图像伪影严重,肺实质结构显示不清,无法达到诊断要求
2	较差	图像伪影较多,肺实质结构较模糊,无法达到明确诊断要求
3	一般	图像伪影一般,肺实质结构尚能显示,基本可达到诊断要求
4	良好	图像伪影较少,肺实质结构显示清晰,能够达到诊断要求
5	优秀	图像无伪影,肺实质结构显示较清晰,完全满足诊断要求

客观评价:同一受检者,在 SS-FSE 序列和 ZTE 序列中的相同层面和相同位置,绘制大小相同(35 mm²)的圆形兴趣区(region of interest, ROI),每个序列均选择在气管分叉层面绘制 ROI, ROI 分别放置在左、右侧肺野,左、右侧主支气管腔内,左、右侧相位编码方向上视野内组织外的背景区域。将肺野中每个 ROI 内的信号强度(signal intensity, SI)均值作为该 ROI 内的肺组织信号强度,计算该层面肺野中 2 个 ROI 内肺组织信号强度的均值作为该序列的肺组织信号强度(SI_肺);每个序列主支气管腔内信号强度和背景区域信号强度(SI_{背景})的计算方法同肺,背景噪声的计算是将背景中 ROI 内信号强度的标准差作为该 ROI 内的噪声,计算该层面背景区域 2 个 ROI 内的噪声均值作为该序列的噪声(SD_{背景})。每个数值均测量两次取平均值,最后根据以下公式计算信噪比(signal to noise ratio, SNR)和信号强度比(signal intensity ratio, SIR):

$$SNR = \frac{SI_{\text{肺}}}{SD_{\text{背景}}}$$
$$SIR = \frac{SI_{\text{肺}}}{SI_{\text{背景}}}$$

4. 统计学分析

采用 SPSS 20.0 软件包进行统计学分析。服从正态分布的计量资料以均数±标准差表示,偏态分布以中位数±四分位数间距表示。两组间评分结果比较采用配对符号秩和检验,SNR 和 SIR 比较采用配对 *t* 检验;两组内肺实质 SI 和主支气管腔内 SI 比较采用配对符号秩和检验。以 *P* < 0.05 为差异有统计学意义。

结 果

1. 两组评分结果比较

在 20 例健康志愿者中,SS-FSE 序列的评分为 2.00±0.75,ZTE 序列的评分为 3.50±1.00,ZTE 序列显示肺实质的评分优于 SS-FSE 序列,差异有统计学意义(*Z* = - 3.681, *P* < 0.001)。SS-FSE 序列和 ZTE 序列对肺实质的显示见图 1,在 SS-FSE 序列中,肺实质的信号强度较弱,肺门区出现条带状伪影叠加在肺实质内,导致肺实质图像质量较差,解剖结构显示不清,不能进行正常诊断。在 ZTE 序列中,双侧肺野内可见散在点状或条状肺纹理,以肺门区和双肺下野较明显。肺实质内伪影得到了有效抑制,图像 SNR 较好,解剖结构显示良好,达到诊断要求。并且,在 ZTE 序列中,应用冠状面图像重建出来的横轴面和矢状面图像,其质量也较好,能够多方位地显示肺实质结构(图 2)。

2. 两组 SNR 和 SIR 比较

SS-FSE 序列中肺实质的 SNR 为 5.81±1.96,ZTE 序列中肺实质的 SNR 为 8.84±1.36,两者差异有统计学意义(*t* = 7.804, *P* < 0.001)。SS-FSE 序列和 ZTE 序列的 SIR 分别为 0.78±

0.22 和 0.97±0.11,两者差异有统计学意义(*t* = 4.056, *P* = 0.001)。ZTE 序列的 SNR 和 SIR 均高于 SS-FSE 序列(图 3)。

