

论 著

缺血性脑血管病患者脑白质高信号与侧支循环之间的关系

王 善 段 玲* 邓晓燕

重庆医药高等专科学校附属第一医院神经内科 (重庆 400060)

【摘要】目的 探讨脑白质高信号(WMH)与缺血性脑血管病(ICVD)患者侧支循环的相关性。方法 选取2020年10月至2022年3月我院神经内科接受治疗的ICVD患者108例,依据ASITN/SIR系统将患者分为侧支循环不良组和侧支循环良好组,比较两组患者的临床资料,影响WMH与ICVD患者侧支循环情况的因素采用多元Logistic回归分析,并建立贝叶斯网络预测模型,并进行贝叶斯网络推理以及模型效能评价。结果 108名患者中WMH1、WMH2、WMH3级患者分别为58、32、18人,且WMH1级患者在深部/皮层占比较多,WMH 2、3级患者中各部位相差不大,108名患者中单支狭窄61例(56.48%),多支狭窄47例(43.52%),血管狭窄程度 $\geq 85\%$ 为51例(47.22%), $<85\%$ 为57例(52.78%),Willis环侧支循环代偿50例(46.30%),皮层支代偿31例(28.70%),新生血管代偿9例(8.33%),无任何侧支代偿18例(16.67%);两组患者在高血压、吸烟史、基线NIHSS评分分类、糖尿病、基线NIHSS评分、Fazekas总分、Fazekas总分0~1分、脑室周围Fazekas评分、脑室周围Fazekas评分0~1分、深部白质Fazekas评分0~1分、狭窄血管数量、血管狭窄程度、Hcy水平方面差异具有统计学意义($P<0.05$);多元Logistic回归分析表明高血压、吸烟史、血管狭窄数量、糖尿病、血管狭窄程度、Hcy、Fazekas总分及脑室周围Fazekas评分是ICVD患者侧支循环形成不良的独立危险因素(P 均 <0.05); Logistic回归显示,调整后WMH评分($OR=2.41$, 95%CI: 2.18~2.72, $P<0.001$)仍是ICVD患者侧支循环建立不良的危险因素,且随着WMH评分的升高,其关联效应值也相应增高(P 趋势 <0.05)。并基于此构建的贝叶斯网络模型,准确率为88.9%,AUC为0.807(95%CI: 0.781~0.874),具有较高的区分度。结论 ICVD患者侧支循环建立受多种因素影响,且WMH严重程度与ICVD患者侧支循环不良密切相关,临床可通过WMH严重程度来评估ICVD患者侧支循环建立情况,以期为患者神经功能缺损情况评估进一步提供参考依据。

【关键词】脑白质高信号; 缺血性脑血管病; 侧支循环; 相关性

【中图分类号】R743

【文献标识码】A

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2024.10.008

Relationship between High White Matter Signal and Collateral Circulation in Patients with Ischemic Cerebrovascular Disease

WANG Shan, DUAN Ling*, DENG Xiao-yan.

Department of Neurology, The First Affiliated Hospital of Chongqing Medical College, Chongqing 400060, China

ABSTRACT

Objective To investigate the correlation between white matter hyperintensities and collateral circulation in patients with ischemic cerebrovascular disease. **Methods** According to the ASITN/SIR, 108 patients with ischemic cerebrovascular disease treated in the Department of Neurology of our hospital from October 2020 to March 2022 were divided into good collateral circulation group and poor collateral circulation group. Comparison of clinical data of two groups of patients, Multivariate Logistic regression analysis affected the independent correlation between white matter hypersignal and collateral circulation in patients with ischemic cerebrovascular disease. Based on this, a Bayesian network model was constructed, and Netica software was used for Bayesian network inference, and the model performance was evaluated. **Results** Among the 108 patients, 58 patients with WMH1, 32 patients with WMH2 and 18 patients with WMH3 were found respectively, and the number of patients with WMH1 was more in deep / subcortical distribution. The number of patients with WMH2 and 3 was basically the same in different parts. Among the 108 patients, 61 patients with single vessel stenosis (56.48%), 47 patients with multiple vessel stenosis (43.52%), 51 patients with vascular stenosis $\geq 85\%$ (47.22%), 57 patients with $<85\%$ (52.78%), and 50 patients with Willis ring collateral circulation compensation (46.30%), 31 cases (28.70%) were compensated by cortical branches, 9 cases (8.33%) by neovascularization, and 18 cases (16.67%) without any collateral branches; there were significant differences in smoking history, baseline NIHSS score, hypertension, baseline NIHSS score classification, diabetes, Fazekas total score, Fazekas total score 0~1, periventricular Fazekas score 0~1, deep white matter Fazekas score 0~1, the number of stenotic vessels, the degree of vascular stenosis, and Hcy in patients with collateral circulation disorder ($P<0.05$); Multivariate Logistic regression analysis showed that smoking history, hypertension, diabetes, the number of vascular stenosis, the degree of vascular stenosis, Hcy, Fazekas total score and periventricular Fazekas score were the key factors for poor collateral circulation in ICVD patients ($P<0.05$); Logistic regression showed that the adjusted WMH score ($OR=2.41$, 95%CI: 2.18~2.72, $P<0.001$) remained a risk factor for poor collateral circulation establishment in ICVD patients. With the increase of WMH score, its associated effect size also increased (P trend <0.05). The accuracy rate was 88.9% and the AUC of the constructed Bayesian network model was 0.807 (95%CI: 0.781~0.874), which had a high degree of discrimination. **Conclusion** The establishment of collateral circulation in patients with ischemic cerebrovascular disease is affected by many factors, the severity of high white matter signal is related to poor collateral circulation in patients with ischemic cerebrovascular disease. The severity of WMH can be used to evaluate the establishment of collateral circulation in ICVD patients in clinical practice, in order to provide further reference for the evaluation of neurological deficits in patients.

