

## 改良 TCD 颈总动脉压迫试验诊断侧支循环通路开放与存在的价值

宋彬彬 李丽 宁金丽 杜艳姣 辛果果

郑州大学附属洛阳中心医院,河南 洛阳 471000

通信作者:宋彬彬

**【摘要】** 目的 探讨改良 TCD 颈总动脉压迫试验诊断前交通动脉、后交通动脉开放或存在的准确性和价值。方法 回顾性分析数字减影血管造影诊断的 192 例颈内动脉狭窄  $\geq 70\%$  或闭塞患者(病变组)和 136 例颈内动脉无重度狭窄或闭塞患者(正常组)资料,患者均接受改良颈总动脉压迫试验,比较两种检查方法诊断前交通动脉、后交通动脉开放与存在的准确度。结果 TCD 和数字减影血管造影在单纯前交通动脉开放的检测中,一致性检验 Kappa 值=0.941 ( $P < 0.001$ );在单纯后交通动脉开放的检测中,一致性检验 Kappa 值=0.903 ( $P < 0.001$ );在前交通动脉/后交通动脉均开放的检测中,一致性检验 Kappa 值=0.924 ( $P < 0.001$ );在前交通动脉/后交通动脉均未开放的检测中,一致性检验 Kappa 值=0.943 ( $P < 0.001$ );在单纯前交通动脉存在的检测中,一致性检验 Kappa 值=0.936 ( $P < 0.001$ );在单纯后交通动脉存在的检测中,一致性检验 Kappa 值=0.932 ( $P < 0.001$ );在前交通动脉/后交通动脉均存在的检测中,一致性检验 Kappa 值=0.917 ( $P < 0.001$ );在前交通动脉/后交通动脉均不存在的检测中,一致性检验 Kappa 值=0.910 ( $P < 0.001$ );两种检查方法在检测前交通动脉、后交通动脉开放与存在上有一致性。结论 改良颈总动脉压迫试验可以提高诊断一级侧支循环通路是否开放的准确性;解决前交通动脉、后交通动脉未开放时是否存在的诊断问题,有助于颈动脉内膜切除术术前精准评估,保障手术安全,与数字减影血管造影符合度高,可以进行推广。

**【关键词】** 经颅多普勒;改良颈总动脉压迫试验;颈动脉病变;侧支循环;缺血性脑血管病

**【中图分类号】** R743 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1673-5110 (2022) 06-0752-07

**基金项目:** 河南省医学科技攻关计划联合共建项目(编号:LHGJ20210859);洛阳市医疗卫生科研专题(编号:2001024A)

### Modified TCD Common Carotid Artery Compress to evaluate the significance of collateral circulation opening and existence

SONG Binbin, LI Li, NING Jinli, DU Yanjiao, XIN Guoguo

Luoyang Central Hospital Affiliated to Zhengzhou University, Luoyang 471000, China

Corresponding author: SONG Binbin

**【Abstract】 Objective** To investigate the accuracy and significance of the modified TCD Common Carotid Artery Compress to evaluate the anterior communicating artery and posterior communicating artery. **Methods** Data of 192 patients with internal carotid artery stenosis  $\geq 70\%$  or occlusion (lesion group) diagnosed by digital subtraction angiography and 136 patients without severe stenosis or occlusion (normal group) with internal carotid artery were retrospectively analyzed. All patients underwent a modified Common Carotid Artery Compress to compare the accuracy of the diagnosis of the anterior communicating artery and posterior communicating artery is open-

DOI:10.12083/SYSJ.211329

**本文引用信息:** 宋彬彬,李丽,宁金丽,杜艳姣,辛果果.改良 TCD 颈总动脉压迫试验诊断侧支循环通路开放与存在的价值[J].中国实用神经疾病杂志,2022,25(6):752-758. DOI:10.12083/SYSJ.211329

**Reference information:** SONG Binbin, LI Li, NING Jinli, DU Yanjiao, XIN Guoguo. Modified TCD Common Carotid Artery Compress to evaluate the significance of collateral circulation opening and existence[J]. Chinese Journal of Practical Nervous Diseases, 2022, 25(6): 752-758. DOI: 10.12083/SYSJ.211329

ing and existed. **Results** Transcranial Doppler and digital subtraction angiography in the pure the anterior communicating artery opening test, the value of Kappa is 0.941 ( $P < 0.001$ ), In the simple posterior communicating artery opening test, the value of Kappa is 0.903 ( $P < 0.001$ ). In the tests where both the anterior communicating artery /posterior communicating artery are open, the value of Kappa is 0.924 ( $P < 0.001$ ), In tests where neither the anterior communicating artery/ posterior communicating artery is open, the value of Kappa is 0.943 ( $P < 0.001$ ), In the detection of the presence of posterior communicating artery alone, the value of Kappa is 0.932 ( $P < 0.001$ ), and in the detection of both the anterior communicating artery /posterior communicating artery, the value of Kappa is 0.917 ( $P < 0.001$ ), In the absence of the anterior communicating artery/posterior communicating artery, the value of Kappa is 0.910 ( $P < 0.001$ ). The two inspection methods are consistent in detecting the openness and existence of the anterior communicating artery and posterior communicating artery. **Conclusion** Modified TCD Common Carotid Artery Compress can improve the accuracy of diagnosing whether the primary collateral circulation pathway is open; To solve the problem of whether the anterior and posterior communication arteries are not open but exist. It is helpful for accurate preoperative evaluation of carotid endarterectomy. It can ensure the safety of operation. It is high compliance with digital subtraction angiography and can be promoted.

