

论 著

## 3D pCASL灌注成像在烟雾病STA-MCA术术前术后的应用研究\*

南方医科大学南方医院影像中心  
(广东 广州 510515)

李彩霞 陈 翌 许乙凯

**【摘要】目的** 探讨磁共振3D pCASL灌注成像对烟雾病颞浅动脉-大脑中动脉(STA-MCA)搭桥术术前术后血流动力学改变的评价效果。**方法** 选择在本院神经外科行STA-MCA术的烟雾病患者作为研究对象, 并对其进行PLD时间分别为1.5s和2.5s的3D pCASL磁共振灌注成像扫描, 观察患者的术前术后ASL灌注表现, 分析不同PLD时间, 术侧与非术侧术前术后绝对CBF值与相对CBF的变化情况。**结果** 44例患者中, 行左侧搭桥24例, 右侧搭桥20例, 行第一次搭桥术30例, 行第二次搭桥术14例, 通过分析长短PLD时间的ASL血流灌注图, 术前术后均能够动态观察脑血流的动态灌注情况。不同的PLD时间, 术侧与非术侧的术后CBF值都明显升高, 术前术后的差异有明显的统计学意义( $P < 0.05$ )。术前不同的PLD时间, 术侧与非术侧的差异没有统计学意义( $P > 0.05$ ), 术后术侧-CBF值比非术侧-CBF值明显升高, 差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。术侧与非术侧的比值为相对脑血流量(rCBF), 不同的PLD时间, 术后rCBF值比术前明显升高, 术前术后的差异有统计学差异( $P < 0.05$ )。术前术后, PLD=1.5s与PLD=2.5s的rCBF值均没有统计学差异( $P > 0.05$ )。**结论** 双延迟3D pCASL可以动态显示烟雾病患者血流动力学的改变, 可以有效的评估烟雾病患者STA-MCA术术后脑血流的改善情况, 对评估烟雾病患者血管重建术后的血流动力学改变具有重要的意义。

**【关键词】** 烟雾病; STA-MCA术; 3D pCASL; 标记延迟时间

**【中图分类号】** R742

**【文献标识码】** A

**【基金项目】** 国家重点研发计划课题:  
区域磁共振临床评价(华中南)(2016YFC0107104)

DOI: 10.3969/j.issn.1672-5131.2019.06.001

通讯作者: 许乙凯

## Evaluation of Hemodynamic Changes in Patients with Moyamoya Disease before and after STA-MCA Revascularization by 3D pCASL\*

LI Cai-xia, CHEN Zhao, XU Yi-kai. Department of Medical Imaging Center, Nanfang Hospital, Southern Medical University, Guangzhou 510515, Guangdong Province, China

**[Abstract] Objective** To evaluate the effect of 3D pCASL on hemodynamics in patients with moyamoya disease before and after STA-MCA revascularization. **Methods** 44 patients with moyamoya disease treated by STA-MCA revascularization in our hospital were selected as the subjects and the brain perfusion imaging was performed by MRI 3D pCASL perfusion with PLD of 1.5s and 2.5s. The ASL perfusion images of the patients were observed before and after operation, and the cerebral blood flow (CBF) and relative cerebral blood volume(rCBF) were analyzed between pre-operative and post-operative, and between operative side and non-operative side in the cerebral ischemia area. **Results** Of the 44 patients, 24 underwent left bypass, 20 right bypass, 30 first bypass and 14 second bypass. The dynamic changes of cerebral blood flow perfusion before and after operation were observed by ASL perfusion images. In different PLD time, the CBF value of the operative side and the non-operative side increased significantly on post-operative, and the difference between the pre-operative and post-operative had significant statistical significance ( $P < 0.05$ ). There was no significant difference in operative side and non-operative side on pre-operative ( $P > 0.05$ ). The CBF value of operative side was significantly higher than that of non-operative side on post-operative ( $P < 0.05$ ). The ratio of the operative side to the non-operative side was relative cerebral blood flow (rCBF). In different PLD time, the rCBF value increased significantly after operative. The difference between the pre-operative and post-operative was statistically significant ( $P < 0.05$ ). Before and after operation, there was no significant difference in rCBF values between PLD=1.5s and PLD=2.5s ( $P > 0.05$ ). **Conclusion** Dual-delay MRI 3D pCASL can dynamically display the hemodynamic changes in patients with moyamoya disease, and can effectively evaluate the improvement of cerebral blood flow in patients with moyamoya disease after STA-MCA. It is of great significance to evaluate the hemodynamic changes in patients with moyamoya disease after vascular reconstruction.