3. 两组肺实质 SI 和主支气管腔内 SI 比较

在 ZTE 序列中,肺实质 SI 与主支气管腔内 SI 差异有统计学意义(*Z* = - 2.837, *P* = 0.005),见表 2。肺实质的信号强度强于主支气管腔内空气。在 SS-FSE 序列中,肺实质 SI 与主支气管腔内 SI 差异也有统计学意义(*Z* = - 3.920, *P* < 0.001),但表现为主支气管腔内空气的信号强度明显强于肺实质。

表 2 两组内肺实质 SI 和主支气管腔内 SI 比较

组别	肺实质 SI	主支气管腔内 SI	Z 值	P 值
SS-FSE	69.36±24.18	307.94±206.55	-3.920	0.000
ZTE	34.16±3.79	28.59±8.59	-2.837	0.005

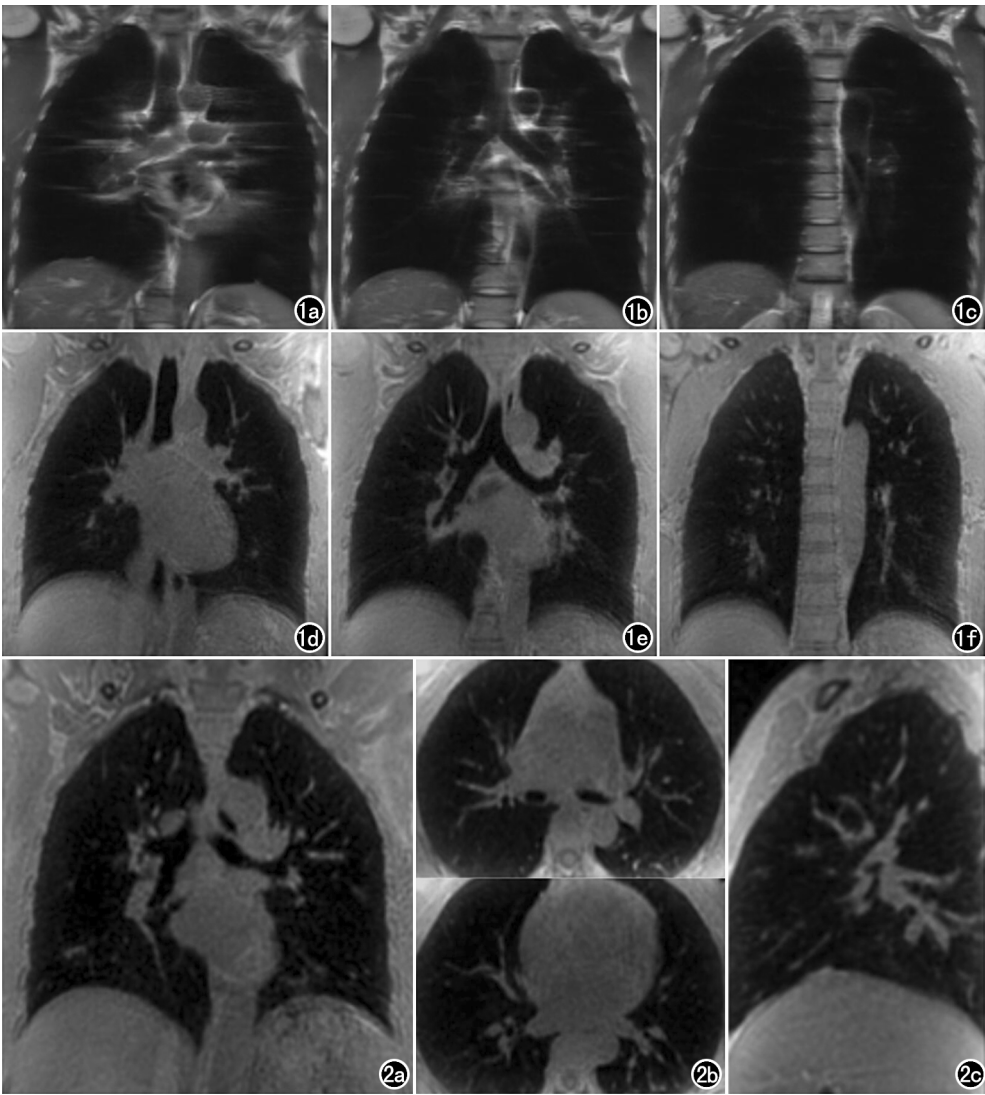


图 1 a~c)SS-FSE 序列中不同层面的肺部图像;d~f)与 SS-FSE 序列相对应层面的 ZTE 序列肺部图像。a、d)肺动脉分叉层面;b、e)气管分叉层面;c、f)降主动脉层面。图 2 ZTE 序列的冠状面图像及重建图像。a)ZTE 序列采集的原始冠状面图像;b)通过冠状面图像重建出来的横轴面图像;c)通过冠状面图像重建出来的矢状面图像。