**【Key words】** Transcranial Doppler, Modified TCD Common Carotid Artery Compress; Carotid artery disease; Collateral circulation; Ischemic cerebrovascular disease

颈动脉严重狭窄或闭塞是缺血性脑血管病 (ischemic cerebrovascular disease, ICVD) 的重要原因之一, 但并非所有的严重狭窄和闭塞都会出现脑梗死、TIA 等脑缺血事件, 这与侧支循环通路建立的速度与代偿能力有直接关系。病变发展速度和能否迅速建立有效的侧支循环是脑缺血症状是否出现的主要原因<sup>[1-3]</sup>。在颈动脉急性闭塞时由于二、三级侧支代偿需要一定时间的建立, 能够迅速起到代偿作用的只有一级侧支; 颈动脉内膜切除术 (CEA) 手术由于夹闭的是颈总动脉, ECA—OA—ICA 通路在术中属于无效通路, 对于改善患者术中缺血没有作用, 开放或者发育良好的一级侧支通路是手术安全的重要保障<sup>[4]</sup>。因此一级侧支的评估对于临床工作更有实际价值, 此时一级侧支循环通路发育、代偿情况可以为预后判断提供指标, 同时也是 CEA 术前评估的重要内容, 充分了解侧支通路发育情况和代偿能力并据此决定手术方案是手术安全的重要保障<sup>[5]</sup>。

颈动脉严重狭窄或闭塞患者需要明确侧支循环是否开放已经得到广泛认可<sup>[6-9]</sup>, 但侧支循环没有开放时, 是否存在有效通路的诊断并未引起足够关注。并非所有的颈动脉严重狭窄或闭塞都会引起侧支开放, 同时 CEA 手术对象包括一部分具有症状的颈动脉中度狭窄患者, 此时患者是否存在有效侧支对于治疗方案的抉择具有重要意义, CTA、MRA 由于需要血流通过才能观察到血管的存在, 此时由于该侧支循环并没有开放, 那么 CTA、MRA 无法评估没有开放的侧支循环通路是否存在, 更没有办法判断该侧支通路的代偿能力。DSA 可以通过阻断患侧颈总动脉判断是否存在侧支通路<sup>[10]</sup>, 但至少需要打两次造影剂才能进行判断, 且对于侧支通路的代偿能力以及慢开型侧支通路仍然无法准确判断。

颈总动脉压迫试验 (Common Carotid Artery Compress, CCAC) 诊断侧支循环开放的价值已经得到临床的认可<sup>[6-9, 11]</sup>, 但仍然存在诊断后交通动脉 (PCoA) 是否开放准确性不足; 前交通动脉 (ACoA) 开放, 同侧仍有血供时, 无法区分患侧 PCoA 是否开放的问题; 难以准确诊断 ACoA、PCoA 未开放时是否存在等问题。迫切需要有更为精准的方法解决上述问题, 笔者通过对 CCAC 进行改良, 旨在为临床确诊和更深入研究侧支循环通路提供更多客观依据。

## 1 资料和方法

**1.1 一般资料** 选择 2017-01—2020-12 经数字减影血管造影 (DSA) 确诊的单侧颈内动脉重度狭窄或闭塞患者 192 例, 病变组男 129 例, 女 63 例; 年龄 46~96 (67.84±9.56) 岁。无病变患者 136 例, 无病变组男 92 例, 女 44 例; 年龄 34~90 (66.80±11.36) 岁。2 组患者性别构成、年龄结构等差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ ), 所有入组患者颞窗信号良好。

## 1.2 研究方法

**1.2.1 DSA 检查:** 采用气管内插管全身麻醉, 经股动脉 Seldinger 法穿刺, 行主动脉弓、椎动脉、颈总动脉、颈内动脉、颈外动脉造影。按照北美症状性颈动脉内膜切除术试验 (NASCET) 诊断颈动脉狭窄的标准<sup>[12]</sup>判断血管狭窄程度。

**1.2.2 TCD 常规检测方法:** 使用深圳德力凯 9A 或 9PB 行 TCD 常规检查<sup>[6-9, 11]</sup>, 用改良 CCAC 评估侧支循环开放或存在情况, 按压时密切观察患者的反应, 压迫位置不宜过高, 以免压迫或刺激颈动脉窦, 同时按照颈部血管彩超 (CDUS) 结果避开易损斑块。

**1.2.3 改良 CCAC 评估侧支循环开放标准:**

**1.2.3.1 ACoA 侧支通路开放、PCoA 侧支通路未开放**

指征:患侧 ACA 反向,健侧 ACA 血流速增快。压迫患侧 CCA 时患侧 MCA 血流速度无改变,压迫健侧 CCA 时患侧 MCA 血流速度减慢至基线,提示仅 ACoA 侧支通路开放,患侧 CCA 没有血流至患侧 MCA,患侧 ECA-ICA 侧支、PCoA 侧支通路均未开放。分别压迫健侧、患侧 CCA 时患侧 MCA 血流速度均减慢但未至基线,提示 ACoA 侧支通路开放且患侧 CCA 仍有血流至患侧 MCA,需进行双侧 CCAC 判断患侧 PCoA 侧支通路是否开放:压迫患侧 CCA 的同时压迫健侧 CCA,如果患侧 MCA 血流降至基线,则提示患侧 PCoA 侧支通路未开放。

1.2.3.2 PCoA 侧支通路开放、ACoA 侧支通路未开放指征:患侧 PCA 的 P1 段、BA 及至少一条 VA 血流速度增快。分别压迫健侧、患侧 CCA,患侧 MCA 血流频谱均无改变,提示患侧 PCoA 侧支通路开放,双侧 CCA 无血流至患侧 MCA。压迫患侧 CCA,患侧 MCA 血流减慢但不能降低至基线水平,患侧 PCA1 血流增快,压迫健侧 CCA,患侧 MCA 血流频谱无减慢,提示患侧 PCoA 侧支通路开放,ACoA 侧支通路未开放,患侧 CCA 仍有血流至患侧 MCA。

