

脑颈血管超声一体化检查在椎动脉颅内段闭塞与发育不良鉴别诊断中的应用及血流动力学特征分析

江浩, 魏米琳, 石英娜
(淮南新华医院超声医学科, 安徽 淮南 232000)

【摘要】目的: 探讨脑颈血管超声一体化检查对椎动脉颅内段闭塞与发育不良的鉴别诊断价值, 并分析两者血流动力学特征的差异。**方法:** 选取 54 例椎动脉颅内段闭塞患者(闭塞组)和 48 例椎动脉发育不良患者(发育不良组)作为研究对象, 两组患者均接受颈动脉超声及经颅多普勒(TCD)一体化检查, 测量两组患者颈动脉内中膜厚度(IMT)、斑块特征, 记录椎动脉椎间隙段及颅内段、大脑中动脉、基底动脉的收缩期峰值流速(PSV)、舒张末期流速(EDV)、搏动指数(PI)、阻力指数(RI)及侧支循环开放情况。采用二元 Logistic 回归分析筛选独立鉴别因子, 采用受试者工作特征(ROC)曲线评价各参数的鉴别诊断效能。**结果:** 闭塞组 IMT、斑块检出率及不稳定斑块比例均高于发育不良组($P<0.05$)。闭塞组患侧椎间隙段 PSV、EDV 降低、RI 升高; 颅内段患侧 PSV、EDV、RI 均降低, 健侧 PSV、EDV 升高; 大脑中动脉及基底动脉 PSV、EDV、PI 均降低, 后交通动脉开放率升高($P<0.05$)。患侧颅内段 PSV 降低、IMT 增厚、患侧 Δ RI 增大及后交通动脉开放是闭塞的独立预测因子($P<0.05$)。联合模型的曲线下面积(AUC)为 0.958(95%CI: 0.923~0.993), 敏感度为 92.59%, 特异度为 89.58%, 优于单一指标($P<0.05$)。**结论:** 椎动脉颅内段闭塞与发育不良具有明显的血流动力学差异, 脑颈血管超声一体化检查能够系统评估椎动脉颅内外全程及头颈部其他血管的血流动力学改变, 在二者的鉴别诊断中具有较高的临床应用价值。

【关键词】 椎动脉颅内段闭塞; 椎动脉发育不良; 脑颈血管超声一体化检查; 血流动力学; 鉴别诊断
【中图分类号】 R445.1; R743 **【文献标志码】** A

Diagnostic value and hemodynamic characteristics of combined cerebrovascular and cervical ultrasound in differentiating intracranial vertebral artery Occlusion from vertebral artery hypoplasia

JIANG Hao, WEI Mi-lin, SHI Ying-na
(Department of Ultrasound Medicine, Huainan Xinhua Hospital, Huainan 232000, Anhui, China)

【Abstract】Objective: To investigate the diagnostic value of integrated brain and neck vascular ultrasound in differentiating occlusion of the intracranial segment of the vertebral artery (VA) from vertebral artery hypoplasia, and to analyze the differences in hemodynamic characteristics between the two conditions. **Methods:** A total of 54 patients with intracranial vertebral artery occlusion (occlusion group) and 48 patients with vertebral artery hypoplasia (hypoplasia group), all of whom underwent integrated carotid ultrasound and transcranial doppler (TCD) examination, were included. Carotid intima-media thickness (IMT) and plaque characteristics were measured. Peak systolic velocity (PSV), end-diastolic velocity (EDV), pulsatility index (PI), and resistance index (RI) were recorded at the intervertebral and intracranial segments of the vertebral artery, the middle cerebral artery, and the basilar artery, along with collateral circulation status. Binary Logistic regression analysis was used to identify independent differentiating factors, and receiver operating characteristic (ROC) curves were employed to evaluate the diagnostic performance of each parameter. **Results:** In the occlusion group, IMT, plaque detection rate, and the proportion of unstable plaques were all higher than those in the hypoplasia group ($P<0.05$). On the affected side, PSV and EDV of the vertebral artery at the intervertebral segment decreased, while RI increased. In the intracranial segment, PSV, EDV, and RI on the affected side were all lower, whereas PSV and EDV on the contralateral side were higher. PSV, EDV, and PI of the middle cerebral artery and basilar artery decreased, and the patency rate of the posterior communicating artery increased ($P<0.05$). Decreased intracranial PSV on the affected side, increased IMT, increased Δ RI on the affected side, and a patent posterior communicating artery were independent predictors of occlusion ($P<0.05$). The combined model achieved an AUC of 0.958 (95%CI: 0.923~0.993), with a sensitivity of 92.59% and a specificity of 89.58%, outperforming any single