**[Key words]** Moyamoya Disease; STA-MCA; 3D pCASL; Post Labeling Delay

烟雾病(Moyamoya disease, MMD)是一种慢性进行性的脑血管病, 在影像学上以单侧或双侧颈内动脉或者颅内动脉近端慢性进行性狭窄或闭塞, 颅底烟雾状血管网形成为特征<sup>[1]</sup>。目前烟雾病还没有有效的药物治疗方法, 当脑血流动力学受到影响时, 脑血管重建是唯一的选择, 其中颞浅动脉-大脑中动脉搭桥术(STA-MCA)是应用最为广泛的治疗方案, 且有良好的治疗效果<sup>[2]</sup>。磁共振三维伪连续动脉自旋标记(3D pCASL)是一种新型的动脉自旋标记技术, 具有信噪比和空间分辨率高、无创、操作简单、可重复性测量脑血流量等优点, 是近年来应用于评估烟雾病围术期血流动力学改变的一个热点<sup>[3]</sup>。本研究选取了44例行STA-MCA搭桥术的烟雾病患者为研究对象, 探讨磁共振3D pCASL灌注成像对术前术后血流动力学改变的评价效果。

### 1 资料与方法

**1.1 临床资料** 选择2017年7月至2018年5月,在本院神经外科确诊并采用颞浅动脉一大脑中动脉(STA-MCA)分支吻合术治疗的MMD患者44例,其中男性21例,女性23例,年龄8~59岁,平均年龄38.36岁,术后复查MRI时间2~9天,平均5.16天,行左侧搭桥24例,右侧搭桥20例,行第一次搭桥术30例,行第二次搭桥术14例。临床表现为TIA,如肢体无力、视物模糊或言语不清等,均经全脑DSA确诊为MMD,并进行头颅双延迟3D pCASL检查。

**1.2 扫描方法及参数** 采用飞利浦Achieva 3.0T磁共振扫描仪,16通道相控阵头线圈。扫描序列包括: MRI常规序列(轴位T1WI、轴位T2WI、轴位 T2 FLAIR)、三维时间飞跃法磁共振血管成像(three-dimensional time of flight magnetic resonance angiography, 3D-TOF-MRA)、轴位扩散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)、3D pCASL。其中,3D pCASL扫描参数:使用背景抑制的pCASL脉冲标记,3D GRASE的读出方式,PLD分别为1.5s、2.5s,TR=3658ms(PLD=1.5s),TR=4658ms(PLD=2.5s),TE=10ms,体素 $3.75 \times 3.75 \times 8\text{mm}^3$ ,8个动态,标记时间1800ms,扫描时间4min 16s(PLD=1.5s),5min 26s(PLD=2.5)。

**1.3 图像分析方法** 在 Philips Achieva 3.0T磁共振配

套的工作站上进行ASL图像后处理,将灰白图调为彩色图,为了进行定量分析,在神经外科医生的指导下,根据大脑中动脉血供图,两位有经验的技师和医生测量图像的数据,在大脑中动脉(MCA)供血区域圈画ROI,大脑两侧的ROI镜像圈画,测得CBF值。

**1.4 统计学分析** 影像学检查所测得的所有数据均以表格形式录入数据库,用SPSS20.0统计软件进行统计学分析,计量资料首先检验样本正态性及方差齐性,数据采用( $\bar{x} \pm s$ )表示,将不同PLD时间术前术后的ASL-CBF各参数均值配对进行t值检验,  $P < 0.05$ 差异有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 术前术后影像图像表现** 44例患者术后均未发现新的病变,在MRA图像上均能显示大脑中动脉与颞浅动脉的吻合口,术前术后,PLD=1.5s能够敏感的显示脑缺血的低灌注改变,PLD=2.5s时,低灌注区域血流上升,直观的显示了脑慢速血流及侧支循环的代偿情况,通过两个时间的ASL血流灌注图,动态的观察了烟雾病患者的脑缺血状况及自身代偿的能力,见图1-6。