Keywords: White Matter Hyperintensity(WMH); Ischemic Cerebrovascular Disease; Collateral Circulation; Correlation

缺血性脑血管病(ICVD)是指患者供血血管发生狭窄严重可能导致闭塞,造成患者局部脑血流量减少严重甚至出现中断,造成血管供应区的脑功能损害,而造成血管狭窄的原因众多,且ICVD拥有较高的致残率和致死率,对人类的健康状况造成严重的威胁^[1]。脑白质高信号(WMH)是一种影像学学术语,是指病灶在侧脑室旁、皮层下白质呈对称,常以高信号影表现在MRI的T₂和FLAIR序列上,虽然属于脑小血管病,但是比较特殊,往往由于其表现为无症状或症状较轻,容易受到忽视,且比较容易引发缺血性脑卒中,影响患者的生存质量^[2-3]。目前WMH的发病原因尚不明确,但比较常见的症状是认知功能及运动障碍。侧支循环主要通过侧支血流代偿灌注缺血区域,促进血液循环^[4]。近年来研究发现,侧支循环可以在局部脑组织供血动脉由于狭窄、闭塞,进而造成缺血时,可为病灶侧脑组织提供血液供应,使得缺血病灶减少,从而对患者的神经功能进行改善^[5]。这对ICVD患者病情评估以及指导治疗意义重大。因此,本研究通过对我院108例ICVD患者进行研究,旨在探讨ICVD患者WMH与其侧支循环形成的相关性,以期对ICVD临床治疗提供理论指导。

1 资料与方法

1.1 研究对象 选取2020年10月至2022年3月我院神经内科接受治疗的ICVD患者108例。

纳入标准:符合ICVD的诊断标准^[6],并可行核磁共振成像(MRI)等检查;年龄 ≥ 18

【第一作者】王 善,男,主治医师,主要研究方向:神经内科。E-mail: wangshan19870@126net.com.cn

【通讯作者】段 玲,女,副主任医师,主要研究方向:神经内科。E-mail: 18623437549@163.com

岁，首次发作；临床资料完整者。排除标准：不能完全配合一切检查者；发病至就诊时间在最初24h内死亡或超过24h；合并严重心肺疾病、肿瘤、肝肾功能不全者。依据美国神经介入和治疗神经放射学会/介入放射学会血流分级系统(ASITN/SIR)^[7]将患者分为侧支循环良好组(n=65)和侧支循环不良组(n=43)，侧支循环良好组年龄49~77岁，平均年龄65.62±9.11，男性44例，女性21例；侧支循环不良组年龄52~76岁，平均年龄64.51±10.09，男性26例，女性17例。本研究于患者和家属知情同意以及我院医学伦理委员会审核批准后开展。

1.2 方法

1.2.1 临床资料收集 收集所有患者高血压、糖尿病、吸烟史等基本临床资料。入院后，在安静休息状态下对患者进行血压测量，记录其收缩压、舒张压。次日清晨(禁食8-12h)采集外周血标本5mL，以3000rpm/min离心15min分离血清，检测总胆固醇(TC)、空腹血糖、甘油三酯(TG)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)、纤维蛋白原(FIB)、高密度脂蛋白(HDL-C)、同型半胱氨酸(Hcy)等。

