

## 标记后延迟时间对下肢骨骼肌动脉自旋标记成像的影响

徐凌斌<sup>1</sup> 徐雷鸣<sup>2</sup> 张玉琴<sup>1</sup>

<sup>1</sup>浙江省宁波市医疗中心李惠利东部医院影像科 315040; <sup>2</sup>浙江大学医学院附属第二医院放射科, 杭州 310009

通信作者: 徐凌斌, Email: xulingbin@hotmail.com

**【摘要】** 针对骨骼肌肉系统设计 3 种标记后延迟时间(PLD), 分别为 1 500、2 000、2 500 ms。采集不同 PLD 三维连续动脉自旋标记(3D pCASL)的图像。由 2 名观察者独立评分观察评分一致性, 分析不同 PLD 下图像质量之间的差异。从 2 名观察者独立测得的血流量(BF)值入手, 分析观察者内及观察者间测得 BF 值的一致性, 并进一步分析不同 PLD 下 BF 值差异。研究结果显示 3D pCASL 图像观察者间主观评分一致性较好, PLD=1 500 ms 是下肢骨骼肌 3D pCASL 成像最佳参数。3 种 PLD 下测得的 BF 值一致性均较好, 3 种 PLD 对 BF 值影响不大。

**【关键词】** 磁共振成像; 弥散; 灌注成像; 肌, 骨骼; 标记后延迟时间

**基金项目:** 宁波市科技局科技惠民项目(2015C50022)

DOI:10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2019.04.015

### A comparative study on the reliability and influence of different post labeling delay time on arterial spin labeling imaging of skeletal muscle of lower limbs

Xu Lingbin<sup>1</sup>, Xu Leiming<sup>2</sup>, Zhang Yuqin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Radiology, Lihuli Eastern Hospital, Ningbo Medical Center, Ningbo 315040, China;

<sup>2</sup>Department of Radiology, the Second Affiliated Hospital of Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou 310009, China

Corresponding author: Xu Lingbin, Email: xulingbin@hotmail.com

**Fund program:** Science and Technology Program for Public Wellbeing of Ningbo Municipal Bureau of Science and Technology (2015C50022)

DOI:10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2019.04.015

三维连续动脉自旋标记(3D pseudo-continuous arterial spin labeling, 3D pCASL)序列是一种图像信噪比高, 受伪影干扰小, 无需注射外源性对比剂的灌注成像技术, 可以安全、无创地获得组织的三维定量灌注信息<sup>[1]</sup>。因此, 笔者拟通过对健康志愿者下肢骨骼肌肉灌注 3D pCASL 数据的重复采集和测量, 观察其可靠性及在不同标记后延迟时间(post labeling delay time, PLD)条件下图像质量的稳定性。

#### 一、资料与方法

1. 研究对象: 搜集 2013 年 3 月至 2016 年 1 月在我院进行 3D pCASL 扫描的健康志愿者 18 名(本院实习生、医师及进修医师)。其中男 10 名, 女 8 名; 年龄 22~40 岁, 中位年龄 30 岁。本研究获得我院伦理委员会批准(FSK-XLB-01), 志愿者均签署知情同意书。入选标准: (1)既往体健, 无糖尿病、高血压、高血脂, 无精神疾病, 无吸烟、酗酒, 无服用激素类药物史; (2)无肌肉缺血症状, 无下肢大血管疾病(均予下肢血管彩色超声检查排除); (3)无 MRI 检查相关禁忌证。受试者扫描当日禁止剧烈运动及服用扩血管类药物。

2. 检查方法: 本研究采用 3.0 T MR 扫描仪(GE

Discovery MR 750 3.0 T System), 8 通道腹部线圈。所有检查均在平卧休息 10 min 后进行。

常规 MRI 序列扫描: 以双侧下肢股骨段为扫描范围, 下界从股骨内侧髁关节面开始。采用快速自旋回波序列, 采集横轴面 T<sub>1</sub>WI、T<sub>2</sub>WI 图像。T<sub>1</sub>WI: TR 700 ms, TE 24 ms, 矩阵 320×224, 带宽±41.67 kHz, 激励次数(NEX)2 次, 层厚 5 mm, 层间距 0, 层数 20 层, FOV 50 cm×25 cm。T<sub>2</sub>WI: TR 3 952 ms, TE 68 ms, 矩阵 320×224, 带宽±62.5 kHz, NEX 为 2 次。扫描范围、层厚、层间距、层数及 FOV 均与 T<sub>1</sub>WI 相同。

