

论 著

基于MRI灌注成像技术
评估不同血管重建术对
烟雾病患者脑血流动力
学的影响

董先成* 陈 忠 邓功建

张皓春

达州市中心医院 (四川 达州 635000)

【摘要】目的 探究基于MRI灌注成像技术(PWI)对颞浅动脉-大脑中动脉分支吻合术(STA-MCA)联合脑-硬脑膜-颞肌血管贴敷融合术(EDMS)术与脑-硬脑膜-动脉-肌肉血管融合术(EDAMS)治疗烟雾病患者脑血流动力学的影响。方法 选取2019.09~2022.09期间95例烟雾病手术患者,均经CTA及DSA确诊,拟行血管重建术,依据接受术式不同分为STA-MCA+EDMS组52例(采取STA-MCA联合EDMS)和EDAMS组43例(采取EDAMS)。术后3个月,评价2组患者临床疗效及并发症,通过颈外动脉造影评价血管重建效果,头颅MRI灌注成像测量脑血流动力学。结果 术后3个月,STA-MCA+EDMS组明显缓解率、缓解率分别为57.69%、90.38%,高于EDAMS组的37.21%、72.09%($P<0.05$);血管重建良好率82.69%,高于EDAMS组的62.79%($P<0.05$);2组术后并发症、预后不良事件总发生率差异均无统计学意义($P>0.05$);术后3个月,2组大脑前动脉CBF、CBV均升高,MTT、TTP均缩短($P<0.05$),且STA-MCA+EDMS组CBF、CBV更高,MTT、TTP更短($P<0.05$)。结论 PWI对烟雾病患者血管重建术后脑血流动力学具有较好评估价值,与EDAMS相比,STA-MCA联合EDMS治疗可更好促进血管重建、改善脑血流动力学及缓解病情,但在并发症及预后改善方面并无突出优势。

【关键词】烟雾病;脑血管重建;脑血流;
并发症;预后

【中图分类号】R743

【文献标识码】A

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2024.09.005

Influence of Different Vascular
Reconstruction Methods on Cerebral
Hemodynamics in Patients with Moyamoya
Disease Based on MRI Perfusion Imaging
Technology Evaluation

DONG Xian-cheng*, CHEN Zhong, DENG Gong-jian, ZHANG Hao-chun.

Dazhou Central Hospital, Dazhou 635000, Sichuan Province, China

ABSTRACT

Objective To explore the influence of superficial temporal artery-middle cerebral artery branch anastomosis (STA-MCA) and encephalo-duro-myo-synangiosis (EDMS) and encephalo-duro-arterio-myo-synangiosis (EDAMS) on cerebral hemodynamics in the treatment of moyamoya disease based on MRI perfusion imaging technology (PWI). **Methods** 95 patients undergoing moyamoya disease surgery from September 2019 to September 2022 were selected, and they were diagnosed by CTA and DSA and planned to undergo vascular reconstruction. According to the different surgical methods, they were divided into STA-MCA+EDMS group (STA-MCA combined with EDMS, 52 cases) and EDAMS group (EDAMS, 43 cases). At 3 months after surgery, the clinical efficacy and complications of the two groups were evaluated. The vascular reconstruction effect was evaluated by external carotid arteriography, and the cerebral hemodynamics were measured by head MRI perfusion imaging. **Results** At 3 months after surgery, the significant remission rate and remission rate in STA-MCA+EDMS group with 57.69% and 90.38% were higher than 37.21% and 72.09% in EDAMS group ($P<0.05$). The good rate of vascular reconstruction with 82.69% was higher than 62.79% in EDAMS group ($P<0.05$). There were no statistical differences in the total incidence rates of postoperative complications and adverse prognosis events between groups ($P>0.05$). The CBF and CBV of anterior cerebral artery in the two groups at 3 months after surgery were enhanced, and the MTT and TTP were shortened ($P<0.05$), and the CBF and CBV were higher and the MTT and TTP were shorter in STA-MCA+EDMS group ($P<0.05$). **Conclusion** PWI has a good evaluated value on cerebral hemodynamics in patients with moyamoya disease after vascular reconstruction. Compared with EDAMS, STA-MCA combined with EDMS can better promote the vascular reconstruction, improve the cerebral hemodynamics and relieve the disease condition, but there is no prominent advantage in the improvement of complications and prognosis.