1.2.2 检测方法 所有研究对象头颅CT平扫和头颈部CTA检查均采用128层螺旋CT扫描仪(荷兰皇家飞利浦公司)检查；MRI检查采用Signa TwinSpeed 3.0 T磁共振扫描仪(美国GE公司)和8通道相控阵线圈进行。扫描参数：回波时间3.2ms，重复时间21 ms，视野16cm×16cm，层厚1mm，矩阵256×256。

1.3 观察指标

1.3.1 WMH评分标准 采用Fazekas量表分别评分脑室旁、深部WMH^[8]。脑室周围WMH评分：0-3分别表示病变帽状、铅笔样薄层、呈光滑晕圈、不规则脑室旁高信号延伸到深部白质；深部WMH评分：0-3分别表示病变无、点状、有融合趋势、融合。最终WMH评分=脑室周围WMH评分+深部WMH评分。

1.3.2 侧支循环分级标准 侧支循环是指连接相邻动脉群的细小动脉网络。本研究采用ASITN/SIR标准评估侧支循环建立情况^[8]：0级指完全无侧支血流供应及侧支血管形成；1、2级分别指非重要区域被侧支血流缓慢、快速灌注到；3、4级分别指梗死区域被血流缓慢、快速而完全地灌注到。本研究中侧支循环不良组指侧支血流为0-2级，3-4级则为良好组。

1.3.3 神经功能缺损评分 采用美国国立卫生研究院卒中量表(NIHSS)评分标准对患者神经功能进行评分^[7]：≤6分表示轻度神经功能损伤；7-15分表示中度神经功能损伤；≥15分表示重度神经功能损伤。

1.4 统计学方法 应用SPSS 23.0软件统计分析所有数据，计数资料采用均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示，组间比较采用两独立样本t检验；采用例(%)表示计数资料，组间对比采用 χ^2 检验。影响ICVD患者侧支循环的关键因素采用多元Logistic回归分析，采用R软件构建贝叶斯网络预测模型，采用Netica软件进行贝叶斯网络模型推理，在Weka3.8.0平台评价贝叶斯网络预测模型预测效能，差异有统计学意义以P<0.05表示。

2 结 果

2.1 患者WMH、侧支循环类型分布情况 108例研究对象，WMH1、2、3级患者分别为58、32、18人，WMH1级患者主要分布在深部/皮层下，WMH 2、3级患者，各部位人数相差较小，见图1A。对患者狭窄血管数量及狭窄程度分析发现，单支狭窄61例(56.48%)，多支狭窄47例(43.52%)，血管狭窄程度≥85%为51例(47.22%)，<85%为57例(52.78%)，其中存在Willis环侧支循环代偿50例(46.30%)，皮层支代偿31例(28.70%)，新生血管代偿9例(8.33%)，无任何侧支代偿18例(16.67%)，见图1B。

2.2 两组患者临床特征比较 两组患者在吸烟史、基线NIHSS评分、高血压、基线NIHSS评分分类、糖尿病、Fazekas总分、Fazekas总分0~1分、脑室周围Fazekas评分、脑室周围Fazekas评分0~1分、深部白质Fazekas评分0~1分、狭窄血管数量、血管狭窄程度、Hcy水平方面差异有统计学意义(P<0.05)；其余指标两组比较差异均无统计学意义(P>0.05)，见表1。

2.3 影响ICVD患者侧支循环形成不良的因素 以ICVD患者侧支循环形成不良作为因变量，将上述分析中有统计学意义(P<0.05)

的变量进行多元Logistic回归分析，结果表明吸烟史、血管狭窄数量、糖尿病、血管狭窄程度、高血压、Hcy、Fazekas总分及脑室周围Fazekas评分是ICVD患者侧支循环形成不良的关键因素(P均<0.05)，见图2。

