

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

房孟晓, 惠晶晶, 孙 彤, 丁亚芳, 颜燕红, 张 白

摘要: **目的** 探讨经颅多普勒超声(TCD)评估单侧颈内动脉颅外段闭塞(ICA0)患者颅内侧支循环的临床价值。**方法** 回顾性连续纳入2018年1月至2020年12月就诊于苏州大学附属第一医院卒中中心、行颈部血管超声检查为单侧ICA0及数字减影血管造影(DSA)证实患者145例,其中症状组109例,无症状组36例。记录TCD评估颅内侧支循环类型并与DSA行一致性检验;记录双侧大脑中动脉(MCA)的血流动力学参数及双侧基底节区、颞叶CT灌注(CTP)参数;根据美国介入和治疗神经放射学学会/介入放射学学会(ASITN/SIR)侧支循环评估系统将患者分为侧支循环不良(0~2级)及良好组(3~4级),比较两组患侧MCA参数及CTP参数差异;比较无症状组、症状组双侧MCA血流参数差异及Alberta卒中项目早期CT评分(ASPECTS)。**结果** (1)一致性分析:TCD评估前交通动脉(ACoA)、后交通动脉(PCoA)、眼动脉(OA)与DSA的符合率分别为:93.1%、91.0%、80.7%,一致性均佳(Kappa值=0.84、0.78、0.66,均 $P < 0.05$) (2)侧支循环代偿情况:侧支循环不良组患侧大脑中动脉平均流速(Vm)、收缩期峰值流速(Vs)、舒张期末流速(Vd)、脉动指数(PI)低于良好组,其中Vm、Vs、Vd差异具有统计学意义($P < 0.05$);基底节及颞叶CBF、CBV均减低,MTT、TTP均延长,差异具有统计学意义(均 $P < 0.05$) (3)无症状组ASPECTS显著高于症状组,且健侧MCA血流参数差异小于症状组(均 $P < 0.01$)。**结论** TCD评估单侧颈内动脉颅外段闭塞患者颅内侧支循环与DSA有较好的一致性,MCA血流参数能反映其供血区域颅内灌注情况,是评估颅内侧支循环的有效工具。

关键词: 经颅多普勒超声; 颈内动脉; 闭塞; 侧支循环; 缺血性卒中

中图分类号:R445.1;R743 **文献标识码:**A

Clinical significance of transcranial Doppler ultrasonography to evaluate intracranial collateral circulation in patients with extracranial segment of unilateral internal carotid artery occlusion FANG Mengxiao, HUI Pinjing, SUN Tong, et al. (Department of Cervical And Cerebrovascular Ultrasound, Stroke Center, First Affiliated Hospital of Soochow University, Suzhou 215006, China)

Abstract: Objective To investigate the clinical value of transcranial Doppler ultrasound (TCD) in evaluating intracranial collateral circulation in patients with extracranial segment of unilateral internal carotid artery occlusion (ICA0). **Methods** A total of 145 patients with ICA0, 109 in the symptomatic group and 36 in the asymptomatic group, who were diagnosed by cervical vascular ultrasonography and confirmed by digital subtraction angiography (DSA) in the Stroke Center of the First Affiliated Hospital of Soochow University from January 2018 to December 2020, were retrospectively enrolled. TCD was recorded to evaluate intracranial collateral circulation types and performed consistency test with DSA. The hemodynamic parameters of bilateral middle cerebral artery (MCA) and CT perfusion (CTP) parameters of bilateral basal ganglia and temporal lobe were recorded. According to the Collateral circulation assessment system of the American Society for Interventional and Therapeutic Neuroradiology/Society for Interventional Radiology (ASITN/SIR), patients were divided into poor collateral circulation (grade 0~2) and good collateral circulation (grade 3~4), and the differences of MCA parameters and CTP parameters were compared between the two groups. The differences in bilateral MCA blood flow parameters between the asymptomatic group and the symptomatic group and the early CT scores (ASPECTS) of the Alberta Stroke Project were compared. **Results** (1) Consistency analysis: The coincidence rates of anterior communicating artery (ACoA), posterior communicating artery (PCoA), ocular artery (OA) and DSA evaluated by TCD were: 93.1%, 91.0%, 80.7%, with good consistency (Kappa value = 0.84, 0.78, 0.66, all $P < 0.05$). (2) Collateral circulation compensation: The mean flow rate (Vm), peak systolic flow rate (Vs), end diastolic flow rate (Vd) and pulsation index (PI) of the affected middle cerebral artery in the poor collateral circulation group were lower than those in the good group, and the differences in Vm, Vs and Vd were statistically significant ($P < 0.05$). CBF and CBV in basal ganglia and temporal lobe were decreased, while MTT and TTP were prolonged, with statistically significant differences (all $P < 0.05$). (3) ASPECTS in asymptomatic group were significantly higher than those in symptomatic group, and blood flow parameters in MCA of healthy side were less different than those in symptomatic group (all $P < 0.01$). **Conclusion** TCD is consistent with DSA in evaluating intracranial collateral circulation in patients with intracranial extracranial occlusion of unilateral internal carotid artery. MCA blood flow parameters can reflect the perfusion in the blood supply area, and TCD is an effective tool for evaluating intracranial collateral circulation.