根据 GE 扫描手册推荐的 PLD, 使用 3D pCASL 序列采集 3 次不同 PLD 下的图像。采集参数如下: 第 1 次 TR 4 590.0 ms, PLD 1 500 ms; 第 2 次 TR 4 844.0 ms, PLD 2 000 ms; 第 3 次 TR 5 285.0 ms, PLD 2 500 ms。3 次扫描的 TE 均为 10.5 ms, 矩阵 512×8, 带宽±62.5 kHz, NEX 为 3 次。扫描范围、层厚、层数及 FOV 与 T<sub>1</sub>WI 相同。18 名志愿者 1 周内相同参数下重复扫描 2 次, 2 次扫描的体位和检查范围保持一致。

3. 数据处理及分析: (1)定性分析: 由 2 名观察者(骨肌影

像组高年资主治医师),盲法对第 1 次扫描时 3 种不同 PLD 下的图像质量进行主观评分;以 3 分法<sup>[2]</sup>评价。1 分:图像质量差、信噪比较低,螺旋伪影严重,影响组织结构显示(图 1,2);2 分:图像质量和信噪比中等,螺旋伪影不严重,不影响结构显示(图 3,4);3 分:图像质量好、信噪比高,无螺旋伪影(图 5,6)。(2)定量分析:本研究使用 GE ADW 4.6 工作站 Function Tool 自带的 3D pCASL 后处理软件,分析得到双下肢股骨段血流量(blood flow, BF)参数图。以股内侧肌作为灌注研究的对象。第 1 次扫描时,2 名观察者盲法分别在扫描中心层面双下肢股内侧设置 ROI,获得两侧股内侧肌 BF 的平均值。ROI 选取避开大血管,ROI 大小设置为 20~30 mm<sup>2</sup>。第 2 次扫描时由观察者 1 对 3D pCASL 图像进行同层面 ROI 设置,ROI 形状和面积同第 1 次。

4. 统计学分析:本研究使用 SPSS 19.0 软件。(1)用 Kappa 检验 2 名观察者对 3D pCASL 灌注加权图像质量评分的一致性。Kappa≥0.75 一致性较好;0.75>Kappa≥0.40 一致性一般;Kappa<0.40 一致性较差。(2)3 组 3D pCASL 灌注加权图像质量评分的比较采用秩和检验,P<0.05 为差异有统计学意义。进一步两两比较,P<0.017 为差异有统计学意义。(3)对所测得的 BF 值进行正态性检验,符合正态分布。通过组内相关系数值(intraclass correlation coefficient, ICC),评价不同 PLD 下 BF 值的稳定性;采用单因素方差分析比较

3 组 BF 值均值的差异,P<0.05 为差异有统计学意义;两两比较用 LSD 检验,P<0.017 表明差异具有统计学意义。

二、结果

2 名观察者对 3 种不同 PLD 下采集的 3D pCASL 原始图像评分的一致性中等。其中 PLD 1 500 ms 和 2 000 ms 时图像质量评分具有中等一致性,而 PLD 2 500 ms 时的图像质量评分具有比较好的一致性(表 1)。

表 1 3 种 PLD 条件下 2 名观察者评分结果及一致性检验结果(例,n=18)

| 观察者 2 评分 | 观察者 1 评分     |     |     |              |     |     |              |     |     |
|----------|--------------|-----|-----|--------------|-----|-----|--------------|-----|-----|
|          | PLD=1 500 ms |     |     | PLD=2 000 ms |     |     | PLD=2 500 ms |     |     |
|          | 3 分          | 2 分 | 1 分 | 3 分          | 2 分 | 1 分 | 3 分          | 2 分 | 1 分 |
| 3 分      | 9            | 1   | 0   | 2            | 1   | 1   | 0            | 0   | 0   |
| 2 分      | 2            | 4   | 0   | 1            | 11  | 0   | 0            | 9   | 2   |
| 1 分      | 1            | 0   | 1   | 0            | 1   | 1   | 0            | 1   | 6   |
| Kappa 值  | 0.581        |     |     | 0.526        |     |     | 0.658        |     |     |
| P 值      | 0.002        |     |     | 0.003        |     |     | 0.005        |     |     |