Keywords: Moyamoya Disease; Cerebral Vascular Reconstruction; Cerebral Hemodynamics; Complications; Prognosis

烟雾病是主要累及颈内动脉末端及大脑前、中动脉起始部的一种脑血管闭塞性疾病,可引起脑缺血性或出血性症状,一经诊断需积极治疗。目前临床对于烟雾病治疗尚无特效药,轻型烟雾病患者一般以观察和内科治疗为主,中、重型则主要采取外科血管重建术,包括直接血管重建、间接血管重建及联合重建,其目的在于改善神经功能、降低缺血或出血性卒中复发率,但当前并无统一术式,探求疗效好、并发症少的术式是临床关注重点^[1]。颞浅动脉-大脑中动脉分支吻合术(superficial temporal artery to middle cerebral artery, STA-MCA)是最常见的直接血管重建方式,能直接恢复病变部位血流灌注^[2]。脑-硬脑膜-颞肌血管贴敷融合术(encephalo-duro-myo-synangiosis, EDMS)是一种间接血管重建术,可帮助烟雾病患者形成自颅外到颅内循环的侧支血管,不过其单独应用无法满足整个皮质血管供应,仍存在一定局限,因此一般推荐与其他术式联合应用^[3]。脑-硬脑膜-动脉-肌肉血管融合术(encephalo-duro-arterio-myo-synangiosis, EDAMS)是在脑-颞肌贴敷术、脑-硬膜-动脉贴敷术基础上发展而来的一种间接血管重建术,术中通过将富含血管的肌肉贴敷于脑皮质表面,进而刺激血管新生,促进侧支循环建立^[4],目前关于烟雾病治疗的最佳术式尚缺乏循证医学依据。数字减影血管造影(digital subtraction angiography, DSA)是术前诊断及术后血管重建效果评估的金标准,但因费用昂贵、具有一定侵袭性等限制其应用;MRI灌注成像技术具有成像分辨率高、易操作等优势,多应用于脑血管重建术后评估^[5]。为此,本研究基于MRI灌注成像技术评估STA-MCA联合EDMS与EDAMS术对烟雾病患者疗效及脑血流动力学的影响,以为后期烟雾病手术方案选择提供参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料 以2019年09月至2022年09月期间95例烟雾病手术患者为观察对象,依据血管重建方案不同分为STA-MCA+EDMS组52例和EDAMS组43例。

入选标准:满足烟雾病诊断,均经多层螺旋CT血管造影(CT angiography, CTA)及DSA确诊^[6]; Suzuki分期III期及以上;行STA-MCA联合EDMS治疗或EDAMS治疗,且均为单侧手术;手术避开脑梗死或脑出血急性期 ≥ 1 月;年龄 ≥ 18 岁;术后随访时间 ≥ 6 个

【第一作者】董先成,男,副主任医师,主要研究方向:神经外科颅脑及脊柱脊髓疾病的外科治疗。Email: dxc1231232024@126.com

【通讯作者】董先成

月；病历资料完整。排除标准：单侧颈内动脉狭窄或闭塞者；因动脉粥样硬化、镰状细胞贫血等所致颈内动脉狭窄；严重神经功能缺损者；合并恶性肿瘤、血液病、免疫系统疾病、重要脏器功能不全等严重疾病；脑血管手术史。STA-MCA+EDMS组男、女分别23、29例，年龄22~58(39.57±8.62)岁，Suzuki分期Ⅲ期、Ⅳ期、Ⅴ期分别25、20、7例，手术侧左侧、右侧分别28、24例；EDAMS组男、女分别18、25例，年龄24~59(40.62±7.85)岁，Suzuki分期Ⅲ期、Ⅳ期、Ⅴ期分别22、18、3例，手术侧左侧、右侧分别26、17例。两组基线资料可比(P>0.05)。

