

肺组织膨胀程度对动脉自旋标记 MRI 肺灌注的影响

范丽, 刘士远*, 肖湘生, 徐雪元

(第二军医大学长征医院影像科, 上海 200003)

[摘要] **目的:**用 FAIR 序列探讨肺组织膨胀程度对肺灌注的影响, 即在不同呼吸相时肺灌注的变化情况。**方法:**应用 GE 1.5T 磁共振成像系统, 用 FAIR 序列对 10 例健康志愿者分别在呼气末和吸气末屏气时进行冠状面扫描。分析在不同呼吸相时反转脉冲标记前/后双肺信号强度变化率($\Delta SI\%$)、肺血流量(PBF)的变化及扫描层面肺面积(Area)的变化情况。**结果:**(1)不同呼吸相时 $\Delta SI\%$ 之间有明显的统计学差异(右肺 $P=0.0215$, 左肺 $P=0.0084$), 呼气末的 $\Delta SI\%$ 明显高于吸气末。(2)不同呼吸相时双肺 PBF 间均有统计学差异(右肺 $P=8.92 \times 10^{-5}$, 左肺 $P=0.0002$), 呼气末的 PBF 明显高于吸气末。(3)不同呼吸相扫描层面的 Area 间也有明显的统计学差异(右肺 $P=2.94 \times 10^{-5}$, 左肺 $P=0.0005$), 吸气末面积明显大于呼气末面积。**结论:**不同呼吸相时肺灌注间存在差异, 在呼气时肺灌注明显高于吸气时, 这与呼气时肺容积缩小、血管密度增加有关。

[关键词] 肺; 灌注, 局部; 动脉自旋标记; 磁共振成像; 肺膨胀

[中图分类号] R 445.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0258-879X(2007)11-1197-04

Influence of lung inflation on arterial spin labeling signal in MR perfusion imaging of human lungs

FAN Li, LIU Shi-yuan*, XIAO Xiang-sheng, XU Xue-yuan (Department of Radiology, Changzheng Hospital, Second Military Medical University, Shanghai 200003, China)

[ABSTRACT] **Objective:** To investigate the influence of lung inflation on MR perfusion imaging of human lung using an arterial spin labeling sequence called flow sensitive alternating inversion recovery (FAIR). **Methods:** Coronal perfusion-weighted images were obtained at different respiratory phases from 10 healthy volunteers on a 1.5T whole body scanner (GE medical system) using FAIR sequence. The changes of tagging efficiency of pulmonary parenchyma ($\Delta SI\%$), pulmonary blood flow and area of the scanning slice of different respiratory phases were analyzed. **Results:** (1) Significant difference was found in $\Delta SI\%$ between different respiratory phases (right lung $P=0.0215$, left lung $P=0.0084$), with that at end expiration greater than that at end inspiration. (2) Significant difference was also found in pulmonary blood flow at different respiratory phases (right lung $P=8.92 \times 10^{-5}$, left lung $P=0.0002$), with that at end expiration higher than that at end inspiration. (3) The areas of the scanning slice were also significantly different at different respiratory phases (right lung $P=2.94 \times 10^{-5}$, left lung $P=0.0005$), with that at end inspiration larger than that at end expiration. **Conclusion:** Pulmonary blood flow during expiration is higher than that during inspiration, which might be due to the decreased lung volume and increased vascular density during expiration.

[KEY WORDS] lung; perfusion, regional; arterial spin labeling; magnetic resonance imaging; lung inflation

[Acad J Sec Mil Med Univ, 2007, 28(11): 1197-1200]

肺灌注的评价在临床上是非常重要的, 检测局部灌注的异常改变有助于肺功能的评价。肺实质 MRI 由于肺组织内质子密度低, 气体/组织界面大, 磁敏感率不均匀, 呼吸运动及心脏搏动伪影等因素, 成像质量一直不是很理想^[1]。随着成像技术的快速发展, 动脉自旋标记法(arterial spin labeling, ASL)已经成功应用于肺灌注的 MRI 研究^[2-4], 其与肺灌注的金标准核医学相比, MRI 具有较高的空间分辨率、无辐射的优点。ASL 最大的优点就是不用静脉注射对比剂, 它是以磁化标记的血管内自由流动的水质子作为内源性示踪剂来评价组织灌注, 更进一步降低了患者的检查费用和注射对比剂可能引起的

