

## 临床研究

DOI:10.13406/j.cnki.cyx.003055

## 超声在 STA-MCA 搭桥术治疗烟雾病中的评估价值

闫灵娟<sup>1</sup>, 梁媛<sup>1</sup>, 金京兰<sup>1</sup>, 高鸿奎<sup>1</sup>, 方伟<sup>2</sup>, 王佳<sup>1</sup>

(1. 空军军医大学第二附属医院 1. 超声科; 2. 神经外科, 西安 710038)

**【摘要】目的:**应用超声技术对行颞浅动脉(superficial temporal artery, STA)-大脑中动脉(middle cerebral artery, MCA)搭桥术的烟雾病(moyamoya disease, MMD)患者进行术前、术后评估,探讨超声在早期预测手术成功率方面的临床价值。**方法:**选取2018年7月至2020年9月在空军军医大学第二附属医院行MMD搭桥术的患者28例,分别于术前1~3 d、术后4~7 d进行STA主干、顶支、额支内径及血流动力学参数检测;MCA远段及近段,大脑后动脉(posterior cerebral artery, PCA)血流动力学参数检测;术后桥血管内径及血流动力学参数进行检测。血流动力学参数测量包括收缩期峰值血流速度(systolic peak flow velocity,  $V_s$ )、舒张期末血流速度(diastolic end flow velocity,  $V_d$ )、平均血流速度(mean flow velocity,  $V_m$ )、搏动指数(pulse index, PI)、阻力指数(resistance index, RI)。所有患者根据术后6个月至1年经数字减影血管造影(digital subtraction angiography, DSA)检查结果分为搭桥通畅组与不通畅组,统计分析2组检测血管血流动力学术前术后之间的差异。**结果:**所有患者术后6个月至1年内行DSA检查,证实86%(24/28)吻合血管通畅,手术成功。搭桥通畅组中92%(22/24)的患者术后与术前相比,STA、桥血管内径明显增宽, $V_s$ 、 $V_m$ 、 $V_d$ 明显升高,PI值明显减低,频谱呈“颅内动脉化”改变,且MCA远段血流反向,差异有统计学意义( $P<0.05$ );MCA近段、PCA血流参数术前术后相比无统计学差异。搭桥通畅组与不通畅组之间,通畅组STA和桥血管内径较不通畅组明显增宽,2组间差异有统计学意义( $P<0.05$ );通畅组STA和桥血管 $V_m$ 、 $V_s$ 、 $V_d$ 高于不通畅组,PI值低于不通畅组,差异有统计学意义( $P<0.05$ )。绘制ROC曲线,术后STA内径变化率 $\geq 37\%$ 、 $STA-PI \leq 1.26$ 是预测手术成功的最佳截断值。**结论:**MMD患者在进行STA-MCA搭桥术时,应用超声技术术前探查STA内径及血流参数,术后探查STA内径变化率及与桥血管的血流频谱PI值,在早期预测吻合口血管是否通畅、手术是否成功方面具有潜在的临床应用价值。

**【关键词】**超声技术;彩色多普勒;烟雾病;搭桥;血流动力学**【中图分类号】**R114**【文献标志码】**A**【收稿日期】**2021-06-04

## Evaluation value of ultrasound in superficial temporal artery-middle cerebral artery anastomosis in treating moyamoya disease

Yan Lingjuan<sup>1</sup>, Liang Yuan<sup>1</sup>, Jin Jinglan<sup>1</sup>, Gao Hongkui<sup>1</sup>, Fang Wei<sup>2</sup>, Wang Jia<sup>1</sup>

(1. Department of Ultrasound; 2. Department of Neurosurgery, The Second Affiliated Hospital of Air Force Medical University)

**【Abstract】Objective:** To conduct the preoperative and postoperative evaluation of moyamoya disease (MMD) patients undergoing superficial temporal artery (STA)-middle cerebral artery (MCA) anastomosis using ultrasound technique, and to investigate the clinical value of ultrasound in early prediction of surgical success rate. **Methods:** A total of 28 patients who underwent STA-MCA anastomosis in The Second Affiliated Hospital of Air Force Medical University from July 2018 to September 2020 were selected. The internal diameters and hemodynamic parameters of main branch, top branch and frontal branch of STA trunk, the distal and proximal MCA and the posterior cerebral artery (PCA) were detected 1-3 days before and 4-7 days after surgery. The internal diameter and hemodynamic parameters of bridging vessels were detected after surgery. Hemodynamic parameters were measured including systolic peak flow velocity ( $V_s$ ), diastolic end flow velocity ( $V_d$ ), mean flow velocity ( $V_m$ ), pulse index (PI) and resistance index (RI). All patients were divided into two groups according to the results of 6 months to 1 year digital subtraction angiography (DSA) examination after surgery, and the differences between the two groups were statistically analyzed. **Results:** All patients underwent DSA examination within 6 months to 1 year after surgery, which confirmed that 86% (24/28) of the anastomosis vessels were patency, and the operation was successful. Compared with preoperation, 92% (22/24) of patients in the patency group showed the diameter of STA and bridge vascular