parameter ($P < 0.05$). **Conclusion:** Intracranial VA occlusion and VA hypoplasia exhibit distinct hemodynamic profiles. Integrated brain and neck vascular ultrasound enables systematic evaluation of hemodynamic alterations throughout the extracranial and intracranial course of the VA, as well as other cervicocerebral vessels, demonstrating substantial clinical utility in the differential diagnosis of these two entities.

【Key words】 Intracranial vertebral artery occlusion; Vertebral artery hypoplasia; Integrated brain and neck vascular ultrasound; Hemodynamics; Differential diagnosis

椎动脉颅内段闭塞与椎动脉发育不良是临床上两种性质迥异且超声表现相似的椎动脉病变,但病理本质与治疗策略截然不同,准确鉴别是制定治疗方案的前提^[1]。数字减影血管造影(digital subtraction angiography, DSA)可清晰显示管腔形态学改变,是目前临床诊断的金标准,但其有创性、辐射暴露及造影剂肾病风险,限制了其作为常规筛查手段的应用^[2]。计算机断层扫描血管成像和磁共振血管成像虽能提供较完整的血管解剖信息,但对血流速度、方向及侧支功能的动态评估价值有限,且存在费用较高、检查耗时等不足^[3]。脑颈血管超声一体化检查将颈动脉超声与经颅多普勒(transcranial doppler, TCD)有机结合,可同一诊次内完成颅外段及颅内段血管的系统评估,能够同步获取动脉结构信息与血流动力学参数,实现从颅外到颅内、从形态到功能的全程、连续观察^[4]。颈动脉超声能清晰显示椎动脉颅外段管壁结构、管腔内径及斑块特征,经颅多普勒则可动态评估颅内段血流速度、频谱形态及侧支循环代偿状态^[5]。目前国内已有学者^[6-7]应用脑颈血管超声一体化检查对椎动脉颅内段闭塞与发育不良的鉴别诊断进行了初步探索,但国际上尚未见同类研究报告,相关血流动力学特征的系统比较及其独立鉴别价值的量化分析仍较缺乏。本研究回顾性分析 54 例椎动脉颅内段闭塞患者和 48 例椎动脉发育不良患者的脑颈血管超声一体化检查资料,系统比较两组患者的颅内外血流动力学特征差异,分析筛选具有独立鉴别价值的超声参数。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性分析 2023 年 1 月至 2025 年 12 月淮南新华医院收治的 54 例椎动脉颅内段闭塞患者(闭塞组)和 48 例椎动脉发育不良(发育不良组)患者为研究对象。纳入标准:(1)年龄 ≥ 18 岁;(1)经 DSA 检查确诊为单侧椎动脉颅内段闭塞或单侧椎动脉发育不良;(3)均行完整的脑颈血管超声一体化检查,图像质量满足分析要求;(4)临床资料完整,包括详细病史、体格检查及相关实验室检查结果。排除标准:(1)合并双侧椎动脉病变者;(2)合并同侧颈内动脉重度狭窄(狭窄率 $\geq 70\%$)或闭塞者;(3)合并锁骨下

动脉盗血综合征者;(4)既往有颈部血管手术史或椎动脉支架植入史者;(5)合并严重重要脏器功能不全或恶性肿瘤者;(6)超声透声窗不佳、图像质量不满足分析要求者。本研究获医院医学伦理委员会审批。闭塞组病程为[8.00(6.00,10.00)]个月;发育不良组为先天性解剖变异,无“病程”定义,未做比较。两组患者在年龄、性别、体质量指数方面无统计学差异($P > 0.05$);在高血压病史方面有统计学差异($P < 0.001$),其中闭塞组高血压病史比例更高,符合两组疾病性质的差异($P < 0.05$)。见表 1。