1.2.3.3 ACoA、PCoA 侧支通路同时开放指征:患侧 ACA 反向,健侧 ACA 血流速增快,患侧 PCA 的 P1 段、BA 及至少一条 VA 血流速度增快,压迫参与供血侧 CCA,患侧 PCA1 血流增快。压迫患侧 CCA 时患侧 MCA 血流速度减慢但不能降低至基线水平,压迫健侧 CCA 时患侧 MCA 血流速度减慢但不能降低至基线水平,提示患侧 ACoA 侧支通路开放且患侧 CCA 仍有血流至患侧 MCA,但无法判断患侧 PCoA 侧支通路是否开放,需进行双侧 CCAC 判断:压迫患侧 CCA 的同时压迫健侧 CCA,如果患侧 MCA 血流降至基线,提示患侧 PCoA 侧支通路未开放,如果患侧 MCA 血流未降至基线,则提示患侧 CCA 有血流至患侧 MCA,ACoA 和患侧 PCoA 侧支通路均开放;压迫患侧 CCA 时患侧 MCA 血流速度不变,压迫健侧 CCA 时患侧

MCA 血流速度减慢但不能降低至基线水平,提示患侧 CCA 无血流至患侧 MCA,ACoA 和患侧 PCoA 侧支通路均开放。

### 1.2.4 改良 CCAC 评估侧支循环存在标准:

1.2.4.1 ACoA 侧支通路存在、PCoA 侧支通路不存在指征:①压迫评估侧 CCA,评估侧 MCA 血流减慢但不能降低至基线水平,评估侧 ACAA1 血流先消失再出现反向血流信号,评估侧 PCAP1 无增快;②压迫评估侧 CCA,待评估侧 MCA 血流保持稳定,再压迫对侧 CCA,评估侧 MCA 血流减慢至基线水平。同侧 CCAC,LMCA 血流未降至基线,可判断存在侧支通路,但无法判断 ACoA、LPCoA 哪支存在(图 1A);先同侧 CCAC,再对侧 CCAC,血流进一步减慢至基线不再增快,证明 ACoA 存在,LPCoA 不存在(图 1B)。

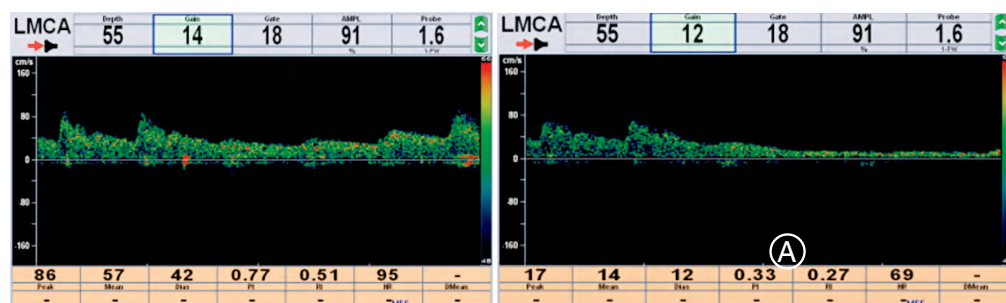
1.2.4.2 PCoA 侧支通路存在、ACoA 侧支通路不存在指征:①压迫评估侧 CCA,评估侧 MCA 血流减慢但不能降低至基线水平,评估侧 ACAA1 血流先消失再出现顺向血流信号,评估侧 PCAP1 血流增快;②压迫评估侧 CCA,待评估侧 MCA 血流保持稳定,再压迫对侧 CCA,评估侧 MCA 血流频谱无改变。同侧 CCAC,LMCA 血流减慢但未至基线,提示同侧存在血供外还存在其他通路,但无法明确判断(图 2A、B)。

1.2.4.3 ACoA、PCoA 侧支通路同时存在指征:①压迫评估侧 CCA,评估侧 MCA 血流减慢但不能降低至基线水平,评估侧 ACA1 血流先消失再出现血流信号,评估侧 PCA1 血流增快;②压迫评估侧 CCA,待评估侧 MCA 血流保持稳定。压迫对侧 CCA,评估侧 MCA 血流频谱减慢但不能降低至基线水平。先同侧 CCAC,再对侧 CCAC,血流进一步减慢,提示 ACoA 存在(图 2C);保持双侧 CCAC,血流爬升,提示存在的 RPCoA 开放(图 2D)。

1.2.4.4 ACoA、PCoA 侧支通路均不存在指征:压迫评估侧 CCA,评估侧 MCA 血流降低至基线水平(图

3A、B)。

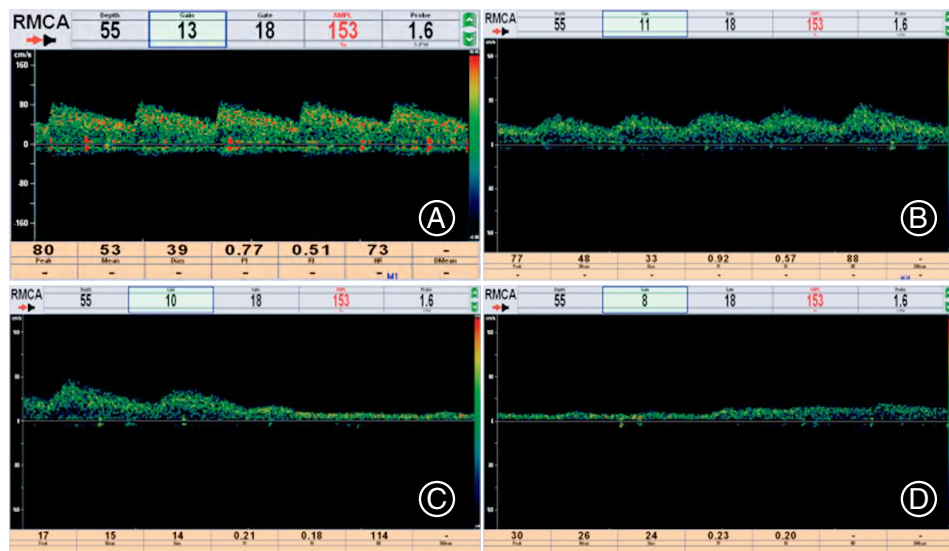
1.3 统计学方法 采用 SPSS19.0 统计软件进行数据处理与分析,计数资料以率(%)表示,两种检查方法间比较采用 Kappa 值判断一致性,以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。