作者介绍: 闫灵娟, Email: 1525206045@qq.com,

研究方向: 心血管疾病超声诊疗。

通信作者: 王佳, Email: 364878788@qq.com。

基金项目: 中国超声医师科技新星计划资助项目(编号: KJXX2021005)。

优先出版: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1046.R.20220629.0658.002.html>

(2022-06-30)

was significantly widened, the  $V_s$ ,  $V_m$  and  $V_d$  were significantly increased, PI value was significantly decreased after surgery, “intracranial arterialization” change appeared in spectrum, and reverse flow occurred in MCA distal segment (all  $P<0.05$ ). There were no statistically significant differences in the proximal segment of MCA and PCA blood flow parameters before and after surgery. The diameter of STA and bridge vascular in the patency group was significantly wider than that in the non-patency group ( $P<0.05$ ). The  $V_s$ ,  $V_m$  and  $V_d$  values of STA and bridging vascular in the patency group were higher than those in non-patency group, and the PI value was lower than that in the non-patency group, with significant differences between the two groups ( $P<0.05$ ). ROC curve were showed that the change rate of STA diameter after surgery was greater than or equal to 37%, and the STA-PI value was less than or equal to 1.26, which were the best cut-off values to predict the success of surgery. **Conclusion:** When MMD patients are undergoing STA-MCA anastomosis surgery, ultrasound technology can be used to detect the internal diameters and blood flow parameters of STA before surgery, and the internal diameter change rate and the PI of STA and bridge vessels after surgery, which has potential clinical application value for early prediction of whether the anastomotic vessels are patency and whether the operation is successful.

**[Key words]** ultrasound technique; color Doppler; moyamoya disease; anastomosis; hemodynamics

烟雾病(moyamoya disease, MMD)是一组 Willis 环双侧主要分支血管(颈内动脉系统为主,有时也包括大脑后动脉、脑膜中动脉等)慢性进行性狭窄或闭塞,继发出颅底异常小血管网为特点的脑血管疾病,主要临床表现为脑缺血,以及代偿血管扩张引起的脑出血<sup>[1]</sup>。目前颅内外血管重建术是 MMD 的主要治疗方法,可有效改善缺血脑组织的血液供应、增加血流量、减少脑缺血及脑出血的发生。常用手术方式为颞浅动脉-大脑中动脉(superficial temporal artery-middle cerebral artery, STA-MCA)搭桥并颞肌吻合术<sup>[2-3]</sup>。如何术前选择合适供血动脉,术后早期及时评估吻合血管的通畅性是预测手术成功的关键,也是临床亟需解决的问题。本研究应用彩色多普勒超声技术对行 STA-MCA 搭桥术的 MMD 患者进行术前、术后颅内外血管血流动力学综合评估,探讨超声在早期预测手术成功率方面的临床应用价值。

## 1 材料与方法

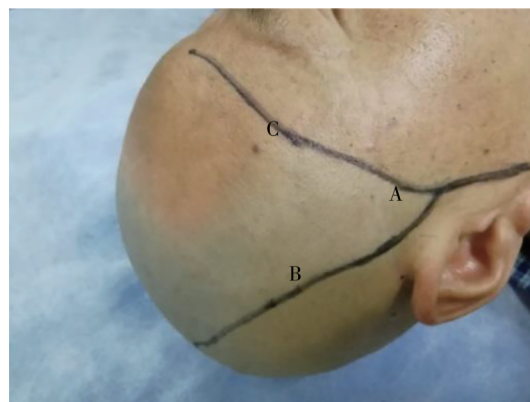
### 1.1 研究对象

选取 2018 年 7 月至 2020 年 9 月间在空军军医大学唐都医院神经外科经数字减影血管造影(digital subtraction angiography, DSA)检查确诊为 MMD 患者 28 例,其中,男性 13 例,女性 15 例,年龄 9~59 岁,平均年龄 40.5 岁。所有患者符合日本 MMD 研究委员会的诊断标准<sup>[4]</sup>,首发症状为脑缺血 16 例,脑出血 12 例,其中 2 例合并脑动脉瘤。所有入选研究对象术前均行超声、CT 灌注成像(CT perfusion imaging, CTP)、DSA 检查,根据临床症状及 CTP 结果决定手术侧,且排除动脉粥样硬化、自身免疫性疾病、脑肿瘤、脑膜炎、颅脑损伤、唐氏综合征、头部放射线损伤和甲状腺功能亢进症等疾病。

### 1.2 仪器与方法

**1.2.1 仪器** 采用日立 HIVEVISION Ascendus 型彩色多普勒彩超诊断仪,高频线阵探头 L74M,频率 5~13 MHz;相控式探头 S70,频率 1~5 MHz,取样线宽度 1 mm,取样线调整至与血流平行,夹角  $<60^\circ$ 。

