

· 指南与共识 ·

脑血管超声检测若干问题中国专家共识

国家卫生健康委脑卒中防治工程专家委员会血管超声专业委员会 国家卫生健康委
能力建设和继续教育超声医学专家委员会血管学组 中华超声医学培训工程
脑颈及外周血管超声专家委员会

摘要： 脑血管超声(包括经颅多普勒超声与经颅彩色多普勒超声)广泛应用于颅内动脉狭窄与闭塞的诊断、侧支循环评估、血运重建围手术期的动态监测等,可为缺血性脑血管病的临床诊断、治疗及随访等提供重要的血流动力学信息。该专家共识的发布基于前期在专业领域发放调查问卷所收集的脑血管超声在临床应用中的难点与热点问题(110 条)及其反馈的统计分析,经相关专业领域专家讨论后,对关注度在 70% 及以上的涉及检查方法、操作技术规范、诊断标准等方面的 15 个关键问题达成专家共识。

关键词： 卒中;超声检查,多普勒,经颅;经颅彩色多普勒超声;颅内动脉;缺血性脑血管病;专家共识

doi:10.3969/j.issn.1672-5921.2024.11.009

Expert consensus of China on several issues of cerebrovascular ultrasound detection *Professional Committee of Vascular Ultrasound of Stroke Prevention and Treatment Project Expert Committee of National Health Commission, Vascular Group of Capacity Building and Continuing Education Ultrasound Medical Expert Committee of National Health Commission, Expert Committee of Cerebral and Peripheral Vascular Ultrasound of Chinese Ultrasound Medical Training Program*

Corresponding author: Hua Yang, Department of Vascular Ultrasonography, Xuanwu Hospital, Capital Medical University, Beijing 100053, China, Email: dryanghua99@163.com

Abstract: Cerebrovascular ultrasound (including transcranial Doppler [TCD] ultrasound and transcranial color coded Doppler [TCCD] ultrasound) is widely used in the diagnosis, evaluation of collateral circulation, and dynamic monitoring during the perioperative period for intracranial artery stenosis and occlusion. It can provide important hemodynamic information for the clinical diagnosis, treatment, and follow-up of ischemic cerebrovascular diseases. The release of this expert consensus is based on the collection of 110 difficult and hot issues in the clinical application of cerebrovascular ultrasound, and statistical analysis of professional field survey questionnaires and feedback questions. After further discussions in the relevant professional fields, the expert consensus was finally reached on 15 key issues, including inspection methods, operational technical specifications, and diagnostic criteria, etc. with a focus of over 70% were discussed and analyzed.

Key words: Stroke; Ultrasonography, Doppler, transcranial; Transcranial color coded Doppler; Intracranial arteries; Ischemic cerebrovascular disease; Expert consensus

脑血管超声是基于经颅多普勒超声(TCD)和(或)经颅彩色多普勒超声(transcranial color coded Doppler, TCCD)对颅内动脉狭窄和(或)闭塞性病变、动静脉畸形、动静脉瘘、颅

内-外动脉侧支循环建立、脑血运重建围手术期血流动力学监测及其相关病变患者远期随访的重要检查手段^[1]。但是,不同的颅内动脉病变所致的脑血流动力学变化不同,不同的超声检查入径、机器调节与设置、医师操作技术与诊断分析水平以及诊断标准的应用等均可影响脑血管超声检测结果的同质化水平与准确率。因此,通过向相关各级医疗机构从事 TCD 和(或)TCCD 检测的专业医师发放调查问卷,并对回收的 1 395 份有效问卷的结果进行统计分析,选取了关注度

基金项目:国家卫生健康委能力建设和继续教育中心多中心课题资助项目

通信作者:华扬,100053 北京,首都医科大学宣武医院血管超声科,Email:dryanghua99@163.com

≥70% 且具有共性的 15 项脑血管超声临床检测工作中的难点与热点问题,组织本领域专家、教授进行讨论分析并达成共识,旨在进一步提高相关专业人员的检查技术水平,更好地助力临床诊疗。

由于 TCCD 是通过二维彩色多普勒血流成像与多普勒频谱分析联合完成颅内动脉的检测,与 TCD 多普勒频谱分析方法一致,因此本专家共识基于 TCCD 进行解析。

1 标准化检查入径与检查切面

1.1 颅内动脉标准化检查入径

TCCD 及 TCD 通过双侧颞窗、枕骨大孔窗完成对颅内动脉前循环(颈内动脉供血系统)与后循环(椎-基底动脉系统)的常规检测及临床相关的缺血性脑血管病和(或)部分出血性脑血管病变的血流动力学检测评估与动态监测^[2],中脑的蝶形低回声结构以及蝶骨小翼可作为颅内动脉扫查的定位标志^[3]。对于颞窗透声不良的患者可通过眼窗入径交叉检测获得颅底相关动脉的血流动力学参数^[1]。

1.2 颅内动脉血流动力学检测参数

颅内动脉 TCCD 及 TCD 检测的动脉及血流动力学参数包括大脑中动脉(MCA)、颈内动脉(ICA)终末段、大脑前动脉(ACA)、大脑后动脉(posterior cerebral artery, PCA)、椎动脉及基底动脉的收缩期峰值流速(PSV)、舒张期末流速(EDV)、平均流速(MV)和血管搏动指数(PI)。图 1a、1b 分别显示了经颞窗探测的 MCA、ACA、PCA 以及经枕骨大孔窗探测的椎动脉和基底动脉彩色多普勒血流成像与血流动力学参数。

2 颅内动脉主干闭塞性病变 TCCD 及 TCD 检测评估重点

2