表 1 两组患者一般资料比较 [$\bar{x} \pm s, n(\%), M(Q_1, Q_3)$]				
资料	闭塞组($n=54$)	发育不良组($n=48$)	t/χ^2 值	P 值
年龄(岁)	63.67 $\pm$ 8.35	62.24 $\pm$ 8.24	0.869	0.387
性别			0.630	0.427
男	29(53.70)	22(45.83)		
女	25(46.30)	26(54.17)		
体质量指数(kg/m ²)	22.34 $\pm$ 1.68	22.67 $\pm$ 1.34	1.088	0.279
高血压病史	43(79.63)	21(43.75)	13.995	<0.001
病程(月)	8.00(6.00,10.00)	—	—	—

1.2 方法

所有患者均接受脑颈血管超声一体化检查及 DSA 检查。

1.2.1 脑颈血管超声一体化检查方案 TCD 检查设备采用德力凯 EMS-9D 型经颅多普勒超声诊断仪,配备 1.6 MHz 脉冲波探头用于颅内血管检查。颈动脉超声检查设备采用迈瑞 Recho R9 型超声诊断仪,配备 15~3 MHz 浅表超声探头用于颈动脉超声检查。(1)颈动脉超声检查。患者取仰卧位,头偏向对侧,充分暴露颈部。用 15-3 MHz 浅表超声探头依次检测双侧颈总动脉、颈内动脉及椎动脉颈段。颈动脉内中膜厚度(intima-media thickness, IMT):于颈总动脉分叉处近心端 1.0~1.5 cm 处后壁测量 IMT,取 3 个心动周期平均值,IMT ≥ 1.0 mm 定义为增厚。斑块评估:观察斑块位置、大小、回声特征及表面形态。根据回声特征分为低回声、等回声、强回声及混合回声斑块。溃疡型斑块(表面凹陷深度 ≥ 2 mm)。将低回声斑块、混合回声斑块及溃疡型斑块归类为不稳定斑块。狭窄程度判断:依据北美症状性颈动脉内膜切除试验(NASCET)标准^[8],测

量直径狭窄率。血流参数:于狭窄远端 2 cm 处或血管平直段取样,记录收缩期峰值流速(peak systolic velocity,PSV)、舒张末期流速(end-diastolic velocity,EDV),并计算阻力指数(resistive index,RI)=(PSV-EDV)/PSV。(2)椎动脉颅外段检查。于颈部 C4~C6 椎间隙水平检测椎动脉椎间隙段(V2 段),记录管腔内径、PSV、EDV 及 RI。椎动脉发育不良颈部超声参考标准:椎间隙段内径 ≤ 2.5 mm,频谱呈低速高阻型改变。(3)TCD 检查。患者取仰卧位,使用 1.6 MHz 脉冲波探头,经颞窗及枕窗分别探测颅内主要动脉。探头置于颞弓上方、耳屏前方,深度调节至 50~65 mm,探测双侧大脑中动脉(middle cerebral artery,MCA)M1 段。记录 PSV、EDV,计算搏动指数(pulsatility index,PI)=(PSV-EDV)/平均流速(mean velocity,MV),及阻力指数 RI=(PSV-EDV)/PSV。以血流方向朝向探头、频谱形态正常为识别标准。随后将探头置于枕骨粗隆下方,声束指向前上方,深度调节至 80~120 mm,探测双侧椎动脉颅内段(V4 段)及基底动脉(basilar artery,BA)。记录各血管的 PSV、EDV、PI、RI。全部检查由同一位具有 5 年以上脑血管超声检查经验的主治医师完成,每项参数均测量 3 个心动周期取平均值。(4)阻力指数差值计算。根据上述测得的椎动脉颅外段(V2 段)及颅内段(V4 段)阻力指数,计算患侧椎间隙段 RI 与患侧颅内段 RI 的差值: $\Delta RI = \text{患侧椎间隙段 RI} - \text{患侧颅内段 RI}$ 。若存在双侧病变,则分别计算两侧的 ΔRI 值。

1.2.2 DSA 检查 采用 Seldinger 技术经股动脉穿刺,选择性插管至双侧锁骨下动脉和椎动脉,多角度投照显示椎动脉颅内外全程形态。椎动脉颅内段闭塞的诊断标准:椎动脉 V4 段完全中断、远端无对比剂充盈;椎动脉发育不良的诊断标准:椎动脉全程均匀性管径变细,管腔内径 ≤ 2.5 mm 或双侧管径比 $\geq 1:1.7$,但管腔内对比剂充盈完整、无中断。