**1.2.2 术前检测** 患者采取平卧位,头部略偏向非手术侧。沿耳屏前方应用高频线阵探头纵行探查 STA 主干,于血管走行平直处测量内径及血流参数。向上于分叉处分别沿颞骨、前额追踪探查颞浅动脉顶支及额支,于起始 1 cm 处测量并记录内径及血流参数。血流参数包括收缩期峰值血流速度(systolic peak flow velocity,  $V_s$ )、舒张期末血流速度(diastolic end flow velocity,  $V_d$ )、平均血流速度(mean flow velocity,  $V_m$ )、搏动指数(pulse index, PI)、阻力指数(resistance index, RI),并在体表标记血管走行(图 1)。然后嘱患者向非手术侧行侧卧位,在外耳道颞窗应用相控式探头,探头标志朝向眼睛,于丘脑水平监测大脑中动脉远段及近段、大脑后动脉近段血流动力学参数。以上血流动力学参数重复测量 3 次并取均值,均由同一名高年资医师进行操作。



注:A、B、C 分别代表颞浅动脉主干、顶支及额支

图 1 术前颞浅动脉走行标记

1.2.3 术后检测 吻合术后 4~7 d, 轻取切口处敷料, 患者采取平卧位, 头部略偏向非手术侧。应用高频线阵探头沿耳屏前方术前相同位置分别测量 STA 主干、额支、顶支内径及血流参数; 沿顶支向切口处追踪探查入颅处的桥血管的内径及血流参数。颞窗对颅内血管大脑中动脉近段、远段, 大脑后动脉血流动力学参数进行检测。以上血流动力学参数重复测量 3 次并取均值, 均由术前同一名高年资医师进行操作。所有患者术后 4~7 d 行 CTA 进一步探查血管通畅情况; 行 CTP 观测脑灌注改善情况; 术后 6 个月至 1 年行 DSA 检查, 确定吻合口血管通畅情况。

### 1.3 统计学处理

应用 SPSS 23.0 统计软件进行数据分析, 正态分布的计量资料以均数  $\pm$  标准差 ( $\bar{x} \pm s$ ) 表示, 组间比较采用  $t$  检验; 非正态分布的计量资料以  $M_d(P_{25}, P_{75})$  表示, 组间比较采用 Wilcoxon 秩和检验。为了评价指标的预测能力, 绘制受试者工作特征 (receiver operator characteristic, ROC) 曲线并计算曲线下面积 (area under the curve, AUC), 并计算截断点的敏感度、特异度。AUC 在 0.7~0.9 时有一定预测准确性, AUC 在 0.9 以上时预测准确性较高。检验水准  $\alpha=0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 2 组一般资料差异

所有患者术后 6 个月至 1 年内行 DSA 检查, 证实 86% (24/28) 吻合血管通畅, 手术成功; 14% (4/28) 吻合血管不通畅。吻合血管通畅组与不通畅组之间患者年龄、性别、手术侧别无统计学差异。

### 2.2 2 组 STA 术前术后血流动力学差异

搭桥术后 4~7 d 行超声检查, 与术前相比, 通畅组 STA 主干内径明显增宽 (图 2),  $V_m$ 、 $V_s$ 、 $V_d$  明显升高, 以  $V_m$  升高最为明显, 且 PI 值明显减低, 从平均 1.90 下降到 0.96, 差异均有统计学意义 ( $P<0.05$ ) (表 1); STA 血流频谱由“高阻型”转变为“低阻型”, 呈“颅内动脉化”改变 (图 3)。不通畅组 4 例患者术后 STA 主干内径略增宽,  $V_m$ 、 $V_s$ 、 $V_d$  轻度升高, PI 值减低不明显, 血流频谱仍呈“高阻型”, 术前术后无明显统计学差异 ( $P>0.05$ )。

### 2.3 2 组术后 STA 主干、桥血管血流动力学差异

2 组术后 4~7 d STA 血流动力学参数比较, 通畅组 STA 和桥血管内径较不通畅组明显增宽, 2 组间差异有统计学意义 ( $P<0.05$ ); 通畅组 STA 和桥血管  $V_m$ 、 $V_s$ 、 $V_d$  高于不通畅组, RI、PI 值低于不通畅组, 差异有统计学意义 ( $P<0.05$ ) (表 2)。通畅组中 22 例 (92%) 患者桥血管血流频谱呈“颅内型”, 其中 2 例患者桥血管与不通畅组桥血管一致, 呈“单峰”收缩期血流频谱 (图 4)。

### 2.4 2 组 MCA 近段、远段及 PCA 术前术后血流动力学差异

通畅组 MCA 远段血流反向, 近段血流由术前的稀疏短棒状不连续血流信号转变为术后略增多的细条状连续血流信号 (图 5), 血流速度较术前略增加, 差异有统计学意义 ( $P<0.05$ ), PI 及 RI 与术前无明显变化; PCA 血流速度、RI 及 PI 与术前无明显变化。不通畅组 MCA 远段无反向血流, 近段血流信号与术前未见明显增加, MCA、PCA 血流速度 RI 及 PI 与术前无明显变化 (表 3、图 6)。