注:A:同侧 CCAC B先同侧 CCAC,再对侧 CCAC

图 1 ACoA 存在、PCoA 不存在

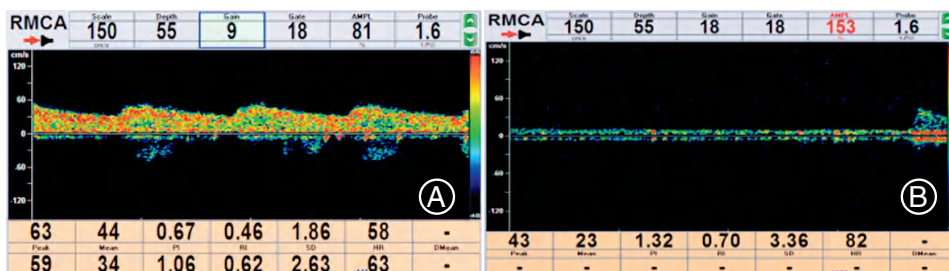
Figure 1 Only ACoA is existed



注:A:未CCAC时RMCA;B:同侧CCAC;C:先同侧CCAC,再对侧CCAC;D:保持双侧CCAC

图2 PCoA 存在、ACoA 不存在

Figure2 Only PCoA is existed



注:A:RICA 重度狭窄, RMCA 低速低搏幅改变;B 同侧 CCAC

图3 ACoA、PCoA 均不存在

Figure3 Both ACoA and PCoA are not existed

## 2 结果

病变组 192 例, ACoA/PCoA 均未开放经 DSA 诊断为 31 例, 经 TCD 诊断 32 例。单纯 ACoA 开放经 DSA 诊断为 63 例, 经 TCD 诊断 64 例; 单纯 PCoA 开放经 DSA 诊断为 38 例, 经 TCD 诊断 40 例; ACoA/PCoA 均开放经 DSA 诊断为 54 例, 经 TCD 诊断 56 例。为侧支循环通路开放组。

病变组 ACoA/PCoA 均未开放 32 例, 正常组 136 例, 合计 168 例, 为侧支循环通路未开放组。单纯 ACoA 存在经 DSA 诊断为 62 例, 经 TCD 诊断 63 例; 单

纯 PCoA 存在经 DSA 诊断为 37 例, 经 TCD 诊断 39 例; ACoA/PCoA 均存在经 DSA 诊断为 52 例, 经 TCD 诊断 54 例; ACoA/PCoA 均不存在经 DSA 诊断为 12 例, 经 TCD 诊断 12 例。

以 DSA 为标准, CCAC 诊断单纯 ACoA 开放的敏感性为 96.83%, 特异性为 97.67%; 诊断单纯 PCoA 开放的敏感性为 94.74%, 特异性为 97.40%; 诊断 ACoA/PCoA 均开放的敏感性为 96.20%, 特异性为 97.10%; 诊断单纯 ACoA/PCoA 均不开放的敏感性为 96.77%, 特异性为 98.76% (表 1)。诊断单纯 ACoA 存在的敏感性为 96.77%, 特异性为 97.17%; 诊断单纯 PCoA 存在的敏感性为 97.30%, 特异性为 97.71%; 诊断 ACoA/PCoA 均存在的敏感性为 96.15%, 特异性为 96.55%; 诊断 ACoA/

PCoA 均不存在的敏感性为 91.67%, 特异性为 99.36% (表 2)。

TCD 和 DSA 在单纯 ACoA 开放的检测中, 一致性检验 Kappa 值=0.941 ( $P < 0.001$ ); 在单纯 PCoA 开放的检测中, 一致性检验 Kappa 值=0.903 ( $P < 0.001$ ); 在 ACoA/PCoA 均开放的检测中, 一致性检验 Kappa 值=0.924 ( $P < 0.001$ ); 在 ACoA/PCoA 均未开放的检测中, 一致性检验 Kappa 值=0.943 ( $P < 0.001$ ); 在单纯 ACoA 存在的检测中, 一致性检验 Kappa 值=0.936 ( $P < 0.001$ ); 在单纯 PCoA 存在的检测中, 一致性检

表 1 TCD 与 DSA 检出侧支循环开放类型的比较

Table 1 Comparison of open forms of collateral circulation about TCD and DSA

类别	TCD(+)	TCD(+)	TCD(-)	TCD(-)	敏感性/%	特异性/%	Kappa 值	P 值
	DSA(+)	DSA(-)	DSA(+)	DSA(-)				
单纯 ACoA 开放	61	2	3	126	96.83	97.67	0.941	< 0.001
单纯 PCoA 开放	36	2	4	150	94.74	97.40	0.903	< 0.001
ACoA/PCoA 均开放	52	2	4	134	96.20	97.10	0.924	< 0.001
ACoA/PCoA 均未开放	30	1	2	159	96.77	98.76	0.943	< 0.001