潜在危险。众所周知, 肺组织膨胀影响肺内压力/血流之间的关系, 即肺组织在不同的膨胀状态下, 肺灌注可能存在差异。本研究应用 ASL 技术中的血流敏感性交替反转恢复序列(flow sensitive alternating inversion recovery, FAIR)进行 MRI 肺灌注成像, 旨在探讨肺组织的膨胀程度即肺容积的变化对肺灌注的影响。

[基金项目] 长征医院“三重三优”优秀学科带头人基金(20060109)。Supported by Excellent Subjects Foundation of Changzheng Hospital (20060109)。

[作者简介] 范丽, 博士生。E-mail: fanli0930@163.com

* Corresponding author. E-mail: cjr.liushiyuan@vip.163.com

1 材料和方法

1.1 研究对象 10 例无肺部疾病或心血管疾病的男性健康志愿者,年龄 23~57 岁,平均(31.70±11.56)岁。检查前,均告知受试者试验意图和所有检查过程,并征得同意。试验前 15 min,训练受试者均匀等深度呼吸,嘱其心情平静以保持心率相对稳定。

1.2 成像方法 所有受试者均采用仰卧位姿势,使用 GE 1.5T Excite HD 磁共振成像系统(GE Healthcare, Milwaukee),梯度场强 40 mT·m⁻¹,梯度切换率 150 T·m⁻¹·s⁻¹,8 通道体部相控阵线圈成像,采用呼吸门控和心电门控技术。

具体扫描过程如下:(1)首先用 Real-time FGRET 序列扫描,获得心脏标准四腔心图像的定位参数及三平面定位图像。

(2)在呼气末屏气时进行图像校正扫描(即 calibration scan),扫描范围从颈部至双肾中上部。

(3)应用步骤(1)所得定位参数,采用 2D-FIESTA 电影序列在呼气末屏气状态下进行心脏四腔心扫描,确定心脏舒张中期时间(TD1)。FIESTA 序列参数为 TR/TE=3.2 ms/1.4 ms,FOV 35 cm×26.3 cm,Matrix 224×224, Slice Thickness 8 mm, Spacing 0 mm, Phase 20, NEX 1。

(4)将 TD1 代入公式 $TD_2 = T_{R-R} - (TI - TD1)$ 计算 ECG 触发后施加翻转恢复脉冲的延迟时间 TD₂(TI=1 000 ms, T_{R-R}=60 000 ms/心率,触发间歇时间为 2 个心动周期),如果 T_{R-R}<(TI-TD),则公式变为: $TD_2 = 2T_{R-R} - (TI - TD)$,触发间歇时间则变为 3 个心动周期(图 1)。

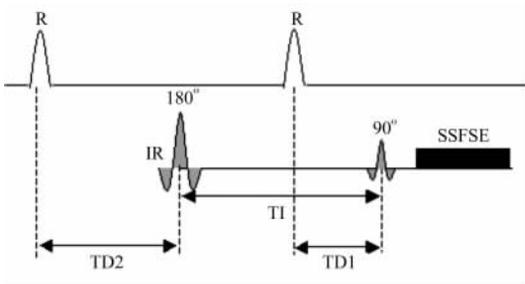


图 1 心电触发模拟图

Fig 1 Cardiac triggering scheme

Inversion time (TI) was 1 000 ms and SSFSE was used for acquisition. IR: Inversion radiofrequency;SSFSE:Single shot fast spin echo; TD2:Delay time 2; TD1:Delay time 1

(5)用 SSFSE-FAIR 序列,在心脏舒张中期,分别在呼气末和吸气末屏气状态下进行扫描。FAIR

序列参数:TE/FA=26.4 ms /45°, FOV 40 cm×40 cm, Matrix 256×128, Slice Thickness 8 mm, Spacing 0 mm, TI=1 000 ms。

由于各个受试者心率不同,总采集时间也不同,一般在 12~19 s。由于一次扫描只采集一层图像,选层反转脉冲和配合的选层梯度只要对准当前层面就可以获得最好的标记效率。通过对呼吸门控信号的实时观察,保证受试者在扫描过程中不发生呼吸运动。在 SSFSE 序列采集结束后有 10 ms 的恢复时间,以保证质子自旋的充分恢复。