### 2.5 ROC 曲线

绘制 STA 内径变化率及 STA-PI 预测手术成功的 ROC 曲线, STA 内径变化率 AUC 为 0.848 ( $P=0.0005$ ) (图 7), STA-

表 1 2 组 STA 术前术后血流动力学差异 ( $\bar{x} \pm s$ )

颞浅动脉		通畅组			不通畅组		
		术前	术后	P 值	术前	术后	P 值
主干	内径/mm	1.73 $\pm$ 0.24	2.33 $\pm$ 0.35	0.000	1.43 $\pm$ 0.22	1.58 $\pm$ 0.36	0.427
	$V_s/(cm \cdot s^{-1})$	59.45 $\pm$ 22.94	85.14 $\pm$ 29.47	0.003	49.67 $\pm$ 11.96	55.00 $\pm$ 7.91	0.417
	$V_d/(cm \cdot s^{-1})$	11.23 $\pm$ 5.10	35.77 $\pm$ 14.50	0.000	12.83 $\pm$ 3.19	15.80 $\pm$ 1.79	0.099
	$V_m/(cm \cdot s^{-1})$	25.50 $\pm$ 10.30	53.55 $\pm$ 19.98	0.000	23.50 $\pm$ 4.89	28.80 $\pm$ 5.36	0.120
	RI	0.80 $\pm$ 0.08	0.59 $\pm$ 0.07	0.000	0.74 $\pm$ 0.07	0.71 $\pm$ 0.02	0.475
	PI	1.90 $\pm$ 0.55	0.96 $\pm$ 0.20	0.000	1.58 $\pm$ 0.35	1.27 $\pm$ 0.19	0.118
额支	内径/mm	0.90 $\pm$ 0.34	1.18 $\pm$ 0.37	0.005	0.85 $\pm$ 0.28	1.04 $\pm$ 0.39	0.372
	$V_s/(cm \cdot s^{-1})$	37.67 $\pm$ 8.18	50.14 $\pm$ 15.48	0.001	35.83 $\pm$ 10.36	41.00 $\pm$ 15.95	0.532
	$V_d/(cm \cdot s^{-1})$	10.00 $\pm$ 3.07	17.05 $\pm$ 7.66	0.000	9.33 $\pm$ 3.72	12.20 $\pm$ 4.43	0.273
	$V_m/(cm \cdot s^{-1})$	20.48 $\pm$ 5.10	28.85 $\pm$ 10.03	0.000	18.00 $\pm$ 5.37	22.80 $\pm$ 8.17	0.271
	RI	0.73 $\pm$ 0.06	0.66 $\pm$ 0.09	0.004	0.74 $\pm$ 0.09	0.69 $\pm$ 0.07	0.362
	PI	1.37 $\pm$ 0.39	1.18 $\pm$ 0.32	0.041	1.53 $\pm$ 0.50	1.24 $\pm$ 0.19	0.249
顶支	内径/mm	1.00 $\pm$ 0.26	1.68 $\pm$ 0.37	0.000	0.95 $\pm$ 0.14	1.23 $\pm$ 0.39	0.140
	$V_s/(cm \cdot s^{-1})$	43.86 $\pm$ 16.30	79.18 $\pm$ 24.51	0.000	40.67 $\pm$ 8.96	38.25 $\pm$ 18.39	0.786
	$V_d/(cm \cdot s^{-1})$	10.95 $\pm$ 3.55	41.41 $\pm$ 18.36	0.000	10.00 $\pm$ 2.61	12.25 $\pm$ 6.45	0.456
	$V_m/(cm \cdot s^{-1})$	22.09 $\pm$ 7.69	55.64 $\pm$ 21.37	0.000	20.00 $\pm$ 4.56	21.00 $\pm$ 10.03	0.833
	RI	0.74 $\pm$ 0.07	0.51 $\pm$ 0.10	0.000	0.74 $\pm$ 0.07	0.70 $\pm$ 0.06	0.393
	PI	1.50 $\pm$ 0.40	0.77 $\pm$ 0.37	0.000	1.55 $\pm$ 0.32	1.30 $\pm$ 0.21	0.203