1.2 血管重建术方法

1.2.1 STA-MCA+EDMS组 行STA-MCA联合EDMS。患者行全麻、处仰卧位，头偏向非术侧约70°；进行常规消毒、铺巾处理后，钝性分离帽状腱膜下结缔组织，而后对颞肌实施逆向分离；于颞骨处钻孔，行一大小约8×10cm²骨瓣(沿颞上线)，而后去除部分颞部颅骨(需额外注意避免损伤脑膜中动脉主干及分支)；硬膜悬吊并剪开，在皮质表面部位，游离出受体血管(血管直径0.7~1.0 mm)，吻合颞浅动脉顶支或者额支端侧，STA-MCA术操作完成后；继续剪开硬膜(沿脑膜中动脉主干及分支两侧)，而后将其翻转、贴敷于脑表面(骨瓣下)，并使颞肌贴敷于脑表面，缝合并固定骨窗边缘，完成EDMS术后；回纳并固定骨瓣，遂将切口逐层缝合。

1.2.2 EDAMS组 实施EDAMS术。全麻后取仰卧位，将患者头偏向非术侧，大约约20°部位，取扩大翼点入路，实施开颅，而后小心沿额颞皮肤进行切口，分离颞浅动脉主干及额顶支，后应用铣刀游离大小为6×8cm²骨瓣，再沿脑膜中动脉及分支(注意避免损伤)走行，将硬脑膜呈放射状剪开，并反折铺于脑表面处；剥离并且暴露颞浅动脉，于颞肌穿孔后，将其铺于脑表面；而后沿着脑沟逐层剪开蛛网膜(显微镜下操作)，翻转并剪开条状硬脑膜，并贴敷于脑表面，而后对颞肌瓣及硬脑膜反折处缝合，再修剪颞肌反折处骨瓣下缘，修剪成合适形状后，回纳、骨瓣复位固定，逐层缝合切口。

1.3 观察指标

1.3.1 血管重建术治疗情况分析 (1)手术疗效：术后3个月，评价患者临床疗效，参考文献疗效标准^[7]，优秀：症状消失，无神经功能障碍遗留；良好：症状改善明显，伴或不伴遗留神经功能障碍；一般：症状部分缓解，伴或不伴遗留神经功能障碍；差：症状未缓解甚至变重；明显缓解率=(优秀+良好)/总例数×100%，缓解率=(优秀+良好+一般)/总例数×100%。(2)血管重建疗效^[8] 术后3个月，患者均根据CTA及DSA评估结果进行分级，完全未见手术血管生长为0级，血管重建灌注面积占大脑中动脉供血区比<1/3、1/3~2/3、>2/3分别为Ⅰ级、Ⅱ级、Ⅲ级，其中Ⅱ~Ⅲ级视为血管重建效果良好。(3)并发症：统计2组患者血管重建手术特异性并发症发生情况，包括高灌注综合征、短暂性神经功能障碍、颞肌嵌顿肿胀、硬膜外血肿等。(4)统计两组随访预后不良事

件情况，包括新发脑梗死、短暂性脑缺血发作、再出血等。
1.3.2 脑血流动力学 术前、术后3个月，行头颅MRI灌注成像，记录术侧大脑前动脉参数，包括平均通过时间(mean transit time, MTT)、脑血流量(cerebral blood flow, CBF)、达峰时间(time to peak, TTP)及脑血容量(cerebral blood volume, CBV)。
1.4 统计学分析 整理数据，录入SPSS 25.0。率为计数资料描述方式，通过Fisher 精确概率或 χ^2 检验比较，秩和检验用于等级资料比较；($\bar{x} \pm s$)为计量数据表示方法，配对t检验用于手术前后对照，独立样本t检验用于组间比较；检验水准为0.05。

2 结果

2.1 血管重建术治疗情况分析 术后3个月，STA-MCA+EDMS组明显缓解率、缓解率均较EDAMS组高(P<0.05)，STA-MCA+EDMS组血管重建良好率较EDAMS组高(P<0.05)；2组并发症及预后不良事件差异不显著(P>0.05)，见表1。

2.2 脑血流动力学变化 术后3个月，2组大脑前动脉CBF、CBV均升高，MTT、TTP均缩短(P<0.05)，且STA-MCA+EDMS组CBF、CBV更高，MTT、TTP更短(P<0.05)，见表2。