表 2 TCD 与 DSA 检出侧支循环存在类型的比较

Table 2 Comparison of existing forms of collateral circulation about TCD and DSA

类别	TCD(+)	TCD(+)	TCD(-)	TCD(-)	敏感性/%	特异性/%	Kappa 值	P 值
	DSA(+)	DSA(-)	DSA(+)	DSA(-)				
单纯 ACoA 存在	60	2	3	103	96.77	97.17	0.936	<0.001
单纯 PCoA 存在	36	1	3	128	97.30	97.71	0.932	<0.001
ACoA/PCoA 均存在	50	2	4	112	96.15	96.55	0.917	<0.001
ACoA/PCoA 均不存在	11	1	1	155	91.67	99.36	0.910	<0.001

验 Kappa 值=0.932( $P < 0.001$ ) 在 ACoA/PCoA 均存在的检测中,一致性检验 Kappa 值=0.917( $P < 0.001$ ); 在 ACoA/PCoA 均不存在的检测中,一致性检验 Kappa 值=0.910( $P < 0.001$ )。两种检查方法在检测 ACoA、PCoA 开放与存在上有一致性。

### 3 讨论

颈动脉严重狭窄或闭塞是发生 ICVD 的重要原因之一<sup>[9]</sup>,然而同等程度的狭窄,既可能出现脑梗死、TIA 等脑缺血事件,也可能不产生任何症状,这与侧支循环通路建立的速度与代偿能力有直接关系<sup>[11-12]</sup>,代偿能力良好的侧支可以有效减少 ICVD 的发生<sup>[13]</sup>。

在颈动脉急性闭塞或 CEA 手术夹闭颈总动脉时能够迅速起到代偿作用的只有一级侧支代偿,二、三级侧支代偿需要一定时间的建立,并且由于夹闭的是颈总动脉,ECA—OA—ICA 通路在术中属于无效通路,对于改善患者缺血没有作用,开放或者发育良好的一级侧支通路是手术安全的重要保障<sup>[14-16]</sup>。因此一级侧支的评估对于临床工作更有实际价值。

颈动脉严重狭窄或闭塞患者需要明确侧支循环开放已经得到广泛认可<sup>[14-15]</sup>,但侧支循环没有开放时,是否存在有效通路的评估并未引起足够关注。并非所有的颈动脉严重狭窄或闭塞都会引起侧支开放,同时 CEA 手术对象包括一部分具有症状的中度狭窄患者,此时患者是否存在有效侧支对于治疗方案的抉择具有重要意义<sup>[9]</sup>。部分医院 CEA 手术常规使用转流管,保证脑部血流灌注以减少缺血性脑损伤<sup>[17-18]</sup>,然而使用转流管必然延长手术时间,增加手术费用,还有可能造成颈内动脉内膜夹层形成,斑块碎屑脱落导致脑栓塞等严重并发症<sup>[19]</sup>。部分医院 CEA 手术不使用转流管,只依赖术中监测,然而无论是脑氧饱和度监测还是残端压测量都无法做到瞬时、连续,手术存在脑缺血风险的可能性。CEA 术前 CCAC 精准侧支评估,不仅可以判断侧支开放、存在类型,还能判断不同通路类型的代偿能力<sup>[20-21]</sup>。存在

发育良好的侧支通路可以不必使用转流管,节约手术时间、手术费用,规避不必要的风险;如果不存在有效侧支,则必须使用转流管或采用颈动脉支架置入术(CSA),以保障患者安全<sup>[22]</sup>。DSA 是侧支循环通路评估的“金标准”<sup>[2, 23]</sup>,但价格昂贵、操作复杂、设备普及度低、有创性等原因,限制其作为初筛和随访的手段。

CCAC 判断侧支循环开放的价值已经得到临床的认可<sup>[24-30]</sup>,但仍然存在诊断 PCoA 是否开放准确性不足;ACoA、PCoA 同时开放,同时同侧仍有血流供应时难以准确判断;ACoA、PCoA 存在但未开放难以准确诊断等问题。CCAC 的方法在各指南有提纲挈领的描述,但实际工作经常遇到复杂、多变的情况:(1)原 CCAC 法难以鉴别 PCA、VA、BA 存在轻度狭窄导致的流速增快或 PCoA 开放代偿性流速增快;(2)ACoA 开放,同侧仍有血供时,原 CCAC 法无法区分 PCoA 是否开放;(3)在 CEA 手术前精准评估患者是否存在有效侧支至关重要,原 CCAC 法难以准确判断。准确判断代偿通路的意义在于,被“窃血”的血管其自身如果存在病变,有可能会引起其供血区域的缺血性改变,CEA 术中我们不仅仅要了解手术侧是否缺血,同样需要了解被“窃血”区域是否缺血。笔者通过对 CCAC 进行改良,以期针对性的解决问题,旨在为临床确诊和更深入研究侧支循环通路提供更多客观依据。

双侧 CCAC 需由两名富有经验的医师共同完成,其中负责压迫健侧 CCA 的医师作为主导,引导整个过程在极短时间内完成,严格规范按照流程操作,并不存在脑缺血风险,可以有效保障安全。

PCoA 开放与患侧 PCA 与 MCA 脑膜支开放的鉴别点:(1)脑膜支开放多见于 MCA 闭塞性病变,颈动脉病变较少出现;(2)脑膜支开放时,P1、P2 流速均增快,PCoA 开放时,P1 增快,P2 不增快;(3)CCAC 血流进一步增快可提示 PCoA 通路存在;(4)网膜支开放管径弱于 PCoA,代偿血流的波形明显较低钝、流速