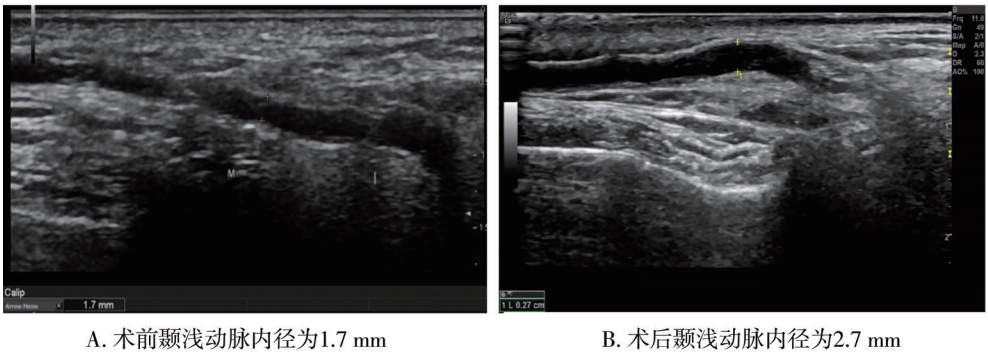


图2 搭桥术前后颞浅动脉内径变化

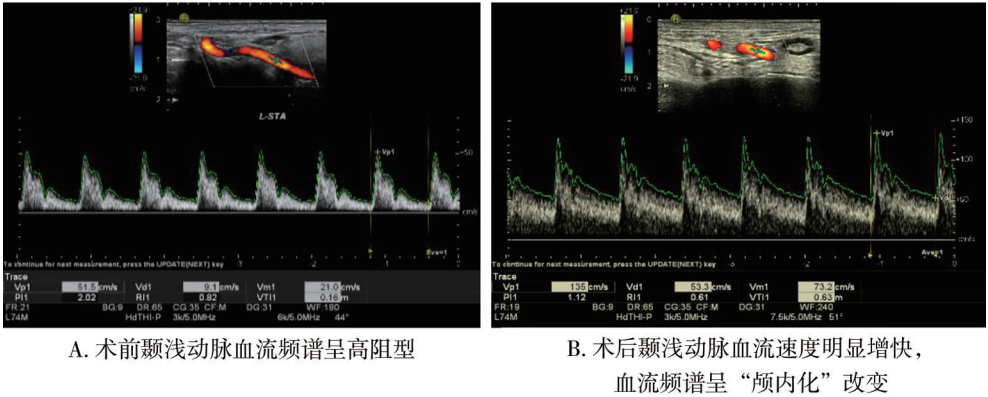


图3 通畅组搭桥术前后颞浅动脉血流频谱

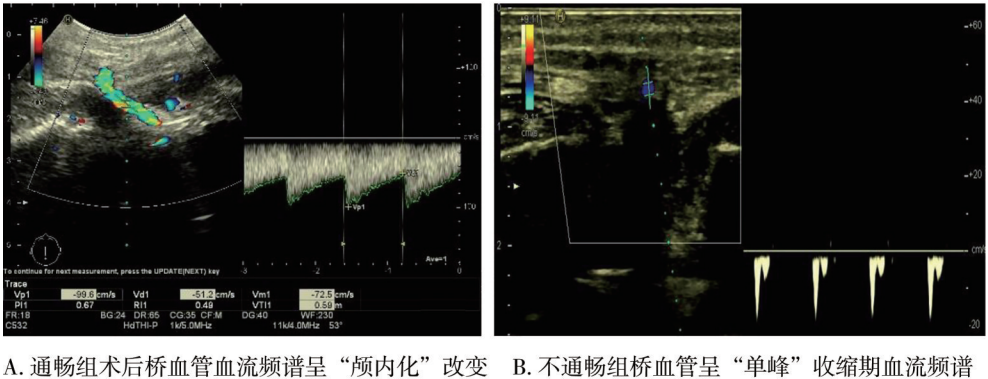


图4 搭桥术后通畅组与不通畅组桥血管血流频谱

超声参数	STA			桥血管		
	通畅组	不通畅组	P 值	通畅组	不通畅组	P 值
内径/mm	2.33 ± 0.35	1.58 ± 0.36	0.000	2.10 ± 0.40	1.63 ± 0.78	0.005
$V_s/(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$	85.14 ± 29.47	55.00 ± 7.91	0.034	80.32 ± 32.26	14.50 ± 0.71	0.010
$V_d/(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$	35.77 ± 14.50	15.80 ± 1.79	0.006	44.54 ± 18.04	2.00 ± 0.03	0.004
$V_m/(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$	53.55 ± 19.98	28.80 ± 5.36	0.012	59.27 ± 23.73	7.00 ± 0.00	
$V_s/(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$	53.55 ± 19.98	28.80 ± 5.36	0.012	59.27 ± 23.73	7.00 ± 0.04	0.006
RI	0.59 ± 0.07	0.71 ± 0.02	0.000	0.45 ± 0.10	0.87 ± 0.00	0.000
PI	0.96 ± 0.20	1.27 ± 0.19	0.004	0.63 ± 0.20	1.83 ± 0.78	0.000

