



电子、语音版

·论著·

烟雾病围手术期卒中危险因素分析

陈攀¹, 王莹¹, 曾飞跃², 杨帅², 陈远兵¹, 王君宇¹, 陈风华¹, 黄正¹

1. 中南大学湘雅医院神经外科, 湖南长沙 410008

2. 中南大学湘雅医院放射科, 湖南长沙 410008

摘要:目的 脑血管重建术是目前烟雾病外科治疗的有效方式,但围手术期卒中发生率可达15.6%,且这部分患者预后不佳。该研究拟分析烟雾病围手术期卒中发生的危险因素,进而指导临床加强围手术期管理,以降低围手术期卒中发生率并改善患者预后。**方法** 纳入中南大学湘雅医院神经外科2011年1月—2021年4月手术治疗102例烟雾病患者的基本信息和影像学资料,采用多因素Logistic回归分析筛选该类患者围手术期卒中发生的危险因素。**结果** 102例烟雾病患者的平均发病年龄为28.22岁,共行118侧脑血管重建术,包括51次联合血管重建术和67次间接血管重建术。烟雾病围手术期卒中发生率为6.78%,其中缺血性卒中5例,出血性卒中3例,无死亡病例发生。多因素Logistic回归分析显示,高铃木分期($OR: 9.814; 95\%CI: 1.655\sim 58.204, P=0.012$)、低脑梗死评分($OR: 0.646; 95\%CI: 0.440\sim 0.948, P=0.026$)及脑白质高信号(WMHs)($OR: 7.302; 95\%CI: 1.203\sim 44.310, P=0.031$)是烟雾病围手术期卒中发生的危险因素。**结论** 具有高铃木分期、低脑梗死评分及WMHs特征的烟雾病患者围手术期卒中发生风险高,需对这些患者严格管理。

[国际神经病学神经外科学杂志, 2022, 49(2): 48-53.]

关键词:烟雾病;脑血管重建术;围手术期卒中;危险因素

中图分类号:R743.4

DOI:10.16636/j.cnki.jinn.1673-2642.2022.02.010

Risk factors for perioperative stroke in moyamoya disease

CHEN Pan¹, WANG Ying¹, ZENG Fei-Yue², YANG Shuai², CHEN Yuan-Bing¹, WANG Jun-Yu¹, CHEN Feng-Hua¹, HUANG Zheng¹

1. Department of Neurosurgery, Xiangya Hospital, Central South University, Changsha, Hunan 410008, China

2. Department of Radiology, Xiangya Hospital, Central South University, Changsha, Hunan 410008, China

Corresponding author: HUANG Zheng, Email: hzter1985@163.com

Abstract: Objective Cerebral revascularization is an effective method for the surgical treatment of moyamoya disease, but the incidence rate of perioperative stroke is as high as 15.6% and such patients tend to have poor prognosis. This study aims to identify the risk factors for perioperative stroke in moyamoya disease and provide guidance to strengthen perioperative management, so as to reduce the incidence rate of perioperative stroke and improve the prognosis of patients. **Methods** General information and imaging data were collected from 102 patients with moyamoya disease who underwent surgical treatment in Department of Neurosurgery, Xiangya Hospital of Central South University, from January 2011 to April 2021, and a multivariate logistic regression analysis was used to screen out the risk factors for perioperative stroke. **Results** The 102 patients had a mean age of onset of 28.22 years, and cerebral revascularization was performed for 118 sides, including 51 times of combined revascularization and 67 times of indirect revascularization. The incidence rate of perioperative stroke was 6.78% for moyamoya disease, and there were 5 patients with ischemic stroke and 3 with hemorrhagic stroke. No death was observed. The multivariate logistic regression analysis showed that high Suzuki stage (odds ratio [OR] = 9.814, 95% confidence interval [CI]: 1.655-58.204, P = 0.012), low cerebral infarction score (OR = 0.646,

收稿日期:2022-01-05;修回日期:2022-04-02

作者简介:陈攀(1995—),男,苗族,硕士研究生,主要从事脑血管疾病基础与临床研究。Email: chenpanesu@163.com。

通信作者:黄正(1985—),男,主治医师,医学博士,主要从事缺血性脑血管疾病基础与临床研究。Email: hzter1985@163.com。

95% *CI*: 0.440–0.948, $P = 0.026$), and white matter hyperintensities ($OR = 7.302$, 95% *CI*: 1.203–44.310, $P = 0.031$) were the risk factors for perioperative stroke in moyamoya disease. **Conclusions** For moyamoya disease, patients with a relatively high Suzuki stage, a relatively low cerebral infarction score, and white matter hyperintensities tend to have a high risk of perioperative stroke, and such patients should be strictly managed to reduce the incidence rate of perioperative stroke.