Key words: Transcranial Doppler ultrasound; Internal carotid artery, occluded; Collateral circulation; Ischemic stroke

收稿日期:2021-12-25;修订日期:2022-01-08

基金项目:苏州市2020年度科技发展计划(民生科技)(No. SS202061);苏州大学课题(技术合作项目)(No. H211064)

作者单位:(苏州大学附属第一医院卒中中心-颈脑血管超声科,江苏苏州215006)

通讯作者:惠晶晶, E-mail: pinjing-hui@163.com

颈内动脉闭塞(ICA0)是缺血性卒中的重要危险因素^[1],但是否出现临床症状与颅内侧支循环建立与否密切相关。DSA是诊断颅内血管狭窄性病变及侧支循环的“金标准”^[2],可以对侧支循环开放与否及代偿情况进行有效评估,但因其有创性,无法作为颈动脉狭窄性病变的常规检查手段。TCD可以实时、无创检查颅内 Willis 环主干血管的血流动力学参数、判断血流方向,以了解侧支循环建立与否及其类型^[3]。那么,TCD能否准确评估颅内侧支循环,鉴此,本研究拟探讨 TCD 评估单侧 ICA0 颅内侧支循环的临床价值。

1 资料与方法

1.1 研究对象 回顾性连续纳入 2018 年 1 月至 2020 年 12 月就诊于苏州大学附属第一医院卒中中心,行颈部血管超声检查提示单侧 ICA0 并经 DSA 证实患者 145 例,其中男性 121 例,女性 24 例,年龄 42~79 岁,平均年龄(59.6±11.3)岁。表现为单侧肢体活动或感觉障碍、言语障碍、一过性黑蒙、突发意识不清等症状者 109 例,仅有头晕、眩晕、头痛等症状者 36 例。本研究已获得苏州大学附属第一医院伦理委员会的批准(2021-210)。

纳入标准:(1)行颈部血管超声检查诊断并经 DSA 证实为单侧 ICA0;(2)TCD 及 DSA 检查评估其颅内侧支循环;(3)行 CT 和(或)MRI 检查;(4)行 CTP 检查评估颅内灌注情况。排除标准:(1)TCD 检查颞窗透声欠佳;(2)存在颈内动脉颅内段、大脑中动脉中度以上狭窄或闭塞;(3)合并对侧颈动脉中度以上狭窄或闭塞患者;(4)CT 或 MRI 检查证实存在脑出血或颅内占位性病变;(5)接受颞浅动脉-大脑中动脉搭桥术后者。

1.2 临床资料收集 (1)一般临床资料:包括年龄、性别、临床表现、高血压、糖尿病、血脂情况、吸烟史及卒中家族史等;(2)ASITN/SIR 侧支循环代偿情况、双侧 MCA 血流参数、基底节区、颞叶 CTP 参数及 ASPECTS 评分。

1.3 仪器与方法 (1)TCD 检查:采用深圳德力凯公司的 EMS-9PB 型血流检测仪,选用 1.6MHz 脉冲多普勒探头及 4MHz 连续多普勒探头,按照《中国脑卒中血管超声检查指导规范》^[4],经颞窗检测 MCA、大脑前动脉、大脑后动脉;经眼窗检测颈内动脉虹吸部及眼动脉(OA),记录双侧 MCA 的血流动力学参数,包括平均流速(V_m)、收缩期峰值流速(V_s)、舒张期末血流速度(V_d)、搏动指数(PI)等,计算健侧 MCA 血流参数差异($\delta V_m = \text{健侧 MCA 平均流速} - \text{患侧 MCA 平均流速}$, δV_s 、 δV_d 、 δPI 同理)。(2)颈部血管超声检查:采用荷兰 Philips CX50 型彩色多普勒超声诊断仪,选择 3-5MHz 线阵探头,右侧自无名动脉起始、左侧自颈总动脉起始部