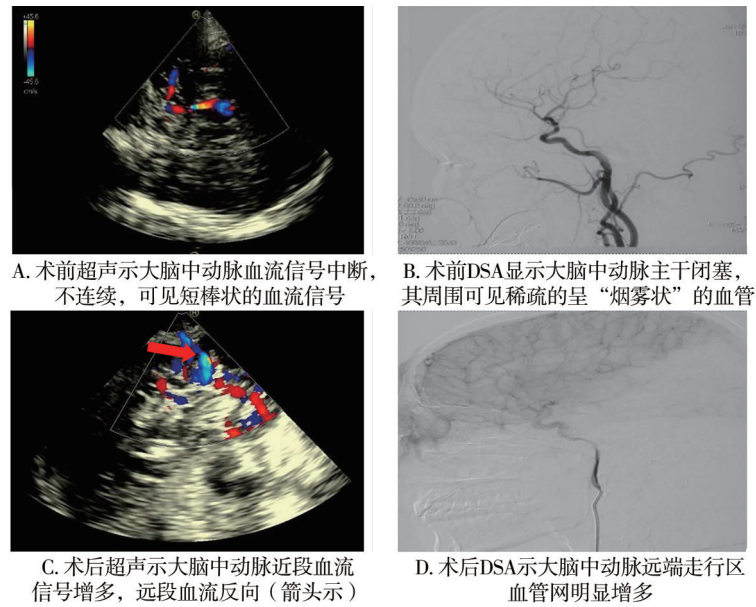


图5 通畅组同侧大脑中动脉术前术后血流显像

表3 2组MCA近段及PCA手术前后血流动力学差异

超声参数		通畅组			不通畅组		
		术前	术后	P值	术前	术后	P值
MCA 近段	$V_s/(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$	$35.73 \pm 13.66$	$45.35 \pm 23.90$	0.011	$49.33 \pm 0.00$	$47.00 \pm 25.46$	0.923
	$V_d/(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$	$19.00 \pm 6.78$	$23.88 \pm 13.50$	0.011	$26.33 \pm 0.00$	$24.50 \pm 10.61$	0.876
	$V_m/(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$	$26.93 \pm 10.54$	$33.53 \pm 17.60$	0.011	$36.33 \pm 0.00$	$34.00 \pm 15.56$	0.890
	RI	$0.46 \pm 0.07$	$0.47 \pm 0.10$	0.148	$0.45 \pm 0.00$	$0.46 \pm 0.08$	0.922
	PI	$0.62 \pm 0.13$	$0.65 \pm 0.17$	0.101	$0.61 \pm 0.00$	$0.61 \pm 0.17$	0.985
PCA	$V_s/(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$	$113.74 \pm 60.23$	$112.8 \pm 54.98$	0.935	$47.00 \pm 15.59$	$45.50 \pm 9.19$	0.913
	$V_d/(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$	$59.11 \pm 35.90$	$58.74 \pm 33.61$	0.950	$21.67 \pm 7.02$	$23.50 \pm 3.53$	0.763
	$V_m/(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$	$85.11 \pm 48.00$	$83.79 \pm 44.58$	0.871	$31.33 \pm 9.61$	$32.50 \pm 9.18$	0.901
	RI	$0.49 \pm 0.08$	$0.49 \pm 0.06$	0.944	$0.53 \pm 0.09$	$0.49 \pm 0.02$	0.582
	PI	$0.68 \pm 0.17$	$0.69 \pm 0.13$	0.825	$0.79 \pm 0.23$	$0.69 \pm 0.02$	0.591

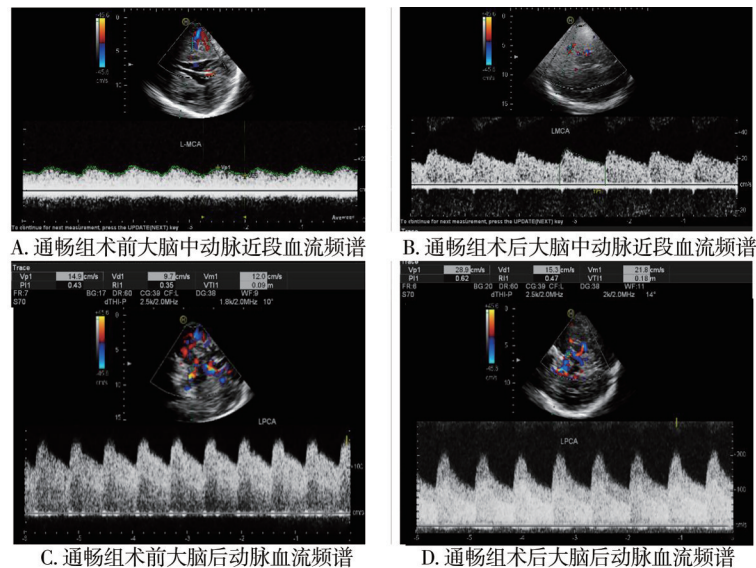


图6 通畅组大脑中动脉近段和大脑后动脉术前术后血流频谱

PI 的 AUC 为 0.877 ( $P=0.001$ ) (图 8)。预测手术成功最佳截断值, 术后 STA 内径变化率  $\geq 37\%$ , STA-PI  $\leq 1.26$ , 对应的敏感度分别为 66.7%、80.0%, 特异度为 95.5%、95.5%。