较慢。

在评估侧支循环通路是否开放前需要先明确通路中各支血管是否发育良好<sup>[31-37]</sup>,当颈动脉重度狭窄或闭塞时,压迫健侧 CCA 时患侧 MCA、ACA 血流速度减慢,并非 ACoA 侧支通路开放的绝对指征:(1) CCA 闭塞时,健侧 ECA—健侧甲状腺上动脉—患侧甲状腺上动脉—患侧 ECA—患侧 ICA 窃血。(2)当 ACoA 或 ACA<sub>1</sub>发育不良时,双侧 VA 近端闭塞,健侧 ECA—健侧 LOcA—健侧 VA—BA—患侧 PCA<sub>1</sub>—患侧 PCoA—患侧 TICA—患侧 MCA。此时压迫健侧 CCA 时患侧 MCA、ACA 血流速度减慢,如果据此诊断 ACoA 侧支通路开放显然是不准确的,此时需要结合其他指标才能得到精准的诊断结论。

在 ACA<sub>1</sub>缺如、ACA<sub>2</sub>由对侧供血时,TCD 仍然可以探及 ACA<sub>2</sub>起始段的血流信号,该血流信号同侧 CCAC 无反应,对侧 CCAC 降低,此时同侧 MCA 同侧 CCAC 降低,对侧 CCAC 无反应,不能诊断为 ACoA 开放。

侧支通路方式多样,TCD 受自身限制仅能对一级侧支循环和部分二级侧支循环进行判断,实际情况中,有多种 TCD 无法明确的侧支循环通路方式进行代偿,但 TCD 至少可以提示代偿效果以及术中是否存在缺血可能<sup>[38-44]</sup>。双侧 CCAC 有一定的操作难度,颞窗穿透不良的患者,从眼窗较难判断 PCA,有可能降低本方法诊断 PCOA 存在或开放的准确性<sup>[45-49]</sup>。

改良 CCAC 可以补充诊断细节,提高诊断准确性,精准评估一级侧支循环通路开放或存在的途径,为手术方式的选择提供客观依据,关注术侧和“窃血”区域的血供,可以更好保障患者安全。

#### 4 参考文献

- [1] CIPOLLA M J, LIEBESKIND D S, CHAN S L. The importance of comorbidities in ischemic stroke: Impact of hypertension on the cerebral circulation[J]. *J Cereb Blood Flow Metab*, 2018, 38 (12): 2129-2149. DOI: 10.1177/0271678x18800589.
- [2] XUE J, PENG Y, ZHANG Y, et al. Preliminary application of CT perfusion source images for evaluating regional collateral circulation in unilateral Moyamoya disease[J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2019, 9(4): 615-624. DOI: 10.21037/qims.2019.04.05.
- [3] BERRY J A, CORTEZ V, TOOR H, et al. Moyamoya: An Update and Review [J]. *Cureus*, 2020, 12 (10): e10994. DOI: 10.7759/cureus.10994.
- [4] AL-ALI F, ELIAS J J, TOMSICK T A, et al. Relative Influence of Capillary Index Score, Revascularization, and Time on Stroke Outcomes From the Interventional Management of Stroke III Trial [J]. *Stroke*, 2015, 46 (6): 1590-1594. DOI: 10.1161/strokeaha.115.009066.
- [5] FAN W, SHI W, RONG J, et al. Different Grades of Collateral Circulation for Evaluating Cerebral Hemodynamic Status in Carotid Artery Stenosis[J]. *J Healthc Eng*, 2022, 2022: 8484977. DOI: 10.1155/2022/8484977.
- [6] LIU Y, DONG M H, HU B, et al. Collateral circulation compensation mode in patients with severe bilateral internal carotid artery stenosis/occlusion[J]. *Zhonghua Nei Ke Za Zhi*, 2021, 60 (8): 739-743. DOI: 10.3760/cma.j.cn112138-20210129-00083.
- [7] BADACZ R, PRZEWOŁOCKI T, KARCH I, et al. Low prevalence of collateral cerebral circulation in the circle of Willis in patients with severe carotid artery stenosis and recent ischemic stroke[J]. *Postepy Kardiol Interwencyjnej*, 2015, 11 (4): 312-317. DOI: 10.5114/pwki.2015.55602.
- [8] BARNETT H J, TAYLOR D W, ELIASZIW M, et al. Benefit of carotid endarterectomy in patients with symptomatic moderate or severe stenosis. North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial Collaborators [J]. *N Engl J Med* 1998, 339 (20): 1415-1425. DOI: 10.1056/nejm19981123392002.
- [9] PIENIM KI J P, SILLANP N, JOLMA P, et al. Carotid Artery Stenosis Is Associated with Better Intracranial Collateral Circulation in Stroke Patients [J]. *Cerebrovasc Dis*, 2020, 49 (2): 200-205. DOI: 10.1159/000506826.
- [10] LOWNIE S P, LARRAZABAL R, KOLE M K. Circle of Willis Collateral During Temporary Internal Carotid Artery Occlusion I: Observations From Digital Subtraction Angiography [J]. *Can J Neurol Sci*, 2016, 43(4): 533-537. DOI: 10.1017/cjn.2016.9
- [11] 刘胜,赵伦德,尹庆雨,等. 颈动脉内膜剥脱术治疗脑卒中伴颈动脉轻中度狭窄不稳定斑块的临床研究[J]. *中国实用神经疾病杂志*, 2022, 25(2): 188-191. DOI: 10.12083/SYSJ.220115.
- [12] DENSWIL N P, VAN DER WAL A C, RITZ K, et al. Atherosclerosis in the circle of Willis: Spatial differences in composition and in distribution of plaques [J]. *Atherosclerosis*, 2016, 251: 78-84. DOI: 10.1016/j.atherosclerosis.2016.05.047.
- [13] HENDERSON R D, ELIASZIW M, FOX A J, et al. Angiographically defined collateral circulation and risk of stroke in patients with severe carotid artery stenosis. North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial (NASCET) Group [J]. *Stroke*, 2000, 31(1): 128-132. DOI: 10.1161/01.str.31.1.128.
- [14] DHARMASAROJA P A, URANSILP N, WATCHARAKORN A, et al. Accuracy of Carotid Duplex Criteria in Diagnosis of Significant Carotid Stenosis in Asian Patients[J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2018, 27(3): 778-782. DOI: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2017.10.014.
- [15] NETUKA D, BELŠ N T, BROUL KOV K, et al. Detection of carotid artery stenosis using histological specimens: a comparison of CT angiography, magnetic resonance angiography, digital subtraction angiography and Doppler ultrasonography[J]. *Acta Neurochir (Wien)*, 2016, 158(8): 1505-1514. DOI: 10.1007/s00701-016-2842-0.
- [16] YUN W S. Cerebral monitoring during carotid endarterectomy by transcranial Doppler ultrasonography [J]. *Ann Surg Treat Res*, 2017, 92(2): 105-109. DOI: 10.4174/astr.2017.92.2.105.
- [17] RUDILOSSO S, LAREDO C, MANCOSU M, et al. Cerebral perfusion and compensatory blood supply in patients with recent small subcortical infarcts[J]. *J Cereb Blood Flow Metab*, 2019, 39(7): 1326-1335. DOI: 10.1177/0271678x18758548.
- [18] 李兆妍,张晓曼,王军杰. 经颅多普勒与磁共振灌注加权成像评估急性缺血性脑卒中患者脑血流与脑灌注变化 [J]. *中国实用神经疾病杂志*, 2020, 23(22): 1956-1960. DOI: 10.12083/SYSJ.2020.20.007.
- [19] NAKAGAWA I, KOTSUGI M, PARK H S, et al. Near-infrared spectroscopy carotid plaque characteristics and cerebral embolism in carotid artery stenting [J]. *EuroIntervention*, 2021, 17 (7): 599-606. DOI: 10.4244/eij-d-20-01050.
- [20] LIN T, LAI Z, LV Y, et al. Effective collateral circulation may indicate improved perfusion territory restoration after carotid endarterectomy [J]. *Eur Radiol*, 2018, 28 (2): 727-735. DOI:

- 10.1007/s00330-017-5020-8.
- [21] FINNSD TTIR H, SZEGERDI I, OL H L, et al. The applications of transcranial Doppler in ischemic stroke [J]. *Ideggyogy Sz*, 2020, 73(11/12):367-378. DOI:10.18071/isz.73.0367.
- [22] HOKARI M, ITO Y, YAMAZAKI K, et al. The Relationship between Carotid Stump Pressure and Changes in Motor-Evoked Potentials in Carotid Endarterectomy Patients [J]. *J Neurol Surg A Cent Eur Neurosurg*, 2016, 77 (4) : 291-296. DOI: 10.1055/s-0036-1580596.
- [23] 王军杰, 李兆妍, 吕爱红. TCD 与 MRA 诊断大脑中动脉闭塞后再通的一致性分析 [J]. *中国实用神经疾病杂志*, 2020, 23 (11):954-957. DOI:10.12083/SYSJ.2020.11.219.
- [24] NARAYNSINGH V, HARNARAYAN P, MAHARAJ R, et al. Preoperative digital carotid compression as a predictor of the need for shunting during carotid endarterectomy [J]. *Open Cardiovasc Med J*, 2013, 7: 110-112. DOI: 10.2174/1874192401307010110.
- [25] HETZEL A, VON REUTERN G, WERNZ M G, et al. The carotid compression test for therapeutic occlusion of the internal carotid artery. Comparison of angiography with transcranial Doppler sonography [J]. *Cerebrovasc Dis*, 2000, 10 (3) : 194-199. DOI: 10.1159/000016056.
- [26] TIAN B, LI W, WU Z, et al. A clinical study on the effect of open chronic total occlusion on hemodynamics of collateral circulation donor [J]. *Clin Hemorheol Microcirc*, 2021, 77 (1) : 83-89. DOI: 10.3233/CH-200885.
- [27] DHARMAKIDARI S, BHATTACHARYA P, CHATURVEDI S. Carotid Artery Stenosis: Medical Therapy, Surgery, and Stenting [J]. *Curr Neurol Neurosci Rep*, 2017, 17 (10) : 77. DOI: 10.1007/s11910-017-0786-2.
- [28] ARASU R, ARASU A, MULLER J. Carotid artery stenosis: An approach to its diagnosis and management [J]. *Aust J Gen Pract*, 2021, 50 (11) : 821-825. DOI: 10.31128/AJGP-10-20-5664.
- [29] US PREVENTIVE SERVICES TASK FORCE, KRIST A H, DAVIDSON K W, et al. Screening for Asymptomatic Carotid Artery Stenosis: US Preventive Services Task Force Recommendation Statement [J]. *JAMA*, 2021, 325 (5) : 476-481. DOI: 10.1001/jama.2020.26988.
- [30] GABA K, RINGLEB P A, HALLIDAY A. Asymptomatic Carotid Stenosis: Intervention or Best Medical Therapy? [J]. *Curr Neurol Neurosci Rep*, 2018, 18 (11) : 80. DOI: 10.1007/s11910-018-0888-5.
- [31] PUCCINELLI F, ROFFI M, MURITH N, et al. Prise en charge de la sténose carotidienne [Management of carotid artery stenosis] [J]. *Rev Med Suisse*, 2017, 13(560):894-899.
- [32] BRINJIKJI W, HUSTON J 3RD, RABINSTEIN A A, et al. Contemporary carotid imaging: from degree of stenosis to plaque vulnerability [J]. *J Neurosurg*, 2016, 124 (1) : 27-42. DOI: 10.3171/2015.1.JNS142452.
- [33] REIFF T, RINGLEB P A. Therapie bei asymptomatischer Stenose der extrakraniellen A. carotis Asymptomatic carotid artery stenosis-treatment recommendations [J]. *Dtsch Med Wochenschr*, 2021, 146(12):793-800. DOI: 10.1055/a-1221-7065.
- [34] TZOUMAS A, GIANOPOULOS S, KOKKINIDIS D G. Screening for carotid artery stenosis before coronary artery bypass graft [J]. *Kardiolog Pol*, 2021, 79(1):1-2. DOI: 10.33963/KP.15764.
- [35] JOLOBE O M P. High-Grade Carotid Artery Stenosis and Atrial Fibrillation [J]. *Am J Med*, 2021, 134(5):e353. DOI: 10.1016/j.amjmed.2020.10.015.