1.3 统计学分析

采用 SPSS 26.0 统计学软件进行数据分析与处理。计量资料经 K-S 检验评估正态分布情况,符合正态分布的计量资料以 $(\bar{x} \pm s)$ 表示,两组间比较采用独立样本 t 检验,不符合正态分布的两组资料以 $[M(Q_1, Q_3)]$ 表示,组间比较采用 Mann-Whitney U 检验;计数资料以 $[n(\%)]$ 表示,组间比较采用独立样本 χ^2 检验。采用受试者工作特征(ROC)曲线分析超声参数对椎动脉颅内段闭塞与发育不良的鉴别诊断效能。采用二元 Logistic 回归分析(向前:LR 法)筛选鉴别诊断的独立预测因子,并建立联合预测模型。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者颈动脉超声指标比较

闭塞组 IMT 值、颈动脉斑块检出率及不稳定斑块比例均高于发育不良组($P < 0.05$);两组患者颈动脉狭窄程度均以轻中度为主,组间比较差异无统计学意义($P > 0.05$)。见表 2。

表 2 两组患者颈动脉超声指标比较 $[\bar{x} \pm s, n(\%)]$

指标	闭塞组($n=54$)	发育不良组($n=48$)	t/χ^2 值	P 值
IMT(mm)	1.23 ± 0.21	0.89 ± 0.16	9.109	<0.001
斑块检出	42(77.78)	19(39.58)	15.421	<0.001
不稳定斑块	28(51.85)	7(14.58)	15.659	<0.001
颈动脉狭窄 $\geq 50\%$	8(14.81)	3(6.25)	1.149	0.283

2.2 两组患者椎动脉椎间隙段及 TCD 颅内段血流参数比较

椎间隙段:两组患者健侧 PSV、EDV 差异无统计学意义($P > 0.05$);闭塞组健侧 RI 低于发育不良组,患侧 PSV、EDV 均低于发育不良组,RI 高于发育不良组($P < 0.05$)。颅内段:闭塞组患侧 PSV、EDV、RI 均低于发育不良组,健侧 PSV、EDV 均高于发育不良组($P < 0.05$);两组健侧 RI 差异无统计学意义($P > 0.05$)。见表 3。

表 3 两组患者椎动脉血流动力学参数比较 $(\bar{x} \pm s)$

参数	闭塞组($n=54$)	发育不良组($n=48$)	t 值	P 值
椎间隙段				
健侧 PSV(cm/s)	52.36 ± 8.74	51.89 ± 9.12	0.266	0.791
健侧 EDV(cm/s)	18.42 ± 3.56	18.07 ± 3.81	0.479	0.633
健侧 RI	0.65 ± 0.06	0.68 ± 0.07	2.330	0.022
患侧 PSV(cm/s)	26.35 ± 5.87	35.24 ± 6.53	7.241	<0.001
患侧 EDV(cm/s)	7.12 ± 2.08	10.86 ± 2.67	7.936	<0.001
患侧 RI	0.73 ± 0.05	0.69 ± 0.06	3.671	<0.001
TCD 颅内段				
健侧 PSV(cm/s)	58.72 ± 9.35	51.46 ± 8.67	4.050	<0.001
健侧 EDV(cm/s)	22.64 ± 4.21	19.38 ± 3.94	4.023	<0.001
健侧 RI	0.61 ± 0.07	0.62 ± 0.08	0.673	0.502
患侧 PSV(cm/s)	17.53 ± 4.26	28.91 ± 5.74	11.450	<0.001
患侧 EDV(cm/s)	5.82 ± 1.93	9.64 ± 2.55	8.586	<0.001
患侧 RI	0.52 ± 0.06	0.63 ± 0.08	7.909	<0.001
患侧 ΔRI	0.21 ± 0.06	0.13 ± 0.04	7.819	<0.001

$\Delta RI = \text{患侧椎间隙段 RI} - \text{患侧颅内段 RI}$ 。

2.3 两组患者 TCD 颅内主要动脉血流参数及侧支循环比较

闭塞组大脑中动脉及基底动脉的 PSV、EDV、PI 值均低于发育不良组($P < 0.05$),而两组大脑中动脉 RI 比较,差异无统计学意义($P > 0.05$);闭塞组后交通动脉开放率及软脑膜侧支开放率均高于发育不良组($P < 0.05$);两组患者前交通动脉开放率比较无统计学差异($P > 0.05$)。见表 4。

表 4 两组患者 TCD 颅内动脉血流参数及侧支开放情况比较 [$\bar{x}\pm s,n(\%)$]