[Journal of International Neurology and Neurosurgery, 2022, 49(2): 48–53.]

Keywords: moyamoya disease; cerebral revascularization; perioperative stroke; risk factor

烟雾病(moyamoya disease, MMD)是一种慢性闭塞性脑血管疾病,其特征是颈内动脉末端、大脑中动脉和大脑前动脉起始部狭窄或闭塞,伴有颅底烟雾状血管形成^[1],日本Takeuchi和Shimizu教授于1957年首次报道。MMD是引起儿童和青壮年卒中发生的原因之一^[2-3]。日本、韩国及中国为MMD高发地区,中国MMD发病率为1.14/10万人口^[4]。MMD主要治疗方式是脑血运重建术^[5],但围手术期中发生率可达6.9%~15.6%^[6-8]。因此,笔者拟通过分析MMD围手术期中发生的危险因素,为围手术期管理提供参考,以改善患者预后。

1 资料与方法

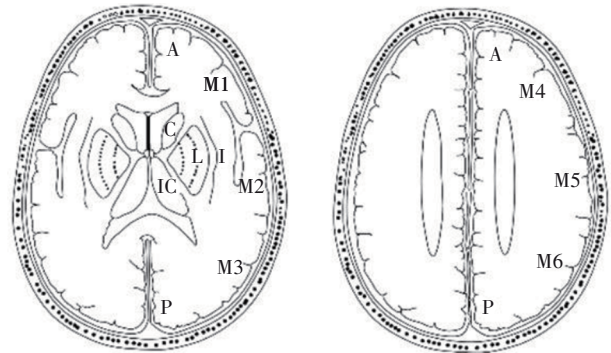
1.1 研究对象

研究纳入2011年1月—2021年4月在中南大学湘雅医院神经外科接受血运重建术的MMD患者。纳入标准:①数字减影血管造影(digital subtraction angiography, DSA)诊断为MMD^[1];②双侧或单侧烟雾病;③已行脑血运重建术(手术由同一组医生完成)。排除标准:①未行手术治疗的MMD患者;②烟雾综合征(具有烟雾病的脑血管造影表现,但患者合并脑动脉粥样硬化、脑膜炎、自身免疫性疾病、I型神经纤维瘤病或唐氏综合征等疾病);③临床资料不全患者;④失访患者。临床和影像学资料分别由2名神经外科医生和2名影像科医生进行双盲采集,当数据评估不一致时,分别经2人协商后决定。随访截止时间为2021年10月,主要终点事件为:①脑卒中(有脑卒中症状或体征等表现,且CT、MRI等影像学上有新发脑梗死或脑出血);②死亡。围手术期中定义为术后30 d内发生脑卒中,随访期中则为术后30 d之后至随访截止时发生脑卒中。患者预后有改善定义为随访时改良Rankin量表(modified Rankin scale, mRS)评分与术前mRS评分差值<0,否则预后无改善。

1.2 影像学评价

烟雾病铃木分期根据DSA进行评价^[9],我们将分期为V、VI期定义为高铃木分期。脑梗死评分是在CT或MRI上选取基底节层面和放射冠层面,2个层面总共14个区域,包括一侧大脑中动脉供血的10个区域、大脑前动脉和大脑后动脉供血的各2个区域(图1),每个区域均赋值1分,如该区域存在梗死灶,即减去1分,统计最终得分,14分代表无脑梗死灶。脑白质高信号(white matter hyperintensities, WMHs)表现为大脑深部脑白质或脑室

周围点线状或斑片状影,通过MRI的液体衰减反转恢复(fluid attenuated inversion recovery, FLAIR)序列进行评价^[10]。



a:基底节层面。一侧大脑半球大脑中动脉供血的M1、M2、M3区域,岛叶(I)、豆状核(L)、尾状核(C)和内囊后肢(IC)以及大脑前动脉和大脑后动脉供血的A、P区域,共计9个区域;b:放射冠层面一侧大脑半球大脑中动脉供血的M4、M5、M6以及大脑前动脉和大脑后动脉供血的A、P区域,共计5个区域。