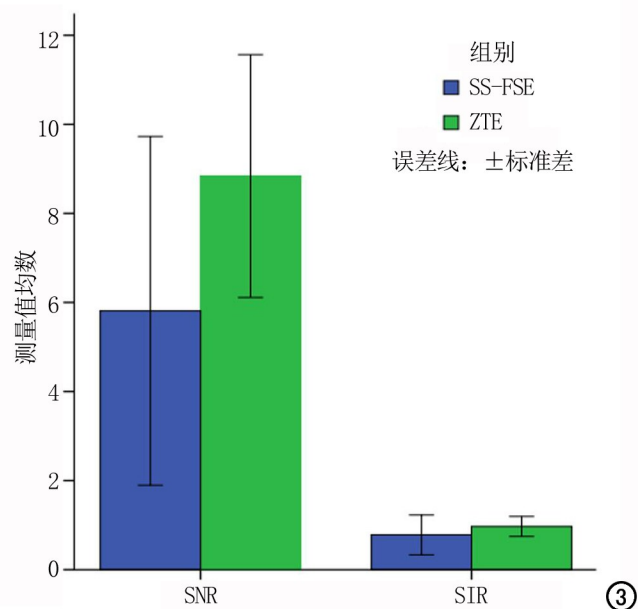


图 3 SS-FSE 和 ZTE 序列图像的 SNR 和 SIR 比较。

讨论

肺组织是具有生理运动的器官,它会随呼吸运动和心脏搏动而自由运动,并且因其内含有大量的气体,氢质子含量低,横向弛豫时间短,以及空气-组织界面的磁敏感差异造成的微观磁场不均匀性^[3],所以要利用 MRI 检查获得较好的肺部图像具有很大的挑战性。SS-FSE 序列作为临床常用的脉冲序列,在显示胸壁肌肉等软组织方面具有较高的临床应用价值,但是在肺实质的显示方面却受到了限制^[4],因此,有必要不断探索新的磁共振技术应用于对肺实质的显示。ZTE 序列是一种快速、稳定、噪声小的三维成像方式。它采用硬脉冲激励,结合较大的采样带宽,能够快速获取迅速衰减的肺组织信号^[8]。采用放射状 K 空间填充方式和 K 空间周边数据的过采样技术,能有效克服运动伪影^[7,9]。在梯度场打开的情况下进行脉冲激励,并且在脉冲重复之间不进行梯度开关,只进行小的梯度爬升,大大减少了噪音^[10]。由于 ZTE 技术具有以上优点,因此,它在肺部成像中具有很大的潜力。