开始,由近心段至远心段、横断面及纵切面连续观察颈总动脉全程至颈动脉分叉上 20 mm 左右的颈内动脉,二维灰阶显像观察血管壁的形态学改变及血管腔内回声特点、有无动脉粥样硬化斑块及斑块性质;彩色多普勒血流成像观察血管的血流充盈情况;频谱多普勒超声记录血流动力学参数。(3)DSA 检查:采用德国 Siemens Neurostar plus/Top 血管造影机对患者进行主动脉弓及选择性全脑血管造影。根据不同的部位选择不同的投射角度,常规行正侧位和双斜位检查,以上由 2 名具有 5 年以上工作经验的介入科医师进行诊断。(4)CTP 检查:采用德国 Siemens 第二代双源 CT 行头部平扫,选定基底节及相邻层面 10.0 cm 范围行 CTP 扫描,使用 SYNGO VIA 软件进行后处理,感兴趣区域(ROI)的划分依据 Waaier 研究模板^[5],软件自动产生 ROI 及镜像对称部位的脑血容量(CBF)、脑血流量(CBV)、平均通过时间(MTT)、达峰时间(TTP)等参数,本研究纳入基底节层面基底节区及颞叶灌注参数进行分析。

1.4 诊断及分组标准

1.4.1 ICA0 诊断标准 (1)颈部血管超声:依据 2003 年美国放射学会超声分会的诊断标准^[6],颈内动脉管腔内充填均质或不均质回声,彩色多普勒血流成像显示血流信号消失。(2)DSA:颈总动脉造影时见颈内动脉充盈缺损其远端未显影^[7]。

1.4.2 TCD 判断颅内侧支循环开放标准^[4,5]

(1)一级侧支循环:前交通动脉(ACoA)开放:患侧大脑前动脉交通前段(A1段)血流方向逆转,压迫健侧颈总动脉其血流速度下降;后交通动脉(PCoA)开放:患侧大脑后动脉交通前段(P1段)血流速度增快,压迫健侧颈总动脉其血流速度略上升;(2)二级侧支循环:眼动脉(OA)开放:患侧 OA 血流方向逆转或呈双向血流频谱,频谱搏动性减弱,呈“颅内动脉化”血流频谱改变;软脑膜支(LMC)开放:患侧大脑前动脉/大脑后动脉平均血流速度较对侧增加 $\geq 30\%$ 。

1.4.3 ASPECTS 评分^[8] 基于 CT 扫描图像上 MCA 供血区 2 个层面上的 10 个区域(1)核团层面:划分为 M1、M2、M3、岛叶、豆状核、尾状核和内囊后肢共 7 个区域,M1、M2、M3 分别为:前部皮质、岛叶外侧皮质和后部皮质;(2)核团以上层面(核团水平上方 2cm):占 3 个区,分别计为 M4、M5、M6,对应 M1、M2、M3 相对的上方。总分 10 分,每累计 1 个区域减去 1 分,由两名高年资放射科医师单独进行 ASPECTS 评分,结果不一致者,由两名医师讨论后达成一致意见。

1.4.4 DSA 评估侧支循环等级的诊断标准 采用 ASITN/SIR 侧支循环分级^[9]:0 级:没有侧支循环到缺血区域;1 级:缓慢的侧支血流到缺血周边区

域;2级:快速的侧支血流到缺血周边区域,伴有持续灌注缺陷,仅部分到缺血区域;3级:静脉晚期可见缓慢但是完全的血流到缺血区域;4级:血流快速且完全地灌注到整个缺血区域。1.4.5 分组依据

根据 ASITN/SIR 侧支循环分级,0~2级为侧支循环不良组(以下简称不良组),3~4级为侧支循环良好组(以下简称良好组),DSA 检查由2名高年资介入科医师完成。按照中国急性缺血性脑卒中诊治指南^[10],将患者分为症状组及无症状组,症状组:因 ICAO 导致的单侧肢体无力或麻木、言语障碍、视物模糊、短暂性脑缺血发作(TIA)等109例,无症状组:仅表现为头晕、眩晕而无明确的神经系统定位症状者36例。

1.5 统计学分析 采用 SPSS 25.0 软件对数据进行建库、分析,患者年龄、收缩压、舒张压、总胆固醇、三酰甘油、低密度脂蛋白胆固醇、高密度脂蛋白胆固醇、双侧 MCA 血流参数及 CTP 参数为计量

资料,呈正态分布,采用 $\bar{x} \pm s$ 表示,侧支循环不良组与良好组间比较采用独立样本 *t* 检验;症状组与非症状组 ASPECTS 评分、 δV_m 、 δV_s 、 δV_d 、 δPI 不服从正态分布,以 M(QR) 表示,2组间比较采用 Mann-Whitney *U* 检验。性别、糖尿病史、吸烟史、卒中家族史、症状与非症状组为计数资料,用例数(%)表示。两组比较采用 χ^2 检验或 Fisher 精确概率检验。评估 TCD 与 DSA 判断侧支循环的一致性分析采用 Kappa 检验。检验水准 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果