表1 两组患者临床特征比较

因素	侧支循环不良组(n=43)	侧支循环良好组(n=65)	χ^2/t 值	P值
性别[n(%)]			0.593	0.441
男性	26(60.47)	44(67.69)	/	/
女性	17(39.53)	21(32.31)	/	/
年龄[n(%)]			0.187	0.666
≥60岁	24(55.81)	39(60.00)	/	/
<60岁	19(44.19)	26(40.00)	/	/
吸烟史[n(%)]			4.675	0.031
有	27(62.79)	27(41.54)	/	/
无	16(37.21)	38(58.46)	/	/
高血压[n(%)]			4.700	0.030
有	25(58.14)	24(36.92)	/	/
无	18(41.86)	41(63.08)	/	/
糖尿病[n(%)]			7.261	0.007
有	19(44.19)	13(20.00)	/	/
无	24(55.81)	52(80.00)	/	/
高血脂[n(%)]			1.333	0.248
有	15(34.88)	16(24.62)	/	/
无	28(65.12)	49(75.38)	/	/
基线收缩压(mmHg)	139.42±7.21	141.51±6.92	1.511	0.134
基线舒张压(mmHg)	92.59±6.95	94.55±5.08	1.692	0.094
基线NIHSS评分(分)	12.66±4.21	9.32±4.41	3.922	0.000
基线NIHSS评分分类[n(%)]			12.496	0.002
≤8分	8(18.60)	34(52.31)	/	/
9~15分	24(55.81)	20(30.77)	/	/
≥16分	11(25.58)	11(16.92)	/	/
Fazekas总分	3.06±2.14	2.06±1.06	3.222	0.002
Fazekas总分	7(16.28)	29(44.62)	9.351	0.002
0~1分[n(%)]				
脑室周围Fazekas评分	1.98±1.01	0.91±0.56	7.065	0.000
脑室周围Fazekas评分	10(23.26)	41(63.08)	16.466	0.000
0~1分[n(%)]				
深部白质Fazekas评分	1.16±0.83	1.18±0.81	0.124	0.901
深部白质Fazekas评分	4(9.30)	16(24.62)	4.022	0.045
0~1分[n(%)]				
TC(mmol/L)	2.91±0.76	3.15±0.96	1.378	0.171
TG(mmol/L)	1.31±0.52	1.32±0.31	0.125	0.901
LDL-C(mmol/L)	2.13±0.51	2.19±0.52	0.591	0.555
HDL-C(mmol/L)	1.30±0.34	1.22±0.50	0.918	0.361
空腹血糖(mmol/L)	6.87±2.88	6.54±2.56	0.624	0.534
狭窄血管数量[n(%)]			6.214	0.013
单支	18(41.86)	43(66.15)	/	/
多支	25(58.14)	22(33.85)	/	/
血管狭窄程度[n(%)]			11.720	0.001
≥85(%)	29(67.44)	22(33.85)	/	/
<85(%)	14(32.56)	43(66.15)	/	/
Hcy [n(%)]			4.342	0.037
<15(μmol/L)	17(39.53)	39(60.00)	/	/
≥15(μmol/L)	26(60.47)	26(40.00)	/	/
FIB[n(%)]			1.063	0.303
≥4(g/L)	33(76.74)	55(84.62)	/	/
<4(g/L)	10(23.26)	10(15.38)	/	/
发病前用药[n(%)]			1.023	0.794
抗高血压药	11(25.58)	19(29.23)	/	/
抗血小板药	9(20.93)	11(16.92)	/	/
抗凝药	8(18.60)	16(24.62)	/	/
他汀类药物	15(34.88)	19(29.23)	/	/

表2 解释变量的共线性检验系数

解释变量	决定系数	容差	方差膨胀因子
吸烟史	0.093	0.754	1.273
糖尿病	0.078	0.731	1.249
高血压	0.103	0.798	1.135
血管狭窄数量	0.129	0.803	1.047
血管狭窄程度	0.125	0.807	1.053
Hcy	0.106	0.753	1.050
Fazekas总分	0.155	0.951	1.015
脑室周围Fazekas评分	0.136	0.887	1.025

2.4 变量的多重共线性检验 将多元Logistic回归模型筛选出的关键因素进行共线性检验, 方差膨胀因子越高则说明对多重共线性的影响越高, 越接近于1则表示越低。本研究结果显示各解释变量方差膨胀因子均小于10, 容差均大于0.2, 说明各解释变量之间相互独立, 不存在多重共线性, 见表2。

2.5 相关性E值法的敏感性分析 本研究考虑到可能存在其他重要影响因素却未能纳入到本研究中的情况, 因此采用E值法对本研究参数估计进行敏感性分析, 结果表明该结局在研究对象中的发生率>15%, $RR2=OR$, 得出 $E值=RR+sqrt[RR(RR-1)]=2.118$, 95%CI下限为1.63。

2.6 WMH评分与侧支循环之间的关系 将WMH评分逐层划分(Q1~Q6), 建立Logistic模型逐步排除存在共线性的混杂因素, 最终校正吸烟史、高血压、糖尿病、血管狭窄数量及程度、Hcy, 以消除混杂因素对侧支循环建立的影响。

在校正前的Logistic比例风险模型中, WMH评分(即Fazekas总分)与ICVD患者侧支循环障碍风险增加显著相关($P<0.001$), 校正后, WMH评分($OR=2.41$, 95%CI: 2.18~2.72, $P<0.001$)仍是ICVD患者侧支循环建立不良的危险因素。随着WMH评分的升高(Q1~Q6), 其关联效应值也相应增高, 趋势性检验差异均有统计学意义($P_{趋势}<0.05$), 见表3。