表1 血管重建术治疗情况分析

项目	STA-MCA+EDMS组 (n=52)	EDAMS组 (n=43)	统计值	P值
术后3个月疗效	优秀	16(30.77)	7(16.28)	2.45 0.014
	良好	14(26.92)	9(20.93)	
	一般	17(32.69)	15(34.88)	
	差	5(9.62)	12(27.91)	
	明显缓解	30(57.69)	16(37.21)	3.954 0.047
	缓解	47(90.38)	31(72.09)	5.360 0.021
血管重建分级	0级	1(1.92)	4(9.30)	2.29 0.022
	Ⅰ级	8(15.38)	12(27.91)	
	Ⅱ级	30(57.69)	21(48.84)	
	Ⅲ级	13(25.00)	6(13.95)	
	良好率	43(82.69)	27(62.79)	4.808 0.028
	并发症			
预后不良事件	高灌注综合征	4(7.69)	0(0.00)	
	短暂性神经功能障碍	3(5.77)	4(9.30)	
	颞肌嵌顿肿胀	1(1.92)	0(0.00)	
	硬膜外血肿	2(3.85)	0(0.00)	
	总发生率	10(19.23)	4(9.30)	1.846 0.174
	新发脑梗死	1(1.92)	0(0.00)	
	短暂性脑缺血发作	2(3.85)	1(2.33)	
	再出血	0(0.00)	2(4.65)	
	癫痫	2(3.85)	0(0.00)	
	死亡	1(1.92)	1(2.33)	
	总发生率	6(11.54)	4(9.30)	0.125 0.724

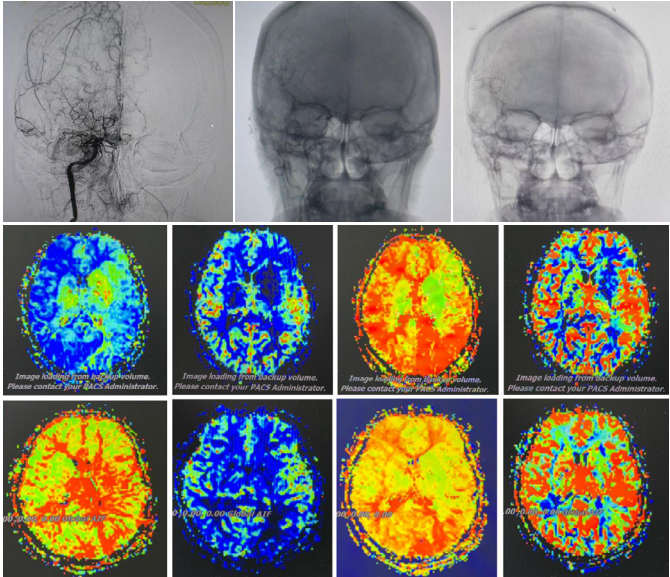


图1-图11 烟雾病STA-MCA+EDMS术前后DSA、PWI图像

表2 2组手术前后脑血流动力学比较

组别	时间	MTT(s)	CBF(mL/100 mg•min ⁻¹)	TTP(s)	CBV(mL/100g)
STA-MCA+EDMS组(n=52)	术前	5.35±0.64	20.08±3.26	8.45±0.82	2.86±0.35
	术后3个月	3.65±0.51 ^{ab}	25.86±3.59 ^{ab}	6.88±0.56 ^{ab}	3.84±0.61 ^{ab}
EDAMS组(n=43)	术前	5.29±0.59	20.14±3.42	8.33±0.76	2.79±0.41
	术后3个月	4.21±0.62 ^a	23.01±3.14 ^a	7.52±0.62 ^a	3.42±0.53 ^a

注：与术前比较，^aP<0.05；与EDAMS组比较，^bP<0.05。

3 讨 论

烟雾病作为一种进展性疾病，目前尚无药物能有效逆转或延缓其病变过程，早期进行外科血管重建是控制烟雾病病情进展的主要手段，不仅能有效缓解患者症状、改善脑血流动力学及神经功能，还能降低脑卒中、脑出血风险^[9]。不过当前供选择的血管重建术式较多，而不同术式对患者血管重建效果及并发症影响不同，因此烟雾病的最佳治疗方案选择仍存在争议^[10]。