2.1 一般临床资料比较 单侧 ICAO 患者共145例,根据 ASITN/SIR 侧支循环分级将患者分为两组,其中良好组101例,不良组44例。两组患者在性别、年龄、高血压、糖尿病、高血脂、吸烟史、卒中家族史等,差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$),临床表现差异具有统计学意义($P < 0.01$)(见表1)。

表1 侧支循环良好组与不良组患者一般临床资料比较

项目	良好组(n=101)	不良组(n=44)	检验值	P值
年龄(岁, $\bar{x} \pm s$)	59.8 ± 10.9	58.9 ± 12.2	0.76	0.38
男性[例(%)]	85(84.2)	38(86.4)	-0.34	0.74
血压				
收缩压(mmHg, $\bar{x} \pm s$)	128.6 ± 10.2	126.5 ± 9.2	0.74	0.39
舒张压(mmHg, $\bar{x} \pm s$)	104.4 ± 7.5	103.3 ± 7.5	0.01	0.91
糖尿病[例(%)]	20(19.8)	13(29.5)	-1.28	0.2
吸烟史[例(%)]	23(22.8)	20(45.4)	-1.83	0.07
卒中家族史[例(%)]	7(6.9)	4(9.1)	-1.13	0.26
血脂水平				
TC(mmol/L, $\bar{x} \pm s$)	4.14 ± 1.01	4.19 ± 0.61	0.19	0.67
TG(mmol/L, $\bar{x} \pm s$)	1.61 ± 0.48	1.38 ± 0.20	1.19	0.23
LDL-C(mmol/L, $\bar{x} \pm s$)	2.87 ± 0.36	2.80 ± 0.30	0.02	0.89
HDL-C(mmol/L, $\bar{x} \pm s$)	1.29 ± 0.28	1.30 ± 0.27	0.05	0.38
临床表现[例数,(%)]			-	0
无症状	65(64.4)	0(0)		
症状	36(35.6)	44(100)		

注:TC:总胆固醇;TG:三酰甘油;LDL-C:低密度脂蛋白胆固醇;HDL-C:高密度脂蛋白胆固醇,“-”表示 Fisher 精确概率法,无检验值

2.2 一致性分析 TCD 评估 ACoA、PCoA、OA 开放与 DSA 的符合率分别为:93.1%、91.0%、80.7%,一致性均佳(Kappa 值 = 0.84、0.78、0.66, $P < 0.05$)(见表2)。本研究145例患者中,DSA 检测到7例 LMC 开放,仅占4.8%,因此未对 LMC 开放与 TCD 进行对比研究。

表2 TCD 及 DSA 诊断侧支循环开放的一致性检验

TCD	ACoA(DSA)		PCoA(DSA)		OA(DSA)	
	+	-	+	-	+	-
+	84	7	93	9	75	16
-	4	50	5	38	8	46

2.3 侧支循环代偿情况

2.3.1 侧支循环良好组与不良组 MCA 及 CTP 参数比较 侧支循环良好组患者的患侧大脑中动脉 V_m 、 V_s 、 V_d 均高于不良组($P < 0.01$),差异具有统计学意义,PI 高于良好组,但无显著统计学差异($P > 0.05$);良好组患侧基底节、颞叶 CBF、CBV 均明显高于不良组,MTT、TTP 低于不良组,差异具有统计学意义(均 $P < 0.05$)(见表3)。侧支循环良好组患者 TCD 及 CTP 图像(见图1),ACoA、PCoA 均开放,ASITN/SIR 4级,不良组患者 TCD、CTP 图像如图2,仅 OA 开放,ASITN/SIR 2级。

2.3.2 症状组与无症状组间健患侧 MCA、ASPECTS 评分的比较 见表4。

表3 两组患者 MCA 血流参数与 CTP 参数比较

参数	良好组 (n = 101)	不良组 (n = 44)	检验值	P 值
患侧 MCA 参数				
V _m	39.35 ± 11.49	30.42 ± 10.47	4.441	0.003
V _s	55.29 ± 16.55	42.65 ± 14.35	4.373	0.005
V _d	30.43 ± 9.17	24.08 ± 8.16	3.914	0.007
PI	0.60 ± 0.10	0.58 ± 0.10	1.096	0.284
患侧基底节 CTP 参数				
CBF	44.93 ± 16.94	37.25 ± 16.81	10.865	0.001
CBV	3.77 ± 1.05	2.62 ± 0.93	5.505	0.02
MTT	5.83 ± 2.26	9.31 ± 3.96	4.23	0.042
TTP	14.7 ± 3.22	17.68 ± 5.14	4.556	0.034
患侧颞叶 CTP 参数				
CBF	50.33 ± 25.49	32.42 ± 14.7	3.614	0.049
CBV	4.34 ± 1.39	3.26 ± 0.83	4.673	0.007
MTT	6.52 ± 3.50	8.21 ± 3.57	3.227	0.021
TTP	15.46 ± 3.34	17.12 ± 4.64	3.097	0.042