2.7 模型构建 按照多因素筛选的变量, 构建含有8个节点、17条有向边的侧支循环形成不良贝叶斯网络预测模型, 并利用最大似

然估计法获得各节点的条件概率。结果显示, 吸烟史、血管狭窄数量、糖尿病、血管狭窄程度、高血压、Hcy、Fazekas总分及脑室周围Fazekas评分通过复杂的网络关系与侧支循环形成不良建立联系。血管狭窄程度及Fazekas总分与侧支循环形成不良有直接联系, 吸烟史、糖尿病、高血压等中间节点联系间接影响侧支循环形成不良的发生, 见图3。

2.8 贝叶斯网络模型预测推理 选择两个母节点对模型进行预测推理, 图4为Fazekas总分和脑室周围Fazekas评分与ICVD患者侧支循环形成不良情况之间的条件概率分布。在其他条件一致的情况下, Fazekas总分 ≥ 2.66 和脑室周围Fazekas评分 ≥ 2.50 的ICVD患者侧支循环形成不良的概率最高(88.31%); 与之相比, 上述指标均正常者侧支循环形成不良的发生率最低(9.72%)。这提示基础Fazekas总分和脑室周围Fazekas评分在侧支循环形成不良的发生和发展中可能存在伴随关系。

2.9 模型评价 Weka模型评价显示贝叶斯网络模型分类准确率为88.9%, AUC为0.807; 10倍交叉验证评价显示AUC为0.803。在既定贝叶斯网络结构下, 本研究按照4: 1的比例将研究对象划分为训练集和测试集, 利用训练集来重新训练网络参数, 测试集来评价模型准确性。结果表明测试集内该模型预测准确性为88.5%, AUC为0.790(95%CI: 0.770~0.865), 提示模型的外部一致性良好, 见表4。