图1 脑梗死评分示意图

1.3 手术治疗及围手术期管理

烟雾病的外科治疗包括直接搭桥、间接血运重建术及联合血运重建术^[11-12]。直接搭桥是将颞浅动脉的额支或顶支与大脑中动脉皮层分支进行吻合,间接血运重建术是将颞浅动脉、颞肌等组织贴敷于脑组织表面,联合血运重建术是以上两种方式的联合使用。本科采用的是间接血运重建术或联合血运重建术。手术指征:①患者有临床症状,如脑缺血发作、脑出血等;②CT或MRI灌注成像提示脑灌注不足;③患者及家属同意手术。如果为双侧烟雾病,有症状侧或脑灌注明显不足侧先行手术治疗,3个月后再视情况再决定另一侧是否行手术治疗。脑梗死或脑出血急性期不行手术治疗,应在病情稳定后2~3个月再考虑手术。

缺血性MMD使用抗血小板聚集药物至手术前1天,若无出血发生,术后第7天开始继续使用抗血小板聚集药物,出血性MMD则不使用该类聚药物。围手术期应维持二氧化碳分压在40 mmHg左右。手术前1晚按30 mL/kg静脉补液至入手术室^[7,13],术后2~3 d需维持24 h补液,当患者恢复正常饮食后,鼓励适当多饮水。

1.4 统计学方法

采用SPSS 25.0软件进行统计分析,连续变量符合正态分布采用均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,不符合正态分布采用中位数(四分位数间距)[$M(P_{25}, P_{75})$]表示,两组连续变量比较采用 t 检验或非参数检验;计数资料采用例(%)表示,比较采用 χ^2 检验。多因素 Logistic 回归分析围手术期中发生的危险因素,其中多因素分析模块1是所有变量纳入分析,模块2是采用正向逐步回归。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 临床特征

研究纳入102例MMD患者。其中,女性39例,男性63例;儿童38例,成人64例;年龄1.00~60.00岁,平均28.22岁;共行118侧手术,其中16例行双侧手术治疗;MMD首发症状多表现为脑梗死(42.1%)和短暂性脑缺血发作(transient ischemic attack, TIA)(21.6%);89.2%患者铃木分期为1~4期,87.3%患者为双侧病变,43例患者术前发生脑梗死,26例患者存在WMHs。见表1、2。

表1 外科血运重建术治疗烟雾病患者的基线特征

项目	手术患者(n=102)	围手术期中患者(n=7)	围手术期未发生卒中患者(n=95)	Z/t/ χ^2 值	P值
人口学特征					
发病年龄[岁, $M(P_{25}, P_{75})$]	[30(8, 45)]	[42(23, 43)]	[29(8, 46)]	63.409	0.324
儿童例(%)	38(37.3)	1(14.3)	37(38.9)	0.805	0.370
成人例(%)	64(62.7)	6(85.7)	58(61.1)		
性别(男)例(%)	63(61.8)	3(42.9)	60(63.2)	0.440	0.297
首发症状					
短暂性脑缺血发作	22(21.6)	1(14.3)	21(22.1)	6.294	0.279
脑梗死	43(42.1)	6(85.7)	37(38.9)		
癫痫	3(2.9)	0(0.0)	3(3.2)		
头痛	17(16.7)	0(0.0)	17(17.9)		
脑出血	15(14.7)	0(0.0)	15(15.8)		
其他	2(2.0)	0(0.0)	2(2.1)		
脑血管病相关危险因素	36(35.3)	4(57.1)	32(33.7)	0.712	0.224
术前mRS评分例(%)					
0分	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)	8.727	0.068
1分	23(22.5)	0(0.0)	23(24.2)		
2分	38(37.3)	1(14.3)	37(39.0)		
3分	21(20.6)	4(57.1)	17(17.9)		
4分	16(15.7)	2(28.6)	14(14.7)		
5分	4(3.9)	0(0.0)	4(4.2)		
影像学特征					
合并动脉瘤例(%)	10(9.8)	0(0.0)	10(10.5)	1.499	0.999
双侧烟雾病例(%)	89(87.3)	7(100.0)	82(86.3)	1.983	0.999
大脑后动脉受累例(%)	24(23.5)	3(42.9)	21(22.1)	0.620	0.226
铃木分期例(%)					
I~V	91(89.2)	4(57.1)	87(91.6)	5.306	0.013
V、VI	11(10.8)	3(42.9)	8(8.4)		
颈外动脉代偿例(%)	20(19.6)	3(42.9)	17(17.9%)	1.237	0.127
脑梗死评分(分, $\bar{x} \pm s$)	13.00±2.00	10.00±2.00	13.00±2.00	39.178	0.006
WMHs例(%)					
有	26(25.5)	5(71.4)	21(22.1)	5.956	0.013
无	76(74.5)	2(28.6)	74(77.9)		
手术类型例(%)					
间接血运重建	55(53.9)	3(42.9)	52(54.7)	0.047	0.829
联合血运重建	47(46.1)	4(57.1)	43(45.3)		