表4 症状组与无症状组患侧 MCA 血流参数差异与 ASPECTS 的比较

参数	症状组	无症状组	检验值	P 值
δV _m	31 (21, 41.5)	19 (14, 28.75)	-4.061	0
δV _s	53 (36.5, 77)	38.5 (26, 52.5)	-3.738	0
δV _d	18 (11, 28)	11.5 (7, 18)	-3.155	0
δPI	0.26 (0.18, 0.36)	0.23 (0.12, 0.33)	-1.472	0.141
ASPECTS	8 (7, 9)	10 (10, 10)	-8.409	0

3 讨论

颈动脉狭窄性病变是导致缺血性卒中的原因之一,当脑组织出现供血不足时,颅内通过形成侧支循环来代偿。ICAO 可以表现为多种临床表现,如短暂性脑缺血发作、卒中、慢性眼部缺血,或仅表现为头晕、眩晕而无明确的神经系统定位症状,研究^[11]表明,个体激活侧支循环的能力是卒中异质性的主要原因。DSA 是评估血管狭窄性病变及侧支循环的“金标准”,在判断侧支循环及软脑膜支的开放程度方面具有明显的优势,临床广泛应用 ASITN/SIR 以评估 Willis 环和软脑膜侧支的循环状态^[12]。但因其有创且价格昂贵,难以作为颈动脉狭窄性疾病评估侧支循环的常规检查手段。TCD 可实时、无创检测 Willis 环主干血管及判断侧支循环,分析其血流动力学并结合压颈试验等综合判断一级、二级侧支循环开放与否。因此,本研究拟探讨 TCD 评估单侧 ICAO 患者颅内侧支循环情况。

颅内侧支循环分为三级,一级侧支循环即 Willis 环的 ACoA、PCoA,二级侧支循环为通过颈外-颈内动脉侧支、软脑膜支,三级侧支循环属于新生血管即毛细血管。本研究 145 例患者中,7 例症状性 ICAO 患者 DSA 检测到 LMC 开放,3 例患者同时存在 OA 开放,4 例患者同时存在一级侧支循环开放,且均无发育完整的 Willis 环,间接说明颅内主要的侧支循环

通路是 Willis 环的 ACoA、PCoA,与 Hoksbergen 等^[13]的研究一致。因此,本研究仅对 TCD 评估 ICAO 患者 ACoA、PCoA、OA 与 DSA 行一致性检验,其中 ACoA、PCoA、OA 开放情况与 DSA 一致性佳,诊断符合率分别为:0.93、0.91、0.81,与本团队前期研究^[14]一致,其中评估 ACoA、PCoA 与 DSA 的一致性极佳,Kappa 值为 0.86、0.75,诊断眼动脉开放与 DSA 一致性较好,可能与眼动脉代偿水平有关,TCD 通过检测眼动脉的血流方向及血流频谱以判断眼动脉开放与否,当颈外动脉流向眼动脉的血流较少,眼动脉血流频谱及血流方向改变微小,使得 TCD 检测 OA 与 DSA 一致性相对较低。ICAO 患者除 ACoA、PCoA、OA 以外,尚存在其他代偿途径,TCD 通过血流动力学参数及血流方向难以观察到,且 TCD 无法直接显示颅内血管解剖结构的形态学改变,部分高龄患者颞窗透声欠佳,诊断存在操作者依赖性^[15],需要操作者全面了解脑血管解剖学、生理学、血管血流动力学和血流频谱分析,且手法准确,多角度、多深度、实时动态进行评估。

CTP 可以半定量评价脑血流灌注^[16],CBF、CBV 通常用于识别梗死组织^[17],CBF 代表每单位脑组织在单位时间通过毛细血管的血液体积,CBV 代表每 100g 脑组织的血液体积;MTT、TTP 可以用来评估缺血半暗带,MTT 是血液流经感兴趣区的平均通过时

间,延长提示脑灌注储备受损,TTP 延长与侧支循环或血流速度减慢有关。MCA 是颈内动脉的直接延续,当颈内动脉闭塞时,MCA 的血流来自于侧支循环代偿,因此 MCA 血流可以反映颅内灌注情况及侧支循环代偿程度。本研究中,侧支循环不良组患侧基底节、颞叶 CBF、CBV 明显低于良好组,且患侧 MCA 血流参数中 V_m 、 V_s 、 V_d 明显低于良好组,均差异具有统计学意义($P < 0.01$),PI 低于良好组,差异无统计学意义($P > 0.05$),表明 MCA 血流参数可以半定量评估 MCA 供血区域局部脑血流,与 Miyazawa 等^[18]的研究一致;侧支循环不良组患侧基底节、颞叶 MTT、TTP 较良好组延长,差异均具有统计学意义,表明侧支循环不良组脑循环代偿能力较差,脑灌注储备相对侧支循环良好组减低。