1.3 图像分析 将 FAIR 所得的原始图像传至 GE AW4.2 工作站(GE advantage workstation 4.2),应用 GE 科研软件(research version functool)进行后处理。在左、右肺野的外围分别选 5 个 ROI,ROI 的大小为 100~102 mm²(≤42 pixels),理论上只包含肺实质。记录每个 ROI 反转脉冲标记前、后肺实质信号强度值并计算其变化率: $\Delta SI\% = (SI_{tag} - SI_{control}) / SI_{control} \times 100\%$;记录每个 ROI 的肺血流量值(pulmonary blood flow, PBF);利用工作站手动测量软件,测量呼气 and 吸气时所扫描层面的肺面积值(Area)。

1.4 统计学处理 所有数据用 SAS version 9.1.3 软件分析,分别对呼气 and 吸气时所得 $\Delta SI\%$ 、PBF 及 Area 进行配对 t 检验,检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

不同呼吸相时, $\Delta SI\%$ 之间有明显的统计学差异 ($P<0.05$),呼气末屏气时的 $\Delta SI\%$ 明显高于吸气末屏气(表 1)。不同呼吸相时,双肺 PBF 均有统计学差异 ($P<0.05$),呼气末 PBF 明显高于吸气末 PBF (表 1、图 2)。不同呼吸相时,Area 间有明显的统计学差异 ($P<0.05$),吸气末面积明显大于呼气末面积(表 1、图 2)。

3 讨论

ASL 根据标记方式不同分为连续式(continuous arterial spin labeling, CASL)和脉冲式(pulsed arterial spin labeling, PASL) 2 大类^[5]。1999 年, Mai 等^[3]首次利用 FAIR 技术、Hatabu 等^[4]首次利用信号靶向交替射频(signal targeting alternating radiofrequency, STAR)技术成功进行了肺实质灌注成像,可看到肺实质成像且信号强度较均匀。

本实验采用的是 FAIR 序列,是 PASL 的一种;其具体成像过程如下:采用选层反转恢复脉冲(selective inverse recovery, SIR)对成像层面进行

表 1 不同呼吸相双肺 $\Delta SI\%$ 、PBF、Area 统计表
Tab 1 $\Delta SI\%$, PBF and area of right and left lung at different respiratory phases

($n=10, \bar{x} \pm s$)

Index	Right lung			Left lung		
	$\Delta SI\%$	PBF	Area ($\times 10^3, A/mm^2$)	$\Delta SI\%$	PBF	Area ($\times 10^3, A/mm^2$)
Expiration	1.12 \pm 0.31*	90.78 \pm 17.35**	12.59 \pm 3.23**	1.01 \pm 0.24**	91.08 \pm 18.68**	12.34 \pm 3.08**
Inspiration	0.71 \pm 0.18	52.85 \pm 8.75	17.77 \pm 4.24	0.70 \pm 0.11	54.58 \pm 10.70	17.34 \pm 4.98
P value	0.021 5	8.92 $\times 10^{-5}$	2.94 $\times 10^{-5}$	0.008 4	0.000 2	0.000 5