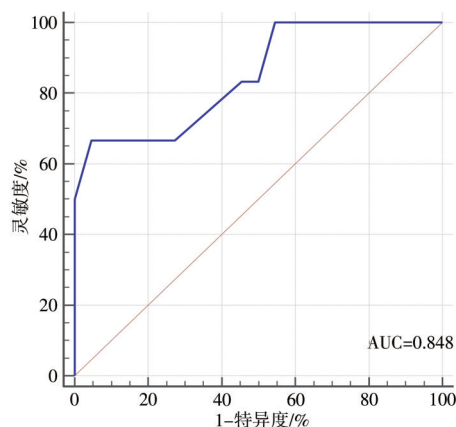


图7 STA内径变化率预测手术成功的ROC曲线

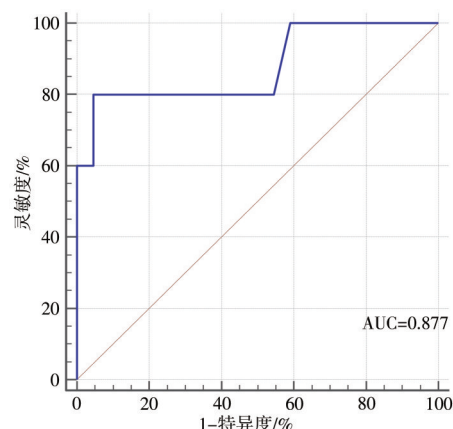


图8 STA-PI预测手术成功的ROC曲线

### 3 讨论

STA-MCA 搭桥并颞肌吻合术是治疗 MMD 的首选方法<sup>[5]</sup>, 术后建立的吻合血管不仅能改善缺血区脑灌注, 纠正血流动力学障碍, 增加脑组织缺血区域的血流量, 进而有效降低脑梗死和脑出血的发生率, 提高患者的生活质量<sup>[6]</sup>。MMD 患者烟雾血管紊乱, 血管壁薄弱, 吻合难度较大, 因此如何术前准确评价供血动脉、术后评价吻合血管的通畅性, 是手术成功的关键点。目前 DSA 仍然是判断脑血管通畅度的金标准<sup>[7]</sup>, 但是因其有创及可能引起血管痉挛、继发性闭塞等并发症, 不适于短期内重复使用。MRA 和 CTA 虽然在整体成像方面有优势, 但由于 MRA 对血流方向和低速度血流的判断不敏感,

CTA 检查存在放射性, 价格较为昂贵, 在随访使用中也有一定限制。超声技术具有无创、可动态重复观察的优势, 可应用于 MMD 术前疾病的诊断、体表标记, 术中实时检测, 以及术后疗效评估和随访等多个阶段<sup>[8]</sup>, 但是目前的研究中很少有关于术后早期 4~7 d 判断吻合血管通畅性的超声参考指标。本研究应用超声技术对行 STA-MCA 搭桥术的 MMD 患者行术前、术后早期评估, 旨在探讨超声在早期预测手术成功率方面的临床价值和敏感指标。

MMD 患者大脑中动脉起始段进行性闭塞, 远端的血流灌注减低, 呈“低搏动性”代偿血流频谱, 即“低阻型”血流频谱<sup>[9]</sup>。本研究发现通畅组患者虽然术后 DSA 复查显示术侧 MCA 供血有所改善, 彩色多普勒血流显示 MCA 近段血流由术前的稀疏短棒状不连续血流信号转变为术后略增多的细条状连续血流信号, 但术后 4~7 d MCA 近段、PCA 血流速度及频谱形态吻合前后统计学差异不明显, 考虑是由于搭桥术后颅外向颅内分流是一个血流再分配的过程, 需要一定的时间去适应新的血流动力学改变, 因此出院前探查 MCA 近段及 PCA 血流动力学参数不能作为早期评估手术是否成功的参考指标, 该参数的预测价值还需进一步长时间动态观察。

STA 是颈外动脉终末分支之一, 分为额支和顶支供应头皮, 循环阻力大, 其频谱形态与颈外动脉相仿, 正常即呈“高阻型”的血流频谱; STA-MCA 搭桥术后, 由于颅内压低于外部压力, 况且烟雾病患者脑组织处于缺血状态, 脑血管阻力低于头皮血管阻力, 因此术后 STA 血流速度明显增快, 以  $V_m$  增高较为明显, PI 值明显减低, 说明搭桥术后 STA 由术前向头皮供血的“高阻型”转变成为术后向颅内供血的“低阻型”血流频谱, 且 PI 值与吻合术后血管开放的程度有关, PI 值越低, 说明 STA 供血的范围越广。有研究表明 STA-MCA 搭桥术中 STA 的 PI  $\leq 1.10$  可作为判断术中吻合血管通畅性的可靠指标<sup>[10]</sup>, 但本研究结果中 24 例搭桥通畅患者, 其中术后 STA-PI 大于 1.10 的患者有 6 例, 如果按术后 STA 的 PI  $\leq 1.10$  作为判断术后吻合血管通畅性的超声指标, 其假阳性率可达 25%。本研究 24 例通畅组患者中有 22 例患者 STA、桥血管的 PI  $\leq 1.26$ , 提示吻合口血管通畅; 2 例患者 STA 的 PI  $\leq 1.26$ 、但桥血管血流频谱呈“单