ASPECTS 可以对缺血性卒中患者 MCA 供血区的早期缺血性改变进行半定量评价,还可以评价梗死程度及判断预后^[19]。本研究侧支循环良好组中 65 例表现出单侧肢体乏力、言语障碍、视物模糊等症状,35 例仅表现为头晕、头痛等症状,侧支循环不良组 44 例均表现为头晕伴有一侧肢体活动障碍等神经功能缺损症状;无症状组 ASPECTS 评分高于症状组,且 δV_m 、 δV_s 、 δV_d 、 δPI 低于症状组,表明与健侧相比,患侧 MCA 血流速度越高,其侧支循环代偿越好,症状相对越轻。

综上所述,TCD 评估颅内侧支循环与 DSA 一致性较好,且 MCA 血流参数可以反映其供血区颅内灌注情况,是评估颅内侧支循环的有效工具。Bisschops 等^[20]研究表明,初级侧支循环的存在可以防止脑缺血,但目前尚不清楚前、后交通动脉或者两者的侧支血流是否有利于血流动力学,也有研究表明前交通动脉的开放对于 ICAO 患者的血流动力学代偿至关重要^[21],眼动脉顺向血流的存在提示侧支循环良好。临床中 ICAO 患者不同侧支循环常同时开放,目前少有研究关注不同侧支循环患者颅内灌注的代偿情况,本课题将在后续的研究中持续关注。

本研究存在以下不足:ICAO 可以发生在任何节段,闭塞位置不同时,颅内侧支循环开放类型也有所不同。本研究仅诊断颅外段即 C1 段颈内动脉闭塞进行研究,未针对不同病因颈内动脉闭塞患者侧支循环开放情况进行讨论,今后将进一步扩大样本量,并对 ICAO 患者进行长时间的随访观察以探讨 TCD 在 ICAO 随访中的价值。

[参考文献]

- [1] Mayer L, Grams A, Freytag CF, et al. Management and prognosis of acute extracranial internal carotid artery occlusion [J]. *Ann Transl Med*, 2020, 8(19):1268.
- [2] Liu L, Ding J, Leng X, et al. Guidelines for evaluation and management of cerebral collateral circulation in ischaemic stroke 2017 [J]. *Stroke and Vascular Neurology*, 2018, 3(3):117-130.
- [3] Malhotra K, Goyal N, Tsivgoulis G. Internal Carotid Artery Occlusion: Pathophysiology, Diagnosis, and Management. [J]. *Curr Atheroscler Rep*, 2017, 19:41.
- [4] 华 扬, 惠晶晶, 邢瑛琦. 中国脑卒中血管超声检查指导规范 [J]. *中华医学超声杂志(电子版)*, 2015, 12(8):599-610.
- [5] Sik KY, Stirling MJ, Zsolt G, et al. Flow diversion in transcranial Doppler ultrasound is associated with better improvement in patients with acute middle cerebral artery occlusion [J]. *Cerebrovasc Dis*, 2006, 21:74-78.
- [6] Waaijer A, van der Schaaf IC, Velthuis BK, et al. Reproducibility of quantitative CT brain perfusion measurements in patients with symptomatic unilateral carotid artery stenosis [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2007, 28(5):927-932.
- [7] Grant EG, Benson CB, Moneta GL, et al. Carotid artery stenosis: gray-scale and Doppler US diagnosis--Society of Radiologists in Ultrasound Consensus Conference [J]. *Radiology*, 2003, 229(2):340-346.
- [8] 陈 宇, 徐依成, 温宏峰, 等. 弥散加权成像-阿尔伯特卒中项目早期 CT 评分对急性前循环脑梗死患者早期神经功能恶化的预测价值 [J]. *中风与神经疾病杂志*, 2021, 38(4):109-112.
- [9] 中国卒中学会脑血流与代谢分会. 缺血性卒中侧支循环评估与干预中国指南(2017) [J]. *中华内科杂志*, 2017, 56(6):460-471.
- [10] 中华医学会神经病学分会, 中华医学会神经病学分会脑血管病学组. 中国急性缺血性脑卒中诊治指南 2018 [J]. *中华神经科杂志*, 2018, 51(9):666-682.
- [11] Connolly F, Röhl JE, Lopez-Prieto J, et al. Pattern of Activated Pathways and Quality of Collateral Status in Patients with Symptomatic Internal Carotid Artery Occlusion [J]. *Cerebrovasc Dis*, 2019, 48(3-6):244-250.
- [12] Singer OC, Berkefeld J, Nolte CH, et al. Collateral vessels in proximal middle cerebral artery occlusion; the ENDOSTROKE study [J]. *Radiology*, 2015, 274(3):851-858.
- [13] Hoksbergen AW, Fülesdi B, Legemate DA, et al. Collateral configuration of the circle of Willis; transcranial color-coded duplex ultrasonography and comparison with postmortem anatomy [J]. *Stroke*, 2000, 31(6):1346-1351.
- [14] 颜燕红, 惠晶晶, 惠国桢, 等. 经颅多普勒联合 CT 灌注成像对单侧颈内动脉重度狭窄或闭塞患者脑血流动力学评价 [J]. *中华神经外科杂志*, 2013, 29(6):603-607.
- [15] Robba C, Goffi A, Geeraerts T, et al. Brain ultrasonography: methodology, basic and advanced principles and clinical applications. A narrative review [J]. *Intensive Care Medicine*, 2019, 45(7):913-927.
- [16] Burton KR, Dhanoa D, Aviv RI, et al. Perfusion CT for selecting patients with acute ischemic stroke for intravenous thrombolytic therapy [J]. *Radiology*, 2015, 274(1):103-114.
- [17] Rava RA, Podgorsak AR, Waqas M, et al. Use of a convolutional neural network to identify infarct core using computed tomography perfusion parameters [J]. *Proc SPIE Int Soc Opt Eng*, 2021. doi: 10.1117/12.2579753
- [18] Miyazawa T, Shibata S, Nagai K, et al. Relationship between cerebral blood flow estimated by transcranial Doppler ultrasound and single-photon emission computed tomography in elderly people with dementia [J]. *J Appl Physiol* (1985), 2018, 125(5):1576-1584.
- [19] Wintermark M, Flanders A, Velthuis B, et al. Perfusion-CT assessment of infarct core and penumbra; receiver operating characteristic