**2.2 术前术后术侧与非术侧的绝对CBF值变化情况** 在不同的PLD时间里,术侧与非术侧的术后CBF值都明显升高,术前术后的差异有明显的统计学意义( $P$

$< 0.05$ )。术前在不同的PLD时间里,术侧与非术侧的差异均没有统计学意义( $P > 0.05$ ),术后在不同的PLD时间里,术侧-CBF值比非术侧-CBF值均明显升高,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。见表1。

**2.3 术前术后rCBF值的变化情况** 术侧与非术侧的比值为相对脑血流量(rCBF),在不同的PLD时间里,术后rCBF值比术前明显升高,术前术后的差异有统计学差异( $P < 0.05$ )。术前术后,PLD=1.5s与PLD=2.5s的rCBF值均没有统计学差异( $P > 0.05$ ),见表2。

## 3 讨论

烟雾病是一种病因及发病机制尚未明确的慢性脑血管病,颅内血管长期缺血而逐渐萎缩变细。由于血管的脆弱性和长期缺血,颅内血管的自身调节能力和脑血管储备能力日渐变差,逐渐出现一些头晕头痛等症状而就诊。根据2015年日本卒中管理指南<sup>[4]</sup>,支持缺血性烟雾病进行血运重建手术,同时也证实了血管重建能够预防出血型烟雾病再出血的有效性。血管重建术目的在于重建血运,降低梗塞和卒中的风险,患者术前和术后都必须进行血流动力学的评估,临床上常采用灌注成像技术进行烟雾病脑血流动力学的评估<sup>[5]</sup>。近年来,烟雾病在我国的发病率和患病率有逐渐上升的趋势,在女性多

表1 不同PLD时间术侧与非术侧的CBF值比较

组别	例数	PLD=1.5s CBF (ml/100g.min)		t	P	PLD=2.5s CBF (ml/100g.min)		t	P
		术前	术后			术前	术后		
术侧	44	26.31 ± 15.69	40.48 ± 22.05	-5.25	<0.05	34.90 ± 13.68	50.38 ± 18.50	-6.58	<0.05
非术侧	44	28.41 ± 15.24	35.22 ± 17.40	-3.78	<0.05	35.22 ± 12.14	44.76 ± 15.43	-6.16	<0.05
t		-1.55	2.34			-0.26	3.20		
P		>0.05	<0.05			>0.05	<0.05		

表2 不同PLD时间术前术后rCBF值的比较

组别	例数	rCBF (ml/100g.min)		t	P
		术前	术后		
PLD=1.5s	44	1.01 ± 0.47	1.28 ± 0.72	-3.80	<0.05
PLD=2.5s	44	1.00 ± 0.21	1.15 ± 0.27	-9.94	<0.05
t		0.14	1.46		
P		>0.05	>0.05		