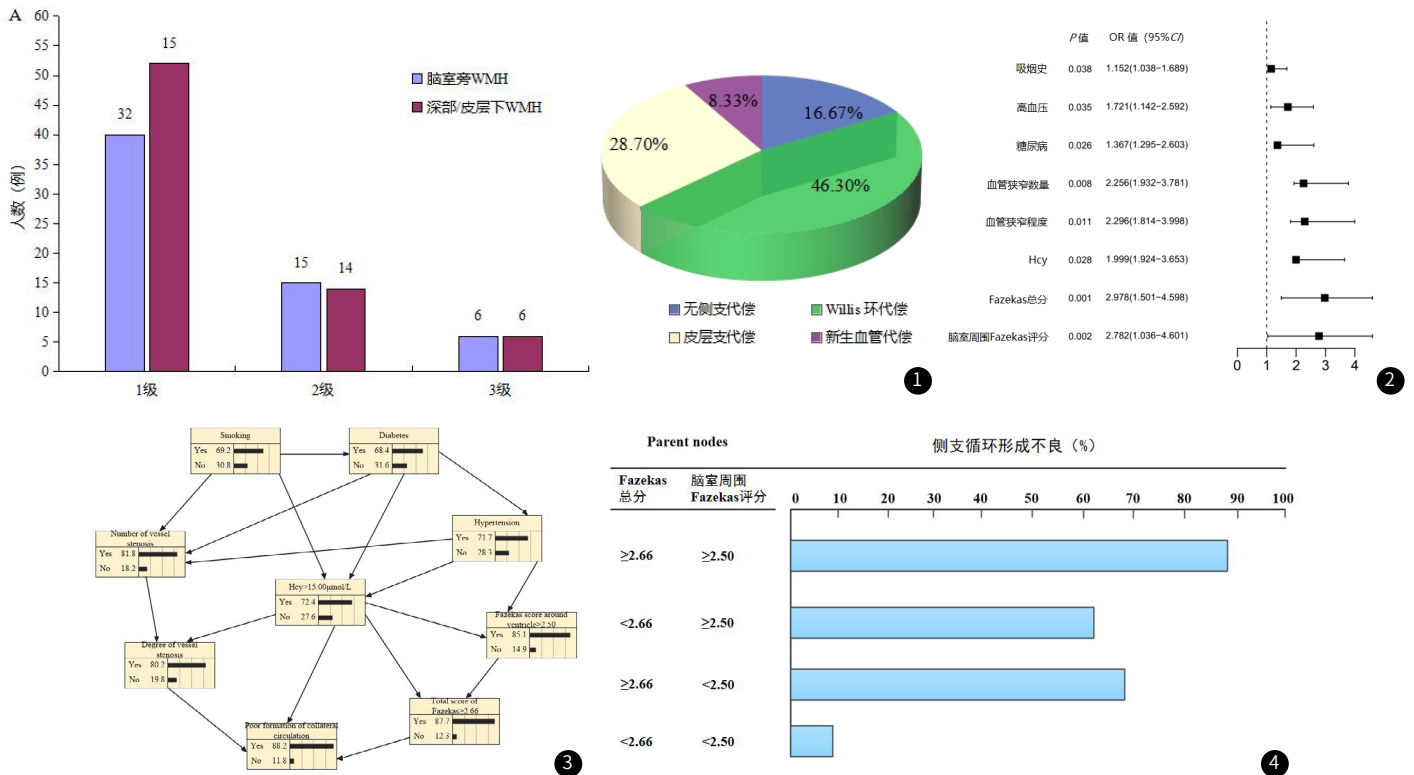


图1 分布情况(A: 不同级别WMH; B: 侧支循环类型)。图2 影响ICVD患者侧支循环形成不良的的森林图。图3 贝叶斯网络结构图。图4 贝叶斯网络模型预测推理。

表3 不同WMH评分与ICVD患者侧支循环建立的关联效应分析[OR(95%CI)]

变量	校正前				校正后			
	血流3级	血流2级	血流1级	血流0级	血流3级	血流2级	血流1级	血流0级
Fazekas总分								
Q1(1分)	1.70(1.46~1.82)	1.78(1.62~1.91)	1.86(1.70~2.06)	1.95(1.75~2.12)	1.73(1.49~1.86)	1.81(1.66~1.95)	1.89(1.73~2.09)	1.99(1.78~2.16)
Q2(2分)	1.74(1.50~1.90)	1.83(1.68~1.96)	1.91(1.75~2.11)	2.04(1.82~2.17)	1.78(1.54~1.92)	1.86(1.71~1.99)	1.94(1.78~2.15)	2.07(1.84~2.21)
Q3(3分)	1.80(1.61~2.11)	1.86(1.70~2.07)	2.04(1.87~2.17)	2.11(1.96~2.32)	1.84(1.63~2.12)	1.90(1.73~2.11)	2.07(1.90~2.21)	2.14(1.99~2.35)
Q4(4分)	1.83(1.68~2.14)	1.97(1.78~2.23)	2.20(2.01~2.46)	2.27(2.11~2.54)	1.86(1.71~2.19)	2.01(1.82~2.30)	2.23(2.04~2.49)	2.30(2.12~2.57)
Q5(5分)	1.92(1.72~2.20)	2.02(1.81~2.28)	2.21(2.03~2.49)	2.32(2.12~2.58)	1.95(1.75~2.23)	2.05(1.84~2.31)	2.24(2.05~2.52)	2.35(2.14~2.61)
Q6(6分)	2.02(1.80~2.35)	2.11(1.90~2.43)	2.32(2.11~2.50)	2.40(2.16~2.71)	2.05(1.81~2.37)	2.13(1.91~2.45)	2.34(2.12~2.55)	2.41(2.18~2.72)
P趋势	<0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注: 校正前未调整模型, 校正后调整吸烟史、高血压、糖尿病、血管狭窄数量及程度、Hcy。

表4 贝叶斯网络风险预测模型评价

数据库	样本量	准确性	F-测量值	AUC	95%CI
所有数据库	26.915	0.889	0.865	0.807	0.781~0.874
10倍交叉验证	26.915	0.887	0.864	0.803	0.779~0.863
训练集	21.579	0.890	0.867	0.811	0.784~0.879
测试集	5.336	0.885	0.859	0.790	0.770~0.865

3 讨论

ICVD是临床神经系统较为常见的疾病与多发病，好发于55岁以上的中老年人，且约50%~70%的存活者遗留瘫痪、失语等严重残疾，主要为血管狭窄性病变引起^[9-11]。相关研究显示，当脑组织抵抗缺血缺氧，进而避免梗死的重要储备能力是侧支循环，当大脑的动脉或静脉发生梗阻时，侧支循环能够进行代偿。但由于其侧支循环的代偿程度的不同，很可能并不会完全形成，特别是在数小时甚至数天内，且患者的临床表现受侧支循环建立、开放情况及其类型影响，进一步来说神经功能的缺损只会在侧支循环建立失败时才会发生^[12-13]。近年来随着影像学检查手段的普及，目前WMH的检出率越来越高，但对其发病机制目前仍无法作出准确解释，前人研究认为WMH的形成与脑血管壁增厚/继发坏死、微动脉、脑小动脉发生粥样硬关系密切，且更容易发现^[14-16]。因此，临床上了解侧支循环的建立情况与WMH关系对患者的病情发展可尽早做出评估，进而采取个性化治疗。