在国外研究中,ZTE 技术在肺实质成像中已经得到应用并取得了初步成效。以往有研究报道,ZTE 技术在小动物实验中已成功应用于各向同性高空间分辨率形态学肺成像,2014 年,Weiger 等^[11]首次提出了 ZTE 技术在健康小鼠肺成像中的应用,利用 ZTE 技术可以获得包括气道在内的全肺覆盖的各向同性高空间分辨率图像,并且由于 K 空间中心的重复采样降低了对运动的敏感性。有研究表明,ZTE 技术在小鼠肺部疾病中可用于检测肺气肿的病理形态学改变,Bian-

chi 等^[12]利用 ZTE 对健康小鼠和肺气肿小鼠进行成像,研究发现,在肺气肿小鼠中 ZTE 图像的 SNR 明显降低,结果提示,ZTE 可作为一种预测肺气肿的影像学标志物。ZTE 技术在健康人体肺成像中的应用是由 Gibiino 等^[13]首次提出的,他们将 ZTE 技术应用于显示健康人体肺结构,结果表明,自由呼吸 ZTE 脉冲序列在健康人群气道可视化、高 SNR 和各向同性高空间分辨率方面显示了巨大的前景。最近,Bae 等^[14]已将 ZTE 技术应用于肺结节的诊断,并与超短回波时间 (ultrashort echo time, UTE) 序列进行了比较,发现 ZTE 序列对肺结节的检出率以及在显示肺结节的 SNR 方面均优于 UTE。

在本研究中,笔者将 ZTE 序列和 SS-FSE 序列进行了比较,因为 SS-FSE 序列是临床常用的脉冲序列,与 UTE 相比^[15-18],SS-FSE 序列的成像速度较快,临床实践性较强,并且,这是在国内研究中首次使用 ZTE 序列对健康人体肺进行成像。本研究结果发现,SS-FSE 序列显示肺实质的信号强度很弱,图像伪影较重,达不到临床诊断要求,而 ZTE 序列显示肺实质的图像质量较好,平均评分在 3 分以上,能够满足诊断要求。同时,就两个序列的 SNR 和 SIR 而言,ZTE 序列也明显优于 SS-FSE 序列。因为 SNR 是图像质量最重要的评价指标,而 SIR 是各自序列中肺实质与背景区域信号强度的比值,它去除了不同序列的本底噪声,相当于把两个序列的噪声归一化,在此基础上仅仅比较肺实质的信号强度。因此,应用 SNR 与 SIR 进行图像质量评价,使实验结果更可靠。此外,笔者还比较了两个序列内部的肺实质 SI 和主支气管腔内 SI,结果发现,在 ZTE 序列中,肺实质的 SI 明显强于主支气管腔内的 SI,由于主支气管腔内仅含有气体,而肺实质内含有支气管的各级分支和肺泡组织,肺实质的信号强度强于主支气管腔内空气,说明 ZTE 序列检测到了肺实质里面的细微结构,进一步验证了 ZTE 序列对肺实质结构的显示价值,这与 Bae 等^[14]的研究结果一致。而在 SS-FSE 序列中,结果正好相反,笔者推测,可能是因为 SS-FSE 序列对不规则运动的敏感性较强,由于心脏、大血管的搏动,导致肺门区出现较重的伪影,叠加在主支气管腔内,因此导致主支气管内的信号强度强于肺实质。

本研究还存在一定的局限性。首先,由于受到硬件设备的限制,本研究中 ZTE 序列的扫描时间较长,在未来可通过硬件设备的提高以及进一步优化参数,来缩短 ZTE 序列的扫描时间。其次,本研究采用的样本量较少,并且主要是青壮年,缺乏儿童及老年人,有待进一步扩大样本含量,增加研究对象的年龄范围。最后,本研究仅对正常肺结构进行了显示,在以后的研

究中应针对不同的肺部疾病进行探讨。

综上所述,常规 SS-FSE 序列虽然成像速度快,但其显示肺实质信号强度弱,且伪影严重,图像质量差。而 ZTE 序列能够清晰显示肺纹理,且有效抑制了呼吸运动和心脏、大血管的搏动伪影,图像信噪比较高。本研究通过比较 SS-FSE 序列与 ZTE 序列对正常肺结构的显示,结果发现 ZTE 序列显示正常肺实质结构是可行的,使 MRI 在肺部中的应用为临床研究开辟了新的方向。