表2 烟雾病患者手术半球的基线特征

项目	半球手术(n=118)	围手术期卒中(n=8)	围手术期未发生卒中(n=110)	Z/ χ^2 值	P值
人口学特征					
发病年龄[岁, $M(P_{25}, P_{75})$]	[28.0(8.00, 43.25)]	[40.0(10.25, 42.75)]	[27.5(8.00, 44.00)]	62.620	0.501
儿童例(%)	46(39.0)	2(25.0)	44(40.0)	0.216	0.642
成人例(%)	72(61.0)	6(75.0)	66(60.0)	0.766	0.225
性别(男)例(%)	69(58.5)	3(37.5)	66(60.0)		
临床特征例(%)					
缺血型烟雾病	92(78.0)	7(87.5)	85(77.3)	0.054	0.509
脑血管病相关危险因素	39(33.1)	4(50.0)	35(31.8)	0.444	0.301
影像学特征					
双侧烟雾病例(%)	105(89.0)	8(100.0)	97(88.2)	0.596	0.999
大脑后动脉受累例(%)	30(25.4)	3(37.5)	27(24.5)	0.154	0.422
铃木分期例(%)					
I~IV	104(88.1)	4(50.0)	100(90.9)	7.844	0.003
V、VI	14(11.9)	4(50.0)	10(9.1)		
颈外动脉代偿例(%)	23(19.5)	3(37.5)	20(18.2)	0.756	0.198
脑梗死评分(分, $\bar{x} \pm s$)	14.00 \pm 2.00	10.50 \pm 3.25	14.00 \pm 2.00	42.530	0.005
WMHs例(%)					
有	30(25.4)	6(75.0)	24(21.8)	8.497	0.005
无	88(74.6)	2(25.0)	86(78.2)		
手术类型例(%)					
间接血运重建	67(56.8)	5(62.5)	62(56.4)	0.000	0.975
联合血运重建	51(43.2)	3(37.5)	48(43.6)		

2.2 围手术期并发症及预后

围手术期共有7例患者发生8次卒中,其中1例患者在不同时期行两侧手术时均发生卒中,烟雾病围手术期中发生率为6.78%。围手术期缺血性卒中发生5次,4次发生在手术侧脑实质,1次发生在手术对侧额叶。围手术期出血性卒中发生3次,2次发生在手术侧脑叶,1次发生在手术对侧基底节区。Logistic回归分析显示高铃木分期($OR: 9.814; 95\%CI: 1.655\sim 58.204, P=0.012$)、低脑梗死评分($OR: 0.646; 95\%CI: 0.440\sim 0.948, P=0.026$)及WMHs($OR: 7.302; 95\%CI: 1.203\sim 44.310, P=0.031$)是烟雾病围手术期中发生的危险因素(见表3)。间接血运重建术和联合血运重建术的围手术期中发生率分别为

7.46%和5.88%($P=0.975$),手术方式不是围手术期中发生的危险因素。其他术后并发症包括硬膜下积血/液(4.24%)和癫痫发作(3.39%)。

102例烟雾病患者得到有效随访,平均随访时间为41.06个月。随访期中包括3例脑出血和2例脑缺血。3例出血性卒中分别发生在术后第6个月、第2年和第3年,且3例均因脑出血死亡。2例缺血性卒中分别发生在术后第1和6个月。随访期中仅1例脑出血发生在手术对侧脑实质,其余4例卒中均发生在手术侧脑叶。通过比较患者术前与随访时mRS评分,间接血运重建术和联合血运重建术对患者预后的改善,差异无统计学意义($P=0.829$)。