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ vs inspiration group

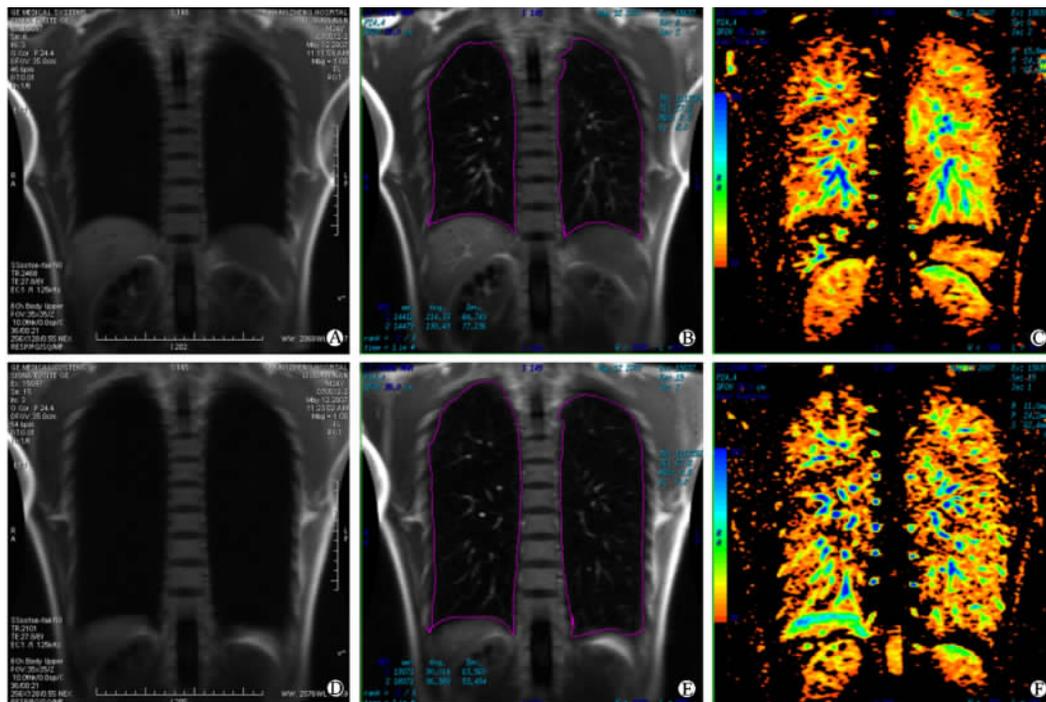


图 2 不同呼吸相时,FAIR 序列所得的对照图、标记图和肺血流量图

Fig 2 Control image, tagged image and PBF image acquired with FAIR at different respiratory phases

A-C: Control, tagged and PBF image at end expiration; D-F: Control, tagged and PBF image at end inspiration; B and E show the outline of lung with special software

射频激发。经过适当的反转恢复时间 (inversion time, TI), 反转血流被未反转的新鲜血流代替而流出成像层面, 此时采集标记图像。为了去除静止组织信号, 对照图像则采用非选层的反转恢复脉冲, 经过同样的 TI 后进行成像层面的采集; 这样成像层面内静止组织中的质子由于在标记和非标记的成像条件下, 都是被反转了而且弛豫相同, 可以通过减影技术消除, 即将标记图像和对照图像减影就可以得到仅有血流灌注信息的图像^[6]。FAIR 不用静脉内注射对比剂, 具有完全非侵入性、可重复性高、组织对比度较好等优点。

肺组织膨胀程度影响肺内压力与肺血流之间的关系, 膨胀时胸膜腔内压力增加, 小的肺血管受压,

同时静脉回流也减慢。当在吸气末屏气时, 肺组织明显膨胀, 肺胎压高于大气压, 包括毛细血管床在内的小的肺泡血管受压, 导致肺循环血管阻力增加。除此之外, 右房压力也增加, 使静脉回流受阻、减慢, 又进一步增加了肺循环血管阻力。而呼气末时肺组织仍处于一定程度的扩张状态, 是由于在胎儿出生后, 胸廓的生长速度比肺快, 以致胸廓经常牵引着肺, 即使用力呼气后, 肺也是被扩张着的, 只是扩张程度小些而已。呼气所致的肺组织轻度膨胀状态, 压迫穿过肺实质的动脉和静脉等肺泡外血管, 同样使肺循环血管阻力增加; 但是肺泡外血管受压引起的血管阻力增加较肺泡血管受压引起的阻力增加要小得多。除此之外, 呼气时伴随的胸膜腔内压力的

减低引起右房压减低,静脉回流增加,减小了肺循环血管阻力,这就在一定程度上抵消了肺组织轻度膨胀所致的血管阻力增加。由于上述原因,肺血流在吸气时比呼气时低。本实验研究结果也表明,呼气末的PBF明显高于吸气末PBF($P < 0.05$),反映了上述生理过程。Mai等^[7]用ASL方法对肺灌注的研究表明,呼气末信号强度较吸气末信号强度明显增加;本研究得到了类似的结果,即在IR脉冲标记前/后肺实质的信号强度变化率 $\Delta SI\%$,呼气末明显高于吸气末($P < 0.05$),这与呼气末肺容积缩小、肺血管密度增加有关。