指标	闭塞组($n=54$)	发育不良组($n=48$)	t/χ^2 值	P 值
大脑中动脉				
PSV(cm/s)	72.35±12.47	88.64±14.23	6.162	<0.001
EDV(cm/s)	28.41±5.82	36.57±6.94	6.457	<0.001
PI	0.78±0.12	0.91±0.14	5.049	<0.001
RI	0.53±0.07	0.55±0.08	1.347	0.181
基底动脉				
PSV(cm/s)	39.68±8.21	48.53±9.46	5.058	<0.001
EDV(cm/s)	15.24±3.68	19.87±4.55	5.676	<0.001
PI	0.72±0.14	0.85±0.16	4.377	<0.001
侧支开放				
前交通动脉	19(35.19)	12(25.00)	1.246	0.264
后交通动脉	25(46.30)	7(14.58)	11.870	0.001
软脑膜侧支	11(20.37)	2(4.17)	4.631	0.031

2.4 鉴别椎动脉颅内段闭塞与发育不良的二元 Logistic 回归分析

将因变量赋值:0=发育不良,1=闭塞,将表 2-4 中 $P<0.05$ 且代表不同病理生理维度的指标纳入二元 Logistic 回归分析(向前:LR 法)。结果显示,最终进入回归方程的变量为患侧颅内段 PSV、颈动脉 IMT、患侧 Δ RI 及后交通动脉开放,上述四个指标均为鉴别椎动脉颅内段闭塞与发育不良的独立影响因素($P<0.05$)。见表 5。

表 5 鉴别椎动脉颅内段闭塞与发育不良的二元 Logistic 回归分析

变量	β 值	SE 值	Wald 值	P 值	OR 值	95%CI
患侧颅内段 PSV	-0.339	0.085	15.906	<0.001	0.712	0.603~0.841
颈动脉 IMT	0.423	0.115	13.528	<0.001	1.526	1.218~1.912
患侧 Δ RI	0.391	0.112	12.186	<0.001	1.478	1.187~1.841
后交通动脉开放	1.052	0.461	5.208	0.022	2.863	1.160~7.068
常量	4.683	1.418	10.905	0.001	—	—

PSV、IMT、RI 以实际测量值赋值;后交通动脉开放赋值:0=未开放,1=开放

2.5 基于 Logistic 回归诊断模型分析超声参数对椎动脉颅内段闭塞与发育不良的鉴别诊断效能

采用 ROC 曲线评价上述四个独立预测因子及其联合模型的鉴别诊断效能。各指标单独鉴别的 AUC 分别为:患侧颅内段 PSV 0.916、颈动脉 IMT 0.893、患侧 Δ RI 0.882、后交通动脉开放 0.659。联合预测模型的 AUC 为 0.958(95%CI:0.923~0.993),敏感度为 92.59%,特异度为 89.58%,均优于各单一指标($P<0.05$)。见表 6。

表 6 基于 Logistic 回归诊断模型分析超声参数对椎动脉颅内段闭塞与发育不良的鉴别诊断效能

参数	AUC 值	95%CI	截断值	敏感度(%)	特异度(%)
患侧颅内段 PSV	0.916	0.862~0.970	22.50 cm/s	87.04	85.42
颈动脉 IMT	0.893	0.831~0.955	1.05 mm	79.63	85.42
患侧 Δ RI	0.882	0.814~0.950	0.15	83.33	81.25
后交通动脉开放	0.659	0.553~0.765	—	46.30	85.42
联合检测	0.958	0.923~0.993	—	92.59	89.58