- [36] KAYE J M, MEJIA-MUNNE J C, GROSSMAN A W, et al. Stenting in High-Grade Internal Carotid Artery Stenosis: 2-Dimensional Operative Video [J]. *Oper Neurosurg (Hagerstown)*, 2021 Jul 15;21(2):E128. DOI: 10.1093/ons/opab125.
- [37] ADAY A W, BECKMAN J A. Medical Management of Asymptomatic Carotid Artery Stenosis [J]. *Prog Cardiovasc Dis*, 2017, 59(6):585-590. DOI:10.1016/j.pcad.2017.05.008.
- [38] WANG J, GUO L, HOLDEFER R N, et al. Intraoperative Neurophysiology and Transcranial Doppler for Detection of Cerebral Ischemia and Hyperperfusion During Carotid Endarterectomy [J]. *World Neurosurg*, 2021, 154: e245-e253. DOI: 10.1016/j.wneu.2021.07.023.
- [39] SAQQUR M, KHAN K, DERKSEN C, et al. Transcranial Doppler and Transcranial Color Duplex in Defining Collateral Cerebral Blood Flow [J]. *J Neuroimaging*, 2018, 28 (5) : 455-476. DOI:10.1111/jon.12535.
- [40] MOACDIEH M P, KHAN M A, LAYMAN P, et al. Innovation in the open and endovascular treatment of carotid artery stenosis [J]. *Semin Vasc Surg*, 2021, 34 (4) : 163-171. DOI: 10.1053/j.semvasc.2021.10.012.
- [41] ZÉTOLA V F, RUNDEK T. Carotid artery stenosis: to infinity and beyond [J]. *Arq Neuropsiquiatr*, 2022, 80 (4) : 337-338. DOI: 10.1590/0004-282X-ANP-2022-E004.
- [42] WANGQIN R, KRAFFT P R, PIPER K, et al. Management of De Novo Carotid Stenosis and Postintervention Restenosis-Carotid Endarterectomy Versus Carotid Artery Stenting-a Review of Literature [J]. *Transl Stroke Res*, 2019, 10(5):460-474. DOI: 10.1007/s12975-019-00693-z.
- [43] GOLDSTEIN L B. Screening for Asymptomatic Carotid Artery Stenosis: Lack of Clinical Benefit, Potential for Harm [J]. *JAMA*, 2021, 325(5):443-444. DOI:10.1001/jama.2020.26440.
- 18: YOSHIDA K, MIYAMOTO S. Evidence for management of carotid artery stenosis [J]. *Neurol Med Chir (Tokyo)*, 2015, 55 (3):230-40. DOI: 10.2176/nmc.ra.2014-0361.
- [44] DEL PORTO F, CIFANI N, PROIETTA M, et al. Carotid artery stenosis, diabetes mellitus, and TCD4<sup>+</sup> lymphocyte subpopulations [J]. *J Diabetes*, 2019, 11 (4) : 335-336. DOI: 10.1111/1753-0407.12875.
- [45] KOMUT E, MURAT M, BÜYÜKŞİRECI M, et al. Relationship between internal carotid artery stenosis grade and optic nerve sheath diameter measured by transorbital ultrasonography [J]. *J Clin Ultrasound*, 2021, 49 (7) : 724-730. DOI: 10.1002/jcu.22999.
- [46] BURGARD M, PSATHAS E, MORDASINI P, et al. Symptomatic internal carotid artery stenosis in the presence of a persistent primary hypoglossal artery [J]. *Vascular*, 2021, 29(4):543-549. DOI:10.1177/1708538120966514.
- [47] MUGURUMA K, MOTODA A, SUGIMOTO T, et al. A case of hemichorea caused by right internal carotid artery stenosis [J]. *Rinsho Shinkeigaku*, 2019, 59 (8) : 509-514. Japanese. DOI: 10.5692/clinicalneuro.001276.
- [48] RYNKOWSKI C B, DE OLIVEIRA MANOEL A L, DOS REIS M M, et al. Early Transcranial Doppler Evaluation of Cerebral Autoregulation Independently Predicts Functional Outcome After Aneurysmal Subarachnoid Hemorrhage [J]. *Neurocrit Care*, 2019, 31(2):253-262. DOI:10.1007/s12028-019-00732-5.
- [49] ZEILER F A, DONNELLY J, CALVIELLO L, et al. Pressure Autoregulation Measurement Techniques in Adult Traumatic Brain Injury, Part I: A Scoping Review of Intermittent/Semi-Intermittent Methods [J]. *J Neurotrauma*, 2017, 34 (23) : 3207-3223. DOI: 10.1089/neu.2017.5085.