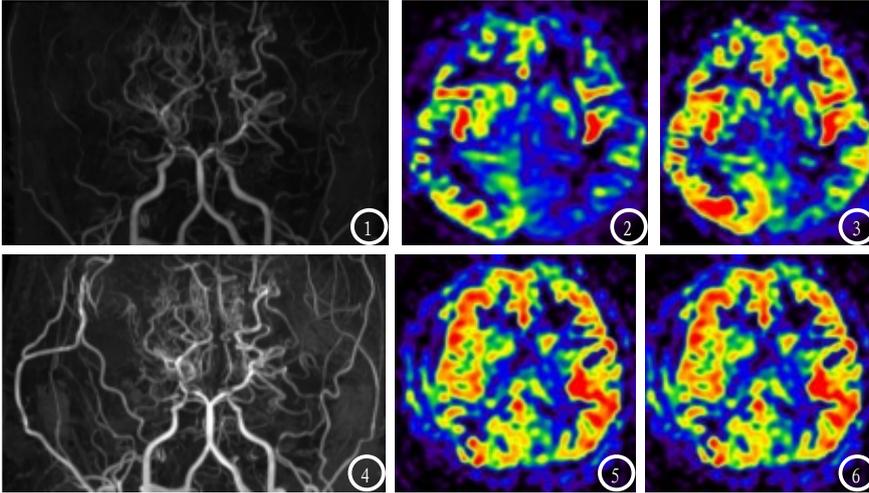


图1-6 烟雾病患者术前术后MRA和ASL图像。图1-3: 分别显示术前图像, 图1 MRA: 提示烟雾血管形成; 图2 ASL(PLD=1.5s): 双侧额叶, 左侧枕叶低灌注图; 图3 ASL(PLD=2.5s), 双侧额叶左侧枕叶有灌注升高; 图4-6: 分别显示术后图像, 图4 MRA: 清楚的显示了颞浅动脉和大脑中动脉的吻合; 图5 ASL(PLD=1.5s): 术后脑缺血状态得到明显的改善; 图6 ASL(PLD=2.5s), 术后脑血流维持较好状态。

发, 有儿童和青壮年2个高峰发病年龄<sup>[2]</sup>。所以无创的脑血流灌注成像技术也是近几年来评估烟雾病患者状况的一个趋势。

动脉自旋标记(arterial spin labeling, ASL)灌注是评价脑血流动力学损伤的一种新方法。ASL采用动脉水中的水分子作为示踪剂, 无需使用外源性对比剂。Alsop, D. C.<sup>[6]</sup>联合撰写的白皮书提出采用伪连续性pCASL标记的信噪比高于脉冲式pASL标记, 采用多时相可以获得更准确的CBF, 推荐使用背景抑制提升信噪比, 使用3D GRASE或多回波的3D RARE读出方式, 进一步减少磁化伪影和信号的丢失。所以, 在我们这个方案中选择了双延迟的3D pCASL序列。我们的研究显示, 3D pCASL图像能很好的显示烟雾病患者术前术后血流动力学改变的区域, 由于具有无创性、可重复

性、可以定量分析, 所以易被患者接受。

多项研究表明, ASL灌注成像技术在评估烟雾病血流动力学方面与DSA、SPECT、PET和CTP有相关性<sup>[7-9]</sup>, 能够准确的评估烟雾病血流动力学的改变, 然而大部分研究是单延迟术前的评估, 我们的研究主要是探究双延迟3D pCASL在烟雾病STA-MCA术前术后脑血流动力学评估中的应用价值。由于烟雾病患者血管狭窄的程度及烟雾血管的形成不尽相同, 一方面颅内动脉狭窄会导致脑血流量降低, 另一方面代偿性侧支循环增多会导致脑血流量升高, 这两种现象共同作用下, 烟雾病患者的脑血流动力学具有复杂性和动态性<sup>[10]</sup>。所以需要能够动态观察脑血流灌注的方法进行评估。在我们这个研究方案中, 运用了ASL扫描的一个参数

PLD时间进行动态观察, PLD时间是指从标记到采集的时间间隔, 在实际工作中, PLD长采用经验值2000ms<sup>[11]</sup>, 保证有足够的时间使标记的血液到达扫描层面。由于烟雾病患者既有血管狭窄又有新生的侧支循环, 所以可以采用了两个标记延迟时间的3D pCASL灌注成像动态观察, 分别是短的PLD时间1.5s, 测得CBF值最低, 能够敏感的显示缺血区域灌注的表现, 长的PLD时间2.5s, 能够显示慢速血流及侧支循环的代偿状态。这与杜慧等<sup>[12]</sup>的研究结果部分一致。通过两个时间的对比分析, 能够得出患者术前的缺血状态及侧支循环的代偿情况。

在我们的研究中, 患者术后复查的时间为2~9天, 均能够敏感的观察术后脑血流动力学改变的情况。分别探讨了不同PLD时间, 术侧以及非术侧的大脑中动脉供血区域在术前术后CBF值的变化情况, 结果显示, 无论是术侧还是非术侧, 术后-CBF都比术前-CBF明显升高, 差异有显著的统计学意义, 表明所有患者经STA-MCA血管重建术治疗后, 左右侧大脑中动脉供血区域的脑血流灌注情况都得到明显的改善, ASL-CBF可以明显的反映术后血流动力学改变的情况。