3 讨论

本研究采用脑颈血管超声一体化检查椎动脉颅内段闭塞患者与椎动脉发育不良患者,系统分析了脑颈血管超声一体化检查所获取的颅内外血流动力学参数。结果显示,闭塞组颈动脉 IMT 值及斑块检出率均高于发育不良组,且不稳定斑块比例高达 51.85%。这一结果与椎动脉颅内段闭塞的病理机制相符:颅内段闭塞多继发于动脉粥样硬化斑块的进展、破裂及继发血栓形成,患者普遍存在系统性动脉粥样硬化负荷增高的背景^[9]。相反,发育不良组 IMT 值接近健康范围,斑块检出率较低,侧面印证了其先天性解剖变异的本质^[10]。因此,当颈部超声提示椎动脉“低速高阻”改变时,若同时检出颈动脉 IMT 增厚及不稳定斑块,应优先考虑颅内段闭塞的可能。研究中颈动脉 IMT 作为独立预测因子进入回归方程($OR=1.526$),最佳鉴别截断值为 1.05 mm,为临床提供了明确的量化参考。闭塞组患侧椎间隙段 RI 高于发育不良组,而颅内段患侧 RI 反而低于发育不良组,这种“近端高阻、远端低阻”的血流动力学模式,应主要是颅内段闭塞后,闭塞近端流出道阻力急剧增加,导致椎间隙段 RI 升高^[11];闭塞远端血管床因缺血启动自我调节机制,血管平滑肌代偿性扩张,加之软脑膜吻合支的侧支灌注,使远端血管阻力降低,RI 随之下降^[12]。而发育不良患者典型表现为血管全程纤细、通畅,颅内外 RI 变化幅度较小,因此,不具备上述特征性梯度改变^[13]。经 Logistic 回归进一步分析显示,患侧椎间隙段 RI 是独立预测因子,进一步证实了该指标在鉴别诊断中的独立价值。

闭塞组患侧颅内段 PSV 低于发育不良组,ROC 曲线分析显示,该指标单独鉴别的 AUC 达 0.916,最佳截断值为 22.50 cm/s,诊断效能最优。究其原因:颅内段闭塞导致管腔完全中断,远端灌注严重不足,血流速度急剧下降甚至消失,而发育不良仅为管径纤细,管腔保持通畅,血流速度虽有降低但仍可维持在相对稳定水平^[14]。本研究结果还观察到闭塞组后交通动脉开放率高达 46.30%,高于发育不良组的 14.58%,提示大脑动脉环(Willis 环)是椎动脉闭塞后最主要的代偿通路。后交通动脉作为连接前、后循环的重要侧支通道,其开放反映了颅内血流动力学的重新分布,当椎动脉颅内段闭塞导致后循环灌注压下降时,Willis 环的压力梯度驱动前循环血液经后交通动脉向缺血区域分流^[15-16]。发育不良患者因管腔仍通畅、灌注压尚可维持,侧支循环激活程度相对较低^[17]。Logistic 回归显示后交通

动脉开放是独立预测因子($OR=2.863$),其存在强烈提示颅内段闭塞而非单纯的发育不良。另外,值得注意的是,部分闭塞患者虽后交通动脉开放,但基底动脉 PSV 仍低于发育不良组,提示侧支代偿可能并不充分,此类患者后循环缺血事件风险更高,应给予更积极的干预。

经 Logistic 回归通过控制变量间的相互作用,筛选出患侧颅内段 PSV、颈动脉 IMT、患侧 ΔRI 及后交通动脉开放四个独立预测因子,分别代表颅内灌注状态、动脉粥样硬化负荷、颅内外血流梯度及侧支代偿四个不同维度。由此构建的联合诊断模型 AUC 达 0.958,敏感度和特异度分别提升至 92.59%和 89.58%,优于任一单一指标,充分体现了多维度信息融合的临床优势。脑颈血管超声一体化检查将颈动脉超声与 TCD 有机结合,能够同步获取动脉结构(IMT、斑块)与功能(流速、阻力、侧支)信息,实现了从颅外到颅内、从形态到功能的全程评估^[18-19]。本研究中该技术所获取的多维度参数经统计筛选后构建的联合模型取得了理想的诊断效能,验证了其临床应用价值。但本研究也存在一定局限性:本研究为单中心回顾性分析,样本量相对有限,可能存在选择偏倚;TCD 检查受操作者经验及患者颞窗透声条件影响,部分患者因透声窗欠佳可能影响血流参数的准确获取; ΔRI 虽具鉴别价值,但作为衍生指标,其临床适用性尚需更大样本量验证。

综上,椎动脉颅内段闭塞与发育不良在动脉粥样硬化负荷、颅内灌注状态、颅内外血流梯度及侧支代偿四个维度存在系统性差异。脑颈血管超声一体化检查作为无创、便捷、可重复性好的评估手段,能够全面获取上述关键信息,为临床精准鉴别两种椎动脉病变提供可靠依据。