表3 烟雾病患者围手术期中危险因素

特征	多因素 Logistic 回归(围手术期中,模块1)			多因素 Logistic 回归(围手术期中,模块2)		
	OR	95%CI	P值	OR	95%CI	P值
性别(男)	0.395	0.063~2.495	0.323	-	-	-
发病年龄	1.008	0.958~1.061	0.758	-	-	-
缺血型烟雾病	2.059	0.242~17.538	0.509	-	-	-
脑血管病相关危险因素	2.143	0.506~9.070	0.301	-	-	-
大脑后动脉受累	1.844	0.413~8.231	0.422	-	-	-
铃木分期	-	-	0.014	-	-	0.012
I~IV	1.000	-	-	1.000	-	-
V、VI	10.468	1.607~68.206	-	9.814	1.655~58.204	-
脑梗死评分	0.642	0.427~0.965	0.033	0.646	0.440~0.948	0.026
WMHs	6.599	1.027~42.393	0.047	7.302	1.203~44.310	0.031

3 讨论

脑血运重建术通过增加脑血流量、改善脑灌注,从而降低MMD卒中再发生风险^[14-16],但围手术期仍有6.9%~15.6%的患者发生卒中,且这部分患者预后差^[6]。因此,对于围手术期中发生风险高的MMD患者,应加强围手术期管理,以便改善其预后。本研究结果显示,高铃木分期、低脑梗死评分及WMHs是MMD围手术期中发生的危险因素。

Muraoka等^[17]发现儿童MMD高铃木分期与术后脑梗死的发生有关,Zhao等^[18]在成人MMD中也得到类似结论。本研究显示高铃木分期的患者围手术期中发生风险较高。高铃木分期患者中,侧支循环代偿更差,脑灌注不足更加严重,因此更容易发生脑梗死,特别是在围手术期的应激状态下^[18-19]。因此,在血管狭窄程度较轻时进行手术,可能会降低围手术期中发生风险。

既往研究发现术前存在脑梗死的患者,围手术期中发生率可达9.5%^[20]。术前发生脑梗死的患者,存在脑灌注储备不足,更加容易出现脑血流动力学紊乱,从而更容易再发脑梗死^[21]。笔者通过定量评价脑梗死的严重程度来评估其与围手术期中发生的关系,评分涵盖大脑前动脉、大脑中动脉及大脑后动脉的供血区域,评分越低,意味着梗死累及范围越大。因此,在患者发生脑梗死前或脑梗死范围越小时进行手术干预,可能会降低围手术期中发生率。

在慢性脑低灌注状态下,脑白质缺血性损伤与轴突破坏和神经胶质增生有关,在MRI的FLAIR图像上出现WMHs^[22]。WMHs一般发生在60岁以上的老年人群中,较少有研究去探讨WMHs与MMD的关系,Mcketton等^[23]报道MMD在脑血管重建术后脑血流得到改善,WMHs可发生逆转,并改善认知功能。本研究发现WMHs是MMD围手术期中发生的危险因素,当患者出现WMHs时,提示血管闭塞严重或代偿血管减少,因此术后更容易发生脑卒中^[24]。基于上述,笔者建议在出现WMHs之前尽早行手术治疗,患者可能获益更多。