注:PLD:标记后延迟时间

2 名观察者对 3 种不同 PLD 下采集的 pCASL 图像评分差异均有统计学意义(M 值分别为 20.12、12.96,P 值均<0.01),其中以 PLD 1 500 ms 时的图像评分最高(表 1)。进

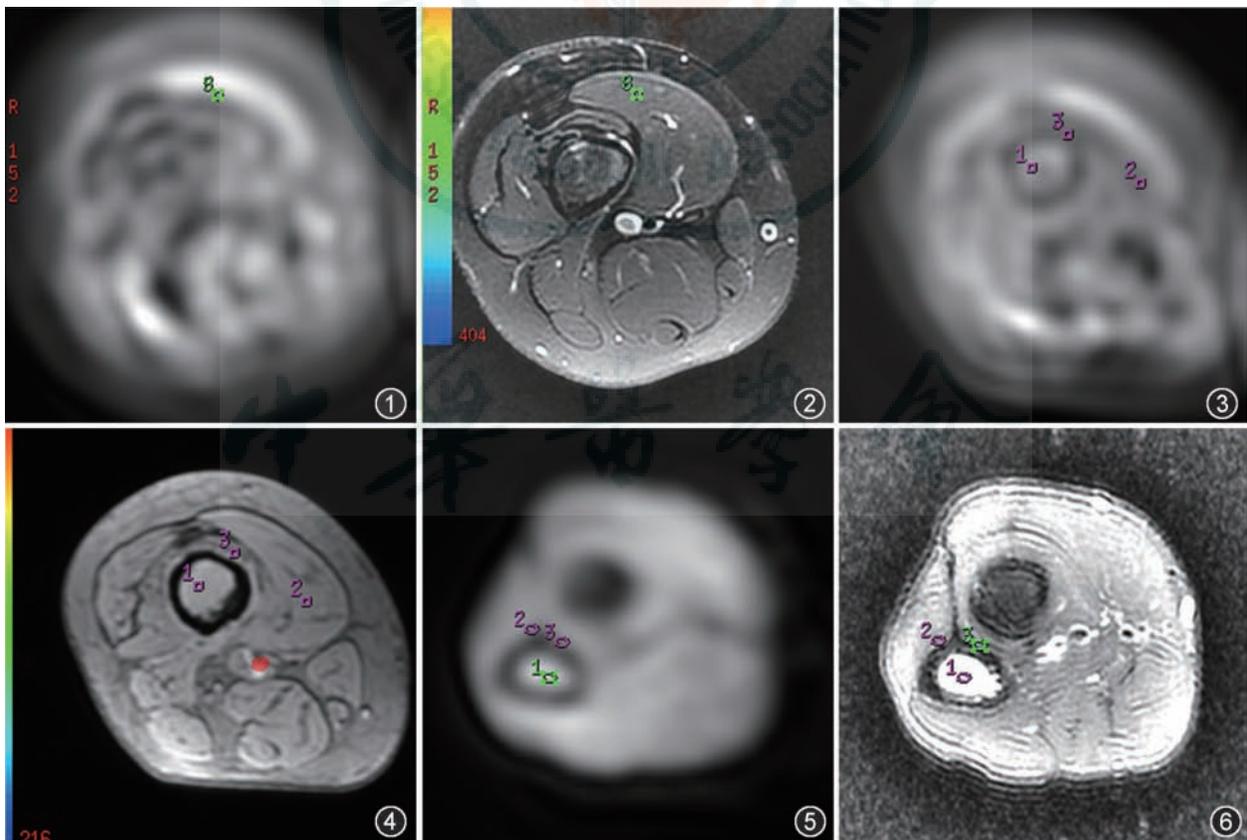


图 1,2 标记后延迟时间(PLD)为 2 500 ms 的三维连续动脉自旋标记(3D pCASL)原始图像,图像信噪比较差,肌肉等软组织轮廓不清,可见螺旋状伪影(图 1)。图 2 为该志愿者同层面 T<sub>2</sub>WI 图像 图 3,4 PLD 为 2 000 ms 的 3D pCASL 原始图像,图像信噪比一般,肌肉轮廓部分可见,血管周围可见少许螺旋状伪影(图 3);图 4 为该志愿者同层面 T<sub>1</sub>WI 图像 图 5,6 PLD 为 1 500 ms 的 3D pCASL 原始图像,图像信噪比较好,肌肉轮廓清晰,无螺旋状伪影(图 5);图 6 为该志愿者同层面 T<sub>1</sub>WI 图像

一步两两比较显示 PLD=1 500 ms 和 PLD=2 500 ms 的评分差异有统计学意义( $P$ 值均 $<0.01$ )。

2名观察者对3种 PLD 下测得的 BF 值见表2。观察者间及观察者内重复测量的 ICC 值均 $>0.5$ ,以 PLD 2 000 ms 时观察者内信度和 PLD 1 500 ms 时观察者间信度最为良好,ICC 值分别为 0.786、0.733(表2)。

PLD 设定为 1 500、2 000、2 500 ms 时,将 2 名观察者第 1 次测量结果和观察者 1 的第 2 次结果平均计算,BF 值分别为 $(29.6\pm 4.0)$ 、 $(28.5\pm 3.6)$ 、 $(28.1\pm 3.2)$  $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot 100\text{g}^{-1}$ ,3种 PLD 下测得的平均 BF 值间差异无统计学意义( $F=0.77$ , $P=0.468$ ),相对而言,PLD 1 500 ms 时,BF 值较大。