curve analysis in 130 patients suspected of acute hemispheric stroke [J]. Stroke,2006,37(4):979-985.

[20] Bisschops R, Klijn C, Kappelle L, et al. Collateral flow and ischemic brain lesions in patients with unilateral carotid artery occlusion[J]. Neurology,2003,60(9):1435-1441.

[21] Sundaram S, Kannoth S, Thomas B, et al. Collateral Assessment by CT Angiography as a Predictor of Outcome in Symptomatic Cervical Internal Carotid Artery Occlusion[J]. AJNR. American Journal of Neuroradiology,2017,38(1):52-57.

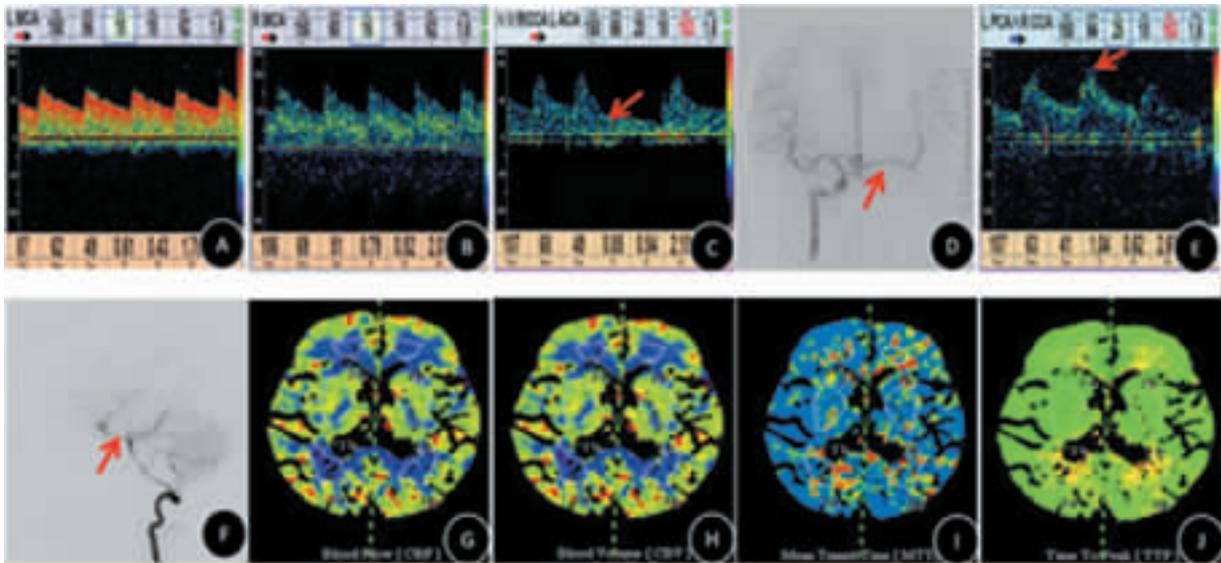


图 A、B:左侧(患侧)vs 右侧(健侧):MCA Vm:62 cm/s vs 69 cm/s;MCA Vs:87 cm/s vs Vs:101 cm/s;MCA Vd:49 cm/s vs 51 cm/s;MCA PI:0.61 vs 