本研究仍有不足之处。第一,这是一个单中心数据,因此可能存在偏倚。其次,该研究筛选出危险因素,还需建立围手术期中发生的预测模型并进行多中心验证。

综上所述,高铃木分期、低脑梗死评分及WMHs是烟雾病围手术期中发生的危险因素,需对这些患者加强围手术期管理,以改善预后。

参 考 文 献

- [1] 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.
- [2] KURODA S, IWASAKI Y. Current review of familial moyamoya disease[J]. *Nihon Rinsho*, 2006, 64 (Suppl 8): 750-754.
- [3] SCOTT RM, SMITH ER. Moyamoya disease and moyamoya syndrome[J]. *N Engl J Med*, 2009, 360(12): 1226-1237.
- [4] ZHANG D, HUANG LR, HUANG Z, et al. Epidemiology of moyamoya disease in China: a nationwide hospital-based study[J]. *Lancet Reg Health West Pac*, 2022, 18: 100331.
- [5] BERRY JA, CORTEZ V, TOOR H, et al. Moyamoya: an update and review[J]. *Cureus*, 2020, 12(10): e10994.
- [6] YU LB, MA L, HUANG Z, et al. Revascularization surgery in patients with ischemic-type moyamoya disease: predictors for postoperative stroke and long-term outcomes[J]. *World Neurosurg*, 2019, 128: e582-e596.
- [7] 陈远兵, 陈风华, 何芳, 等. 蛛网膜对儿童缺血型烟雾病间接颅内血管重建术疗效的影响[J]. *国际神经病学神经外科学杂志*, 2017, 44(1): 5-9.
- [8] 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.
- [9] SUZUKI J, TAKAKU A. Cerebrovascular "moyamoya" disease. Disease showing abnormal net-like vessels in base of brain[J]. *Arch Neurol*, 1969, 20(3): 288-299.
- [10] SUN HG, LI WJ, XIA C, et al. Magnetic resonance imaging markers of cerebral small vessel disease in adults with moyamoya disease[J]. *Transl Stroke Res*, 2021. DOI: 10.1007/s12975-021-00973-7. Epub ahead of print.
- [11] ACKER G, FEKONJA L, VAJKOCZY P. Surgical management of moyamoya disease[J]. *Stroke*, 2018, 49(2): 476-482.
- [12] UCHIDA S, KUBO Y, OOMORI D, et al. Long-term cognitive changes after revascularization surgery in adult patients with ischemic moyamoya disease[J]. *Cerebrovasc Dis Extra*, 2021, 11(3): 145-154.
- [13] 梁银华, 陈远兵, 陈风华, 等. 术前匀速补液对烟雾病患者血液流变学的影响[J]. *国际神经病学神经外科学杂志*, 2019, 46(3): 260-262.
- [14] MIYAMOTO S, YOSHIMOTO T, HASHIMOTO N, et al. Effects of extracranial-intracranial bypass for patients with hemorrhagic moyamoya disease: results of the Japan adult moyamoya trial[J]. *Stroke*, 2014, 45(5): 1415-1421.
- [15] ZHANG Y, BAO XY, DUAN L, et al. Encephaloduroarteriosynangiosis for pediatric moyamoya disease: long-term follow-up of 100 cases at a single center[J]. *J Neurosurg Pediatr*, 2018, 22(2): 173-180.
- [16] JEON JP, KIM JE, CHO WS, et al. Meta-analysis of the surgical outcomes of symptomatic moyamoya disease in adults[J]. *J Neurosurg*, 2018, 128(3): 793-799.
- [17] MURAOKA S, ARAKI Y, KONDO G, et al. Postoperative cerebral infarction risk factors and postoperative management of pediatric patients with moyamoya disease[J]. *World Neurosurg*, 2018, 113: e190-e199.

- [18] ZHAO M, DENG XF, ZHANG D, et al. Risk factors for and outcomes of postoperative complications in adult patients with moyamoya disease[J]. *J Neurosurg*, 2019, 130(2): 531–542.
- [19] JUNG YJ, AHN JS, KWON DH, et al. Ischemic complications occurring in the contralateral hemisphere after surgical treatment of adults with moyamoya disease[J]. *J Korean Neurosurg Soc*, 2011, 50(6): 492–496.
- [20] 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.
- [21] QIAN Y, HUANG B, HU ZM, et al. Analysis of factors related to cerebral infarction after direct bypass surgery in adults with moyamoya disease[J]. *Cerebrovasc Dis*, 2020, 49(1): 55–61.
- [22] PANTONI L, GARCIA JH. Pathogenesis of leukoaraiosis: a review [J]. *Stroke*, 1997, 28(3): 652–659.
- [23] MCKETTON L, VENKATRAGHAVAN L, ROSEN C, et al. Improved white matter cerebrovascular reactivity after revascularization in patients with steno-occlusive disease[J]. *Am J Neuroradiol*, 2019, 40(1): 45–50.
- [24] KOMATSU K, MIKAMI T, NOSHIRO S, et al. Reversibility of white matter hyperintensity by revascularization surgery in moyamoya disease[J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2016, 25(6): 1495–1502.

责任编辑:王荣兵