参考文献:

- [1] 祝彼得,王亚平,周雪,等.组织学与胚胎学[M].北京:科学出版社,2014;114-115.
- [2] 杨正汉,冯逢,王霄英.磁共振成像技术指南[M].北京:人民军医出版社,2016;18-19.
- [3] Ciet P, Tiddens HA, Wielopolski PA, et al. Magnetic resonance imaging in children: common problems and possible solutions for lung and airways Imaging[J]. *Pediatr Radiol*, 2015, 45(13): 1901-1915.
- [4] Völker M, Ehses P, Weick S, et al. Free breathing ¹H-MRI of the human lung with an improved radial turbo spin echo[J]. *MAGMA*, 2015, 28(3): 227-238.
- [5] Larson PE, Han M, Krug R, et al. Ultrashort echo time and zero echo time MRI at 7T[J]. *MAGMA*, 2016, 29(3): 359-370.
- [6] Breighner RE, Endo Y, Konin GP, et al. Technical developments: zero echo time imaging of the shoulder: enhanced osseous detail by using MR imaging[J]. *Radiology*, 2018, 286(3): 960-966.
- [7] Weiger M, Pruessmann KP. MRI with zero echo time[J]. *eMag Res*, 2012, 1(12): 311-322.
- [8] Weiger M, Pruessmann KP, Hennel F. MRI with zero echo time: hard versus sweep pulse excitation[J]. *Magn Reson Med*, 2011, 66

(2): 379-389.

- [9] Froidevaux R, Weiger M, Brunner DO, et al. Filling the dead-time gap in zero echo time MRI: principles compared[J]. *Magn Reson Med*, 2018, 79(4): 2036-2045.
- [10] Alibek S, Vogel M, Sun W, et al. Acoustic noise reduction in MRI using silent scan: an initial experience[J]. *Diagn Interv Radiol*, 2014, 20(4): 360-363.
- [11] Weiger M, Wu M, Wurnig MC, et al. Rapid and robust pulmonary proton ZTE imaging in the mouse[J]. *NMR Biomed*, 2014, 27(9): 1129-1134.
- [12] Bianchi A, Tibiletti M, Kjrstad Å, et al. Three-dimensional accurate detection of lung emphysema in rats using ultra-short and zero echo time MRI[J]. *NMR Biomed*, 2015, 28(11): 1471-1479.
- [13] Gibiino F, Sacolick L, Menini A, et al. Free-breathing, zero-TE MR lung imaging[J]. *MAGMA*, 2015, 28(3): 207-215.
- [14] Bae K, Jeon KN, Hwang MJ, et al. Comparison of lung imaging using three-dimensional ultrashort echo time and zero echo time sequences: preliminary study[J]. *Eur Radiol*, 2019, 29(5): 2253-2262.
- [15] 马立恒,陈应明,张朝晖,等.正常兔膝关节的三维 UTE 动态增强 MRI 实验研究[J]. *放射学实践*, 2014, 29(7): 766-769.
- [16] 蒋小莉,查云飞,王娇,等.3D-UTE 评价腰椎间盘突出终板缺损与椎间盘退变的相关性[J]. *放射学实践*, 2015, 30(9): 952-955.
- [17] Lederlin M, Crémillieux Y. Three-dimensional assessment of lung tissue density using a clinical ultrashort echo time at 3 tesla: a feasibility study in healthy subjects[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2014, 40(4): 839-847.
- [18] Tibiletti M, Bianchi A, Kjrstad Å, et al. Respiratory self-gated 3D UTE for lung imaging in small animal MRI[J]. *Magn Reson Med*, 2017, 78(2): 739-745.

(收稿日期:2019-09-12 修回日期:2019-10-31)