### 三、讨论

3D pCASL 由于快速自旋回波序列的采集,螺旋式的 K 空间填充,受磁敏感伪影和运动伪影的干扰小,被广泛用于身体各部位的灌注成像<sup>[3]</sup>。本研究结果显示,正常志愿者股骨下段骨骼肌 3D pCASL 灌注成像图像质量在观察者间的主观评价一致性均较好,可以作为评价 3D pCASL 图像质量的有效参数。但不同 PLD 下采集的 3D pCASL 图像质量主观评分不同,其中以 PLD 为 1 500 ms 时图像的评分最好。

笔者观察到 PLD 为 2 000 和 2 500 ms 时图像出现螺旋状伪影的频率较高。这可能是由于成像层面包含股动脉,而 3D pCASL 序列随着采集时间的延长,运动的物体周围容易产生伴随伪影<sup>[2]</sup>。不同 PLD 的选择对成像信噪比有着重要影响<sup>[4]</sup>。PLD 较短,标记的血液可能尚留在血管中,未进入灌注肌肉内而呈现为高信号,被称为动脉通过伪影<sup>[5]</sup>; PLD 过长,进入灌注组织内标记的质子已经发生了衰减,图像信噪比减低,肌肉灌注轮廓和图像质量表现不佳。这可能是笔者观察到 PLD 为 2 000 ms 和 2 500 ms 时图像信噪比降低的原因。理想的 PLD,是要求能够获得高的组织信号强度以及最小血管信号强度。因此,动脉到达时间与 PLD 匹配程度越高,所测得的 BF 值越接近生理状态<sup>[6]</sup>。

本研究中 3 种 PLD 所获的股内侧肌内的 BF 值差异无统计学意义,但 PLD 为 1 500 ms 时的 BF 值稍大,同时 PLD 为 1 500 ms 时图像质量也较好。笔者认为可能和股内侧肌的主要供血动脉血流较颈动脉血流稍快有关<sup>[7]</sup>,但微血管密度又低于脑组织有关。因此,我们认为和脑灌注一样,1 500 ms 是下肢股内侧肌灌注成像最合适的 PLD 时间。