EDAMS术是烟雾病治疗中应用较多的间接血管重建术式，相较直接血管重建术，EDAMS手术操作相对简单、手术时间更短，术中将富含血管的肌肉贴敷于脑皮质表面，能促进侧支循环建立，为脑组织提供有效的代偿血供，其对缺血型、出血型烟雾病均展现出良好的近期疗效^[11]。不过EDAMS术可能难以阻止大脑前动脉供血区缺血表现，同时血运重建疗效易受侧支循环管径、脑血管痉挛因素影响^[12]。本研究EDAMS组经EDAMS治疗后，患者总缓解率可达72.09%，血管重建良好率达62.79%，脑血流动力学较术前改善，提示EDAMS治疗烟雾病疗效尚可。近些年来，有不少学者提出，将直接血管重建术和间接血管重建术联合应用于烟雾病治疗，能充分发挥二者优势，不仅能在短时间改善血供，还能建立良好侧支循环，对提高临床疗效有积极意义^[13-14]。STA-MCA是治疗烟雾病最常见的直接血管重建术，可即刻恢复缺血脑组织灌注，改善脑血流动力学及缺氧状态，从而缓解症状、改善预后。还有文献显示^[15]，烟雾病患者内皮祖细胞数量明显升高，而采用STA-MCA术式不仅能减少缺血型烟雾病患者内皮祖细胞数量，降低侧支再生率及脑缺血发作，还能降低出血型烟雾病患者破裂血管的血流动力学压力。EDMS是一种安全、有效的间接血管重建术，术中将颞肌及硬膜翻转贴敷于大脑表面，可与颅内外血管交通，最大限度利于脑膜中动脉和颞深动脉为间接手术血管供体，使患者能从新生自发吻合中获益^[16]。已有文献指出^[17]，STA-MCA联合EDMS手术能综合直接手术和间接手术优势，不仅能迅速改善血流动力学，还易于生成新的侧支循环血管，减少静脉充血风险，对改善患者缺血症状、预防再出血有积极意义。

本文结果显示，STA-MCA+EDMS组术后3个月，明显缓解率、缓解率均高于EDAMS组，血管重建效果优于EDAMS组，脑血流动力学改善优于EDAMS组，提示STA-MCA联合EDMS手术较EDAMS能提高烟雾病疗效，改善血流动力学，推测因为STA-MCA联合EDMS手术结合了直接手术和间接手术的优势，能在短时间内改善脑血供，同时最大限度利用颈外动脉血供，促进侧支循环建立，故血管重建及脑血流改善效果更好，从而更好缓解患者神经症状；而单纯EDAMS治疗短期仅能恢复局部血运，且术后重新建立的血运可能出现堵塞而影响疗效，故STA-MCA联合EDMS短期治疗效果更好，这与李海龙等^[18]报道一致。手术不仅要考虑疗效，还应考虑手术并发症风险，使患者能从术中最大获益，理论上而言，联合血管重建术手术暴露面积更大，术后并发症风险更高。但本文2组术后并发症差异并不显著。分析并发症原因，STA-MCA+EDMS组术后高灌注综合征发生率略高于EDAMS组，这可能因为STA-MCA术后可能引起短时间脑组织灌注过度现象，应引起临床重视。STA-MCA+EDMS组术后出现3例短暂性神经功能障碍，这可能与缺血再灌注损伤有关，而EDAMS组出现4例，可能与EDAMS术后新侧支循环尚未建立，而原本代偿形成的血管网术中被破坏有关，故可引起暂时脑灌注不足情况。STA-MCA+EDMS组术后还出现2例硬膜外血肿，可能与手术难度大、止血不彻底有关。本研究随访1年内，2组患者新发脑梗死、短暂

性脑缺血发作、再出血、癫痫、死亡发生率及预后不良事件总发生率均无显著差异，提示两种术式对患者远期预后影响相当。不过考虑到本研究为单中心、小样本的回顾性研究，且随访时间有限，相关结论仍有待前瞻性、大样本研究进一步确证。

综上所述，PWI对烟雾病患者血管重建术后脑血流动力学具有较好评估价值，与EDAMS相比，STA-MCA联合EDMS治疗可更好促进血管重建、改善脑血流动力学及缓解病情，但在并发症及预后改善方面并无突出优势。

参考文献

[1] 烟雾病和烟雾综合征诊断与治疗中国专家共识编写组, 国家卫生健康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.