峰”收缩期血流频谱,考虑术后切口下方皮下软组织水肿程度较重所导致的外压性阻力增高所致。4 例不通畅患者中 STA、桥血管 PI>1.26 或呈“单峰”收缩期血流频谱,与 CTA 检查结果一致。结合术后 STA、桥血管的内径变化率、PI 值,考虑到术后切口下方皮下软组织不同程度的水肿所导致的外压性血流阻力增高,并与术后 CTA 作比较,统计得出吻合术后早期 4~7 d STA 内径变化率 $\geq 37\%$ ,STA 和桥血管的 PI $\leq 1.26$ ,可作为超声提示吻合口血管通畅的早期提示指标。

本研究尚存在不足之处:首先,本研究纳入样本量偏少,特别是搭桥手术失败病例少,导致 2 组病例数不均衡;其次,本研究只对患者术前和术后出院前超声数据进行分析,没有对颅内血流状态的改变趋势进行长期动态监测。因此,本研究的临床价值尚待更多大样本研究进一步证实。

综上所述,MMD 患者在进行 STA-MCA 搭桥术时,应用超声技术术前探查 STA 内径及血流参数,术后探查 STA 内径变化率及与桥血管的血流参数,在早期预测吻合口血管是否通畅、手术是否成功方面具有潜在的临床应用价值。此外,超声评估方法具有无创、实时、准确及重复性高的特点,适合在各级医院推广应用。

## 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.
- [2] Amin-Hanjani S, Barker FG 2nd, Charbel FT, et al. Extracranial-intracranial bypass for stroke—is this the end of the line or a bump in the road?[J]. Neurosurgery, 2012, 71(3):557-561.
- [3] 李 伟,王增武,秦时强,等. 血管重建术治疗缺血型烟雾病的疗效分析[J]. 中国临床神经外科杂志,2020,25(3):161-163.
- [4] Li W, Wang ZW, Qin SQ, et al. Revascularization in the treatment of ischemic moyamoya disease[J]. Chin J Clin Neurosurg, 2020, 25(3):161-163.
- [5] Jang DK, Lee KS, Rha HK, et al. Bypass surgery *versus* medical treatment for symptomatic moyamoya disease in adults[J]. J Neurosurg, 2017, 127(3):492-502.
- [6] 周 平,欧一博,王 胜,等. 颅内外血管搭桥术治疗缺血性脑血管病的研究进展[J]. 中国临床神经外科杂志,2011,16(12):760-762.
- [7] Zhou P, Ou YB, Wang S, et al. Research progress of intracranial and extracranial vascular bypass grafting in the treatment of ischemic cerebrovascular disease[J]. Chin J Clin Neurosurg, 2011, 16(12):760-762.
- [8] Kwon WK, Kwon TH, Park DH, et al. Efficacy of superficial temporal artery-middle cerebral artery bypass in cerebrovascular Steno-occlusive diseases: Hemodynamics assessed by perfusion computed tomography[J]. Asian J Neurosurg, 2017, 12(3):519-524.
- [9] Yanaka K, Fujita K, Noguchi S, et al. Intraoperative angiographic assessment of graft patency during extracranial-intracranial bypass procedures[J]. Neurol Med Chir(Tokyo), 2003, 43(10):509-512.
- [10] 杨允东,李永强. 多普勒超声血流动力学监测在烟雾病 STA-MCA 吻合术中的应用[J]. 中国临床神经外科杂志,2018,23(7):476-478.
- [11] Yang YD, Li YQ. Change in the STA hemodynamics monitored by color Doppler ultrasound before and after STA-MCA anastomosis in patients with Moyamoya disease[J]. Chin J Clin Neurosurg, 2018, 23(7):476-478.
- [12] Zheng S, Ge PC, Li Y, et al. Association between ultrasound parameters and history of ischemic or hemorrhagic stroke in patients with Moyamoya disease[J]. Front Neurol, 2021, 12:570843.
- [13] 张 白,惠品晶,颜燕红,等. 微型探头血管超声在烟雾病患者搭桥术中的血流动力学评估[J]. 中华医学超声杂志(电子版),2019,16(9):676-683.
- [14] Zhang B, Hui PJ, Yan YH, et al. Microprobe vascular Doppler for assessing vascular patency in patients undergoing superficial temporal artery to middle cerebral artery bypass for Moyamoya disease[J]. Chin J Med Ultrasound Electron Ed, 2019, 16(9):676-683.

(责任编辑:周一青)