参考文献

- [1] 曾敏,刘英,杨加惠,等.彩色多普勒超声检查对椎动脉狭窄和闭塞的诊断价值[J].重庆医学,2022,51(S2):110-113.
- [2] Wu YG, Wang B, Cui H, *et al.* Application of the Willis covered stent in the treatment of complex vascular diseases of the internal carotid artery and vertebral artery: a retrospective single-center experience [J]. Therapeutics and Clinical Risk Management, 2023, 19: 773-782.
- [3] Dao PV, Duy TM, Quang AN, *et al.* Endovascular management of subarachnoid hemorrhage due to vertebrobasilar artery dissection using emergency flow-diverter stent placement combined with pseudoaneurysm coiling[J]. Surgical Neurology International, 2026, 17: 107.
- [4] 雷恬,孙林,汪越澄.脑颈动脉一体化超声评估左侧颈总动脉闭

塞并头臂干重度狭窄 1 例[J].临床超声医学杂志,2025,27(4):347-349.

- [5] 王子懿.经颅多普勒超声血流显像联合 aEEG 参数预测急性脑卒中预后的效能[J].川北医学院学报,2026,41(2):235-238.
- [6] 李亮,华扬.联合应用头颈部血管超声诊断颅内外动脉多支血管病变一例[J].中国脑血管病杂志,2022,19(8):568-571.
- [7] Wang J, Ma Q, Yang Z, *et al.* Feasibility of evaluating the stenosis of intracranial segment in the vertebral artery using neck-brain integrated ultrasound: a comparison with computed tomography angiography and digital subtraction angiography [J]. Annals of Translational Medicine, 2020, 8(18): 1155.
- [8] 房景超,郑园园,王琳,等.颈动脉非增强高分辨 MRI 在颈动脉内膜切除术前患者颈动脉狭窄评估中价值的初步研究[J].中国微创外科杂志,2025,25(3):158-163.
- [9] Takekawa H, Tsukui D, Kobayasi S, *et al.* Ultrasound diagnosis of carotid artery stenosis and occlusion[J]. Journal of Medical Ultrasonics, 2022, 49(4): 675-687.
- [10] 段瑞欣,杨丽娟,李桂萍,等.基于超声及临床资料构建椎动脉发育不良患者发生急性后循环脑梗死的预测模型及验证[J].中风与神经疾病杂志,2024,41(10):910-915.
- [11] Ding D, Shi M, Tong X, *et al.* High-flow intracranial-intracranial interposition bypass from A1 to M2 with proximal occlusion for a large unruptured fusiform aneurysm of the middle cerebral artery M1 segment: a technical note[J]. World Neurosurgery, 2026, 205: 124627.
- [12] 王银荣,付晓宏,吴旭娟.CDUS 联合 TCCS 检查对椎动脉发育不良患者血流频谱形态异常的诊断价值[J].医学影像学杂志,2025,35(8):28-33.
- [13] 程娟,胡伟,王国平,等.延髓内侧梗死患者临床和影像学表现及其责任血管影像学特点的初步分析[J].中国脑血管病杂志,2021,18(10):713-719,737.
- [14] 刘洪,李嘉舟,王大莲,等.颈部血管超声评估颅外段椎动脉狭窄及颅内段狭窄程度的价值[J].中国煤炭工业医学杂志,2022,25(6):659-663.
- [15] Miller KB, Gallo SJ, Rivera-Rivera LA, *et al.* Vertebral artery hypoplasia influences age-related differences in blood flow of the large intracranial arteries [J]. Aging Brain, 2021, 1: 100019.
- [16] Yan L, Yu Y, Kang K, *et al.* Collateral flow in magnetic resonance angiography: prognostic value for vertebrobasilar stenosis with stroke recurrence [J]. Journal of Clinical Neurology, 2022, 18(5): 507-513.
- [17] 狄富平,刘文钊,蔺雪琴,等.椎动脉闭塞患者椎动脉结构特点及闭塞位置对后循环缺血的影响[J].空军航空医学,2022,39(6):320-323.
- [18] Liu Y, Cheng P, Jia X, *et al.* LASSO-Nomogram model for ultrasound-atherosclerosis correlation and diagnostic verification in anterior circulation [J]. Frontiers in Neurology, 2025, 16: 1639160.
- [19] 拜钱,王强,赵国强,等.颈部血管超声联合经颅多普勒超声对缺血性脑血管病患者侧支循环的诊断价值[J].中国医学装备,2025,22(5):67-71.

(收稿日期:2026-03-05

修回日期:2026-05-03)