同时我们的研究结果显示, 术前, 术侧-CBF值与非术侧-CBF值没有显著性差异, 术后, 术侧-CBF值比非术侧-CBF明显高, 差异有统计学意义。提示血管重建术使术侧血流升高的比非术侧多, 分析原因与STA-MCA的手术方式相关。由于颞浅动脉-大脑中动脉搭桥术属于低流量搭桥术<sup>[13]</sup>, 搭桥术后, 颅内的血流进行了重新分布, 原本由大脑受损动脉供血的区域, 血流速度慢, 搭桥

术后, 该区域变成了桥动脉的供血区中心, 血流速度明显加快, 而直接作用的是术侧的血流, 所以导致术侧的血流相对较高。

在我们的研究中也进行了术侧与非术侧比值的rCBF值的比较, 不同的PLD时间, 术前术后rCBF的差异有明显的统计学差异, 再一次验证了STA-MCA术对烟雾病患者血流动力学的改善作用, 术前术后, 不同的PLD时间rCBF之间的差异没有统计学差异, 由于烟雾病患者大多伴随双侧动脉的病变, 影响的是双侧脑区的血流灌注, 术后改善也是双侧影响, 双侧同低同高, 所以不同的PLD时间, 其相对值差异不大。

在烟雾病患者STA-MCA围术期中, 双延迟3D pCASL的CBF测量可以提供患者术前术后动态的血流动力学信息, 可以评估术后脑血流灌注的改变情况。3D pCASL作为一种无创的灌注成像技术, 可在今后烟雾病患者的终身随访中进行有效的评估。

### 参考文献

[1] Bao XY, Duan L, Li DS, et al. Clinical features, surgical treatment and long-term outcome

in adult patients with Moyamoya disease in China[J]. *Cerebrovasc Dis*, 2012, 34(4): 305-313.

[2] 烟雾病和烟雾综合征诊断与治疗中国专家共识编写组, 国家卫生计生委脑卒中防治专家委员会缺血性卒中外科专业委员会. 烟雾病和烟雾综合征诊断与治疗中国专家共识(2017) [J]. *中华神经外科杂志*, 2017, 33(6): 541-547.

[3] 张慧勤, 李明利. 动脉自旋标记磁共振灌注技术在脑血管病中的应用进展[J]. *磁共振成像*, 2017, 8(12): 934-940.

[4] 任斌, 段炼. 2012年烟雾病(Willis环自发性闭塞) 诊断治疗指南(日本)的解读[J]. *中国脑血管病杂志*, 2014, 11(1): 6-9.

[5] 张亚男, 高培毅, 薛静. 烟雾病围术期的影像学研究进展[J]. *中国卒中杂志*, 2013, 8(8): 86-91.

[6] Alsop DC, Detre JA, Golay X, et al. Recommended implementation of arterial spin-labeled perfusion MRI for clinical applications: A consensus of the ISMRM perfusion study group and the European consortium for ASL in dementia[J]. *Magn Reson Med*, 2015, 73(1): 102-116.

[7] 任彦, 姚振威, 徐斌等. 3D-pCASL和DCE-MRI定量评价烟雾病侧支循环和血管通透性的初步应用[J]. *临床放射学杂志*, 2016, 35(1): 18-23.

[8] Noguchi T, Kawashima M, Irie H, et al. Arterial spin-labeling MR imaging in moyamoya disease compared with SPECT imaging[J]. *Eur J Radiol*, 2011, 80(3): e557-

562.

[9] 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.

[10] Ishii Y, Nariai T, Tanaka Y, et al. Practical clinical use of dynamic susceptibility contrast magnetic resonance imaging for the surgical treatment of moyamoya disease[J]. *Neurosurgery*, 2014, 74(3): 302-309.

[11] Grade M, Hernandez TJA, Pizzini FB, et al. A neuroradiologist's guide to arterial spin labeling MRI in clinical practice[J]. *Neuroradiology*, 2015, 57(12): 1181-1202.

[12] 杜慧, 王梦辰, 陈敦超, 等. 三维准连续动脉自旋标记技术中不同PLD值对单侧大脑中动脉狭窄或闭塞患者脑血流灌注的评估[J]. *磁共振成像*, 2017, 8(11): 801-806.

[13] 廖煜君, 李京润, 徐斌. 烟雾病搭桥术后暂时性神经功能障碍的分析[J]. *中国微侵袭神经外科杂志*, 2017, 22(11): 492-495.

(本文编辑: 谢婷婷)

【收稿日期】2019-03-16