[2] 闫灵娟, 梁媛, 金京兰, 等. 超声在STA-MCA搭桥术治疗烟雾病中的评估价值 [J]. 重庆医科大学学报, 2023, 48(2): 148-154.

[3] 仇诚, 张燕平, 余志强, 等. 烟雾病颅内血管重建术后新生血管能力的相关因素分析 [J]. 临床神经外科杂志, 2022, 19(4): 381-386.

[4] Hazra D, Chandy GM, Ghosh AK. A single - center retrospective observational study on patients undergoing Encephalo-Duro-Arterio-Myo-Synangiosis in patients with moyamoya disease [J]. Brain Circ, 2022, 8(2): 94-101.

[5] 段宇, 徐斌, 毛仁玲, 等. 相位对比磁共振成像定量评估烟雾病患者血管重建术前后血流动力学 [J]. 国际脑血管病杂志, 2020, 28(3): 185-190.

[6] Research Committee on the Pathology and Treatment of Spontaneous Occlusion of the Circle of Willis; Health Labour Sciences Research Grant for Research on Measures for Intractable Diseases. Guidelines for diagnosis and treatment of moyamoya disease (spontaneous occlusion of the circle of Willis) [J]. Neurol Med Chir (Tokyo), 2012, 52(5): 245-266.

[7] 泮双军, 张玉, 侯勇, 等. 同血管重建手术治疗成人烟雾病的疗效分析 [J]. 中华医学杂志, 2019, 99(13): 998-1002.

[8] 李宏锴, 徐海涛, 杨升, 等. 两种血管重建术对治疗成人烟雾病效果的比较 [J]. 中国医药导报, 2018, 15(20): 58-62.

[9] Ihara M, Yamamoto Y, Hattori Y, et al. Moyamoya disease: diagnosis and interventions [J]. Lancet Neurol, 2022, 21(8): 747-758.

[10] 张子晴, 卢燕, 尹世敏. 成人烟雾病治疗的相关研究进展 [J]. 国际神经病学神经外科学杂志, 2023, 50(3): 78-83.

[11] Kalra N, Bautista M, McCullagh H, et al. PedsQL score post encephalo-duro-arterio-myo-synangiosis procedure for moyamoya disease: a single center experience [J]. World Neurosurg, 2020, 144: e674-e678.

[12] Hazra DN, Ghosh AK. Complications following Encephalo-Duro-Arterio-Myo-Synangiosis in a case of Moyamoya disease [J]. Brain Circ, 2020, 6(1): 57-59.

[13] 赵金兵, 何升学, 刘宏毅, 等. 烟雾病患者联合血管重建术后侧支循环的建立 [J]. 中华神经外科杂志, 2016, 32(10): 1011-1016.

[14] 李亚明, 刘献志, 张智峰, 等. 不同手术方法治疗成人蛛网膜下腔出血型烟雾病效果分析 [J]. 中华实用诊断与治疗杂志, 2022, 36(7): 724-728.

[15] Bao XY, Fan YN, Liu Y, et al. Circulating endothelial progenitor cells and endothelial cells in moyamoya disease [J]. Brain Behav, 2018, 8(9): e01035.

[16] Shen W, Xu B, Li H, et al. Enlarged Encephalo-Duro-Myo-Synangiosis treatment for moyamoya disease in young children [J]. World Neurosurg, 2017, 106: 9-16.

[17] 李靖, 张继东, 汤银娜. 烟雾病患者经颞浅动脉-大脑中动脉分支吻合联合脑-硬脑膜-肌肉血管融合术治疗的效果评价 [J]. 医学临床研究, 2021, 38(5): 785-787.

[18] 李海龙, 魏剑波, 李密, 等. STA-MCA+EDMS术和EDAMS术治疗烟雾病患者的效果对比及安全性分析 [J]. 广西医科大学学报, 2020, 37(3): 510-514.

(收稿日期: 2024-06-03)
(校对编辑: 韩敏求)