理所当然,吸气末肺容积大于呼气末容积;Keilholz等^[8]用FAIRER序列研究肺灌注时,以层厚10 mm对整个肺组织连续扫描,测定所有扫描层面的面积并求和来反映肺容积情况(所有面积之和与肺容积呈正比)。基于以上观点,本实验则通过测量扫描层面的肺面积来大体反映肺容积的变化情况,结果发现吸气末面积明显大于呼气末面积($P < 0.05$),而吸气末的PBF明显低于呼气末PBF,更进一步说明了肺容积缩小,肺血管密度增加引起PBF的增加。

由此可见,肺组织在不同的膨胀状态下,肺灌注间存在差异。吸气时肺容积增大,肺灌注低;而呼气时肺容积小,肺灌注高;这与呼气时肺容积缩小、血管密度增加有关。所以在检查时受试者若采用呼气末屏气,可以更容易发现灌注的异常变化。

[参考文献]

[1] Hatabu H, Gaa J, Tadamura E, et al. MR imaging of pulmonary parenchyma with a half-Fourier single-shot turbo spin-echo (HASTE) sequence [J]. Eur J Radiol, 1999, 29:152-159.

[2] Mai V M, Hagspiel K D, Christopher J M, et al. Perfusion imaging of the human lung using flow-sensitive alternating inversion recovery with an extra radiofrequency pulse (FAIRER) [J]. Magn Reson Imaging, 1999, 17:355-361.

[3] Mai V M, Berr S S. MR perfusion imaging of pulmonary parenchyma using pulsed arterial spin labeling techniques: FAIRER and FAIR [J]. J Magn Reson Imaging, 1999, 9:483-487.

[4] Hatabu H, Wielopolski P A, Tadamura E. An attempt of pulmonary perfusion imaging utilizing ultra short echo time turbo FLASH sequence with signal targeting and alternating radiofrequency (STAR) [J]. Eur J Radiol, 1999, 29:160-163.

[5] Golay X, Hendrikse J, Lim T C C, et al. Perfusion imaging using arterial spin labeling [J]. Top Magn Reson Imaging, 2004, 15:10-27.

[6] Alsop D C. Magnetic resonance imaging of the brain and spine [M]. 3rd ed. Philadelphia: Scott W, 2002:215-238.

[7] Mai V M, Chen Q, Bankier A A, et al. Effect of lung inflation on arterial spin labeling signal in MR perfusion imaging of human lung [J]. J Magn Reson Imaging, 2001, 13:954-959.

[8] Keilholz S D, Knight-Scott J, Christopher J M, et al. Gravity-dependent perfusion of the lung demonstrated with the FAIRER arterial spin tagging method [J]. Magn Reson Imaging, 2001, 19:929-935.

[收稿日期] 2007-07-19

[修回日期] 2007-09-13

[本文编辑] 尹 茶

· 消 息 ·

《中国药学术语词库与主题词表》征订启事

《中国药学术语词库与主题词表》是科技部的重点科技基础性项目。书本产品《中国药学主题词表》是我国第一部涵盖药学及其相关学科主题词的主题词表。对图书文献的编辑、出版、标引、编目、建库、查新、文献数据库建设、数据库检索、咨询服务、信息交换和国内外学术交流等起着重要的作用。《中国药学主题词表》共收录正式主题词34 000多条,非正式主题词近20 000条。精装本上、下册,定价570元。

电子产品《中国药学术语词库》是在《中国药学主题词表》收录内容的基础上,增加收录了药理学常用主题词10 000余条,并配以专门的检索使用软件作为强大的技术支撑,实现了《中国药学主题词表》的电子化查询。光盘定价5 780元。

单位名称:国家食品药品监督管理局信息中心期刊处

开户名称:国家食品药品监督管理局信息中心

开户银行:建设银行北京展览路支行账号(11001016700056002517)

通讯地址:北京市西城区北礼士路甲38号,邮编:100810

电 话:010-62214715、62214665、88330061,传真:010-62214866

电子邮件:zgyxwz@163.com