本研究通过对108例ICVD患者进行研究，结果表明吸烟史、Hcy、糖尿病、高血压均与ICVD患者侧支循环的建立有关，这与高秀先^[17]研究结果一致，可能是因为内皮细胞受到烟草中的CO、尼古丁等物质的影响，促进了迁移，对血管内皮功能造成伤害，同时引发血小板聚集，进一步促进动脉粥样硬化发生以及进展^[18]；患者长期患有高血压，能够加速损害血管内皮细胞功能，进而对侧支循环的建立造成阻碍作用，同时也会造成皮质下白质的小动脉发生玻璃样变性、不对称区域纤维化导致管腔狭窄，皮质下白质发生脱髓鞘改变、慢性缺血改变。另外，高血压也会进一步降低血脑屏障的通透性，干扰了脑脊液循环，进而促使脑间质水肿、造成神经纤维脱髓鞘损害^[19]；而糖尿病促使血管动脉粥样硬化加剧，增加其血液黏度，阻碍了血流速度，损伤颅内小血管内皮，导致颅内小血管闭塞等，进而对侧支循环的建立产生影响^[20]；Hcy作为一种含硫氨基酸，能产生一系列毒性物质如过氧化物等，高水平的Hcy往往会损坏血管内皮细胞，导致动脉粥样硬化发生，引发缺血缺氧，进而引发WMH，且使得血管平滑肌细胞大量增殖，对脑白质的缺血缺氧进一步加重^[21-22]。

Zhang等^[23]研究指出，脑血管狭窄或闭塞后可通过侧支循环进行代偿，增加侧支循环血管数量、供血面积均可进行改善，以达到维持颅内血液供应；王燕楠等^[24]研究发现脑血流量的不同与不同区域、激活程度、脑组织代谢密切相关，而代谢改变、缺血程度、神经机制的调节对脑组织缺血后侧支循环的开放具有重要作用；赵云凯等^[25]也进一步证实了随着血管狭窄程度加重，能够增加侧支循环的出现率。本研究结果显示血管狭窄程度、血管狭窄数量是ICVD患者侧支循环形成不良的关键因素，这可能与平滑肌细胞增殖和迁移有关，对管腔样结构进行了重塑，而病变血管支数与ICVD患者WMH形成相关，可能与患者长期慢性缺血刺激有关^[26]。此外，本研究通过单因素分析结果表明侧支循环不良组Fazekas总分、脑室周围Fazekas评分均显著高于侧支循环良好组，提示Fazekas总分、脑室周围Fazekas评分与侧支循环密切相关，进一步通过多元Logistic回归分析结果表明也是ICVD患者侧支循环形成不良的危险因素，说明WMH对整体脑血管功能障碍具有重要影响，WMH患者梗死率较高^[27]，因此，WMH严重程度可较好地评估侧支循环建立状况。最后本研究基于其危险因素构建了贝叶斯网络预测模型，其准确率为88.9%，AUC为0.807，表明该模型预测效能较高。

综上所述，脑血管病的严重程度与侧支循环的建立、开放、血流灌注异常密切相关，其状态与患者病情的发展、结局有着密切的关系，临床可通过评估WMH严重程度来评估侧支循环状态，进而为WMH患者提供更好的治疗方案。

参考文献

[1]Zhou J,Shan Y,Hu P.A systematic review and meta-analysis on transcranial Doppler in diagnosing ischemic cerebrovascular disease[J].Ann Palliat Med, 2021, 10 (8): 8963-8971.

[2]Hu HY,Ou YN,Shen XN,et al.White matter hyperintensities and risks of cognitive impairment and dementia:a systematic review and meta-analysis of 36 prospective studies[J].Neurosci Biobehav Rev, 2021, 120: 16-27.

[3]Andere A,Jindal G,Molino J,et al.Volumetric white matter hyperintensity ranges correspond to fazekas scores on brain MRI[J].J Stroke Cerebrovasc Dis, 2022, 31 (4): 106333.

[4]王玮,徐杰,孙凯.颅内侧支循环对急性缺血性脑卒中患者预后影响的研究进展[J].临床急诊杂志, 2020, 21 (9): 744-752.

[5]Peng G,Lu W,Chen K,et al.Study on collateral circulation level and prognosis of acute ischemic stroke by 4D CTA-CTP integrated technology and serum S100B[J].Microvasc Res, 2022, 140: 104270.

[6]房孟晓,惠品晶,孙彤,等.经颅多普勒超声评估单侧颈内动脉颅外段闭塞患者颅内侧支循环的临床意义[J].中风与神经疾病杂志, 2022, 39 (1): 12-17.