本研究中 3 种 PLD 下观察者间和观察者内的 ICC 值在

中等水平,只有在 PLD 为 2 000 ms 时观察者间及 PLD 为 1 500 ms 时观察者内的一致性较好。有学者指出 ICC 值会受到观察指标内部变异性的影响,即研究对象个体间差异很小,即使一致性好,ICC 值也会很小,如果总体的个体差异较大,ICC 值也会随之增大。因为本研究对象股内侧肌的血流灌注较稳定,BF 值的个体差异性较小,因此,ICC 值也较小。

本研究不足之处:由于本研究为手工勾画 ROI,因此在 2 次测量时很难保持 ROI 完全在同一区域,导致 BF 值的主观差异。

综上所述,PLD 设定为 1 500 ms 时,3D pCASL 技术生成的下肢骨骼肌灌注图像具有较好的图像质量,且测得的 BF 值具有较好的可靠性和可重复性。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

### 参 考 文 献

- [1] 叶天涛,陈峰,张光辉,等.双参数 3D-ASL 在单侧大脑中动脉慢性闭塞的侧枝循环评估中的应用价值分析[J].中华神经医学杂志,2018,17(6):605-609. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-8925.2018.06.012.
- [2] 陈钰,段森,周海龙,等.高场磁共振三维连续动脉自旋标记序列对头颈部肿瘤非对比剂增强灌注成像[J].中国医学科学院学报,2015,37(5):567-5740. DOI: 10.3881/j.issn.1000-503X.2015.05.013.
- [3] 娄昕,吴冰,黄点点,等.正常成人后循环脑区动脉自旋标记灌注成像的可重复性研究[J].中华放射学杂志,2014,48(2):151-154. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2014.02.016.
- [4] Wu WC, St Lawrence KS, Licht DJ, et al. Quantification issues in arterial spin labeling perfusion magnetic resonance imaging[J]. Top Magn Reson Imaging, 2010, 21(2): 65-73. DOI:10.1097/RMR.0b013e31821e570a.
- [5] Qiu D, Straka M, Zun Z, et al. CBF measurements using multidelay pseudocontinuous and velocity-selective arterial spin labeling in patients with long arterial transit delays: comparison with xenon CT CBF[J]. J Magn Reson Imaging, 2012, 36(1): 110-119. DOI:10.1002/jmri.23613.
- [6] 朱文杰,张顺,张水霞,等.三维动脉自旋标记与动脉磁敏感对比灌注成像评估成年烟雾病患者脑血流动力学的对比研究[J].中华放射学杂志,2017,51(2):86-90. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2017.02.002.
- [7] 薛恒,王金锐.颅外颈动脉血流动力学改变的超声评估与颅内动脉狭窄的相关性研究[J].中华超声影像学杂志,2016,25(6):491-495. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004-4477.2016.06.008.

表2 3种 PLD 下 BF 值及观察者内和观察者间重复测量的相关系数

| PLD(ms) | 受试者(名) | 第1次扫描 BF 值<br>( $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot 100\text{g}^{-1}, \bar{x}\pm s$ ) |                | 第2次扫描观察者 1 测得 BF 值<br>( $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot 100\text{g}^{-1}, \bar{x}\pm s$ ) | 观察者内信度 |       | 观察者间信度 |       |
|---------|--------|---|----------------|---|--------|-------|--------|-------|
|         |        | 观察者 1   | 观察者 2          |   | ICC 值  | $P$ 值 | ICC 值  | $P$ 值 |
| 1 500   | 18     | 30.3 $\pm$ 5.7  | 28.9 $\pm$ 4.0 | 29.4 $\pm$ 3.6  | 0.660  | 0.01  | 0.733  | 0.010 |
| 2 000   | 18     | 29.0 $\pm$ 4.9  | 28.8 $\pm$ 4.0 | 27.7 $\pm$ 3.3  | 0.786  | 0.01  | 0.522  | 0.009 |
| 2 500   | 18     | 28.8 $\pm$ 4.1  | 28.1 $\pm$ 3.2 | 27.3 $\pm$ 2.9  | 0.665  | 0.01  | 0.560  | 0.003 |

注:PLD:标记后延迟时间;BF:血流量;ICC:组内相关系数

(收稿日期:2018-07-30)

(本文编辑:高宏)