0.79;图 C:压迫健侧颈总动脉,患侧大脑前动脉血流速度下降(红色箭头所示),表明健侧颈总动脉血流通过发育完好的 ACoA 供应患侧大脑前动脉;图 D:健侧颈总动脉造影(正位图)示患侧 MCA 显影(红色箭头所示),提示 ACoA 开放;图 E:压健侧颈总动脉时患侧大脑后动脉血流速度稍增高(红色箭头所示),表明患侧 PCoA 开放;图 F:行患侧椎动脉造影(侧位图)见部分患侧 MCA 显影,提示患侧 PCoA 开放(红色箭头所示);见图 G-J:该患者 CTP 检查各参数(CBF、CBV、MTT、TTP)未见明显缺血灌注异常。

图 1 患者,男,45 岁,因头晕 1 月余入院,DSA 诊断为左侧颈内动脉闭塞

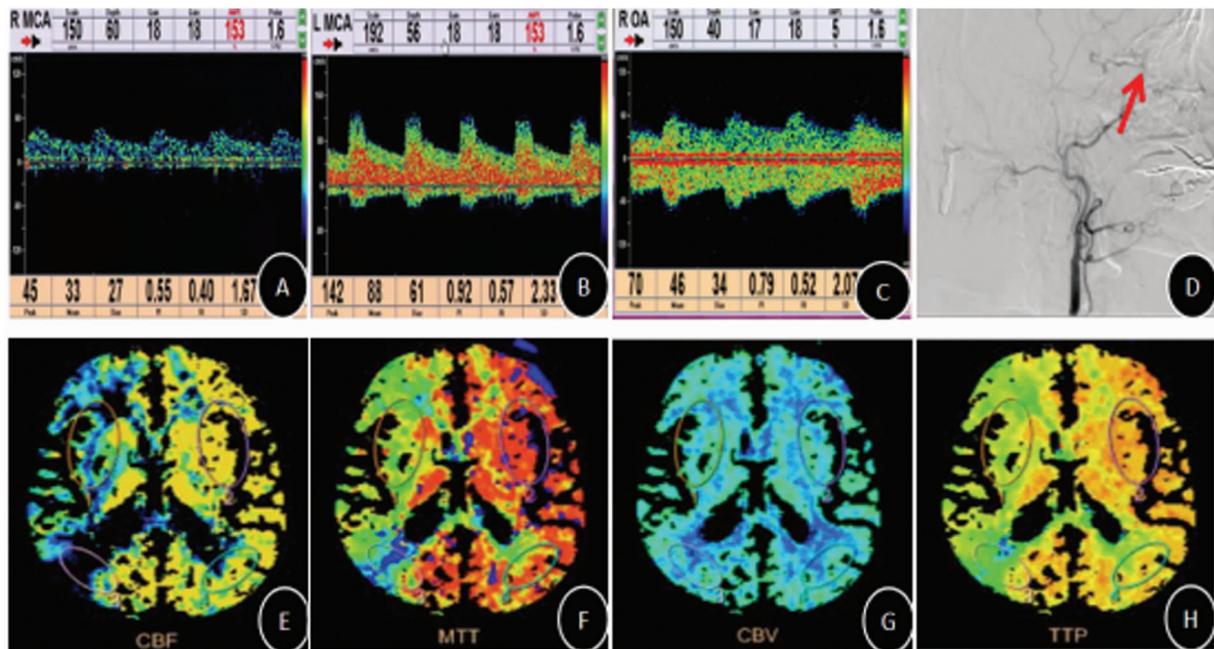


图 A、B:右侧(患侧)vs 左侧(健侧):MCA Vm:33 cm/s vs 88 cm/s;MCA Vs:45 cm/s vs 142 cm/s;MCA Vd:27 cm/s vs 61 cm/s;MCA PI:0.55 vs 0.92;图 C:患侧眼动脉为双向血流信号,呈“颅内动脉化”血流频谱,提示颈外-颈内动脉开放;图 D:患侧颈总动脉造影示颈内动脉闭塞,且颈外动脉通过眼动脉(红色箭头所示)向颅内供血;图 E-H:该患者 CTP 示患侧大脑半球感兴趣区 CBF、CBV 较对侧减低,MTT、TTP 较对侧延长

图 2 男,79 岁,因“言语不清伴左侧肢体活动不利 2 d”入院,行颈部血管超声及 DSA 检查均提示右侧颈内动脉闭塞