[7]Wang X,Zhang X,Guan Q,et al.Clinical effect of digital subtraction angiography combined with neurointerventional thrombolysis for acute ischemic cerebrovascular disease and its influence on vascular endothelial function and oxidative stress[J].Oxid Med Cell Longev, 2022, 2022: 2777865.

[8]Wahlund LO,Barkhof F,Fazekas F,et al.A new rating scale for age-related white matter changes applicable to MRI and CT[J].Stroke, 2001, 32 (6): 1318-1322.

[9]贾建普,张乐国,王丽轩,等.CTA评估缺血性脑血管病患者颈动脉粥样硬化程度与Cys-C、Hcy指标相关性分析[J].中国CT和MRI杂志, 2022, 20 (3): 11-13.

[10]冯飞阳,许家华,林庆兰,等.DSA对动脉粥样硬化相关性缺血性脑血管病的诊断价值分析[J].罕少疾病杂志, 2023, 30 (9): 19-20.

[11]陈亚伟,姚崇一,景会娜,等.128层CTA与颈部超声在缺血性脑血管疾病诊断中的应用价值探讨[J].中国CT和MRI杂志, 2023, 21 (9): 25-27.

[12]李易蒸,张庆欣,杨晓莉,等.急性缺血性脑卒中侧支循环与血管内皮细胞生长因子和碱性成纤维细胞生长因子的相关性[J].中华老年心脑血管病杂志, 2022, 24 (1): 67-70.

[13]Luo C,Liang F,Ren H,et al.Collateral blood flow in different cerebrovascular hierarchy provides endogenous protection in cerebral ischemia[J].Brain Pathol, 2017, 27 (6): 809-821.

[14]Shang K,Chen X,Cheng C,et al.Arterial tortuosity and its correlation with white matter hyperintensities in acute ischemic stroke[J].Neural Plast, 2022, 2022: 4280410.

[15]陈志健,罗德宏,钟晓燕,等.MoCA和MMSE在老年缺血性脑白质病变患者认知障碍评估中的应用研究[J].罕少疾病杂志, 2022, 29 (5): 42-43, 52.

[16]Garnier-Crussard A,Desestret V,Cotton F,et al.Hypersignaux de la substance blanche chez la personne âgée :physiopathologie,troubles cognitifs associés et pistes de prévention [White matter hyperintensities in ageing:Pathophysiology,associated cognitive disorders and prevention][J].Rev Med Interne, 2020, 41 (7): 475-484.

[17]高秀先.缺血性脑血管病患者侧支循环建立的相关影响因素及与神经功能损伤程度的关系分析[J].中国当代医药, 2020, 27 (33): 76-79.

[18]刘旭,拜承萍.急性缺血性脑卒中侧支循环影响因素的研究进展[J].临床医学进展, 2022, 12 (10): 9576-9581.

[19]叶珊珊,张旭,吴森翔,等.脑白质疏松相关危险因素分析[J].温州医科大学学报, 2021, 51 (8): 678-681.

[20]杨璐萌,程忻.血糖及侧支循环对急性前循环大动脉缺血性脑卒中预后的影响[J].心脑血管病防治, 2020, 20 (3): 229-231, 238.

[21]Cao Y,Su N,Zhang D,et al.Correlation between total homocysteine and cerebral small vessel disease:A Mendelian randomization study[J].Eur J Neurol, 2021, 28 (6): 1931-1938.

[22]贾建普,张乐国,王丽轩,等.CTA评估缺血性脑血管病患者颈动脉粥样硬化程度与Cys-C、Hcy指标相关性分析[J].中国CT和MRI杂志, 2022, 20 (3): 1-13.

[23]Zhang H,Rzechorzek W,Aghajanian A,et al.Hypoxia induces de novo formation of cerebral collaterals and lessens the severity of ischemic stroke[J].J Cereb Blood Flow Metab, 2020, 40 (9): 1806-1822.

[24]王燕楠,郭兴华.缺血性脑卒中侧支循环影响因素的研究进展[J].中西医结合心脑血管病杂志, 2022, 20 (1): 83-85.

[25]赵云凯,薛国芳.侧支循环对缺血性脑卒中的影响及其影像评估[J].中华老年心脑血管病杂志, 2021, 23 (1): 105-107.

[26]张燕,王永进,王琦,等.急性ST段抬高型心肌梗死患者冠脉侧支循环形成不良的影响因素及对预后的指导意义[J].心脏杂志, 2022, 34 (2): 158-163.

[27]付胜奇,周晓影,石宝洋,等.脑白质高信号与前循环大血管闭塞性卒中患者侧支循环状况的相关性[J].国际脑血管病杂志, 2021, 29 (9): 654-658.

(收稿日期: 2023-08-03)
(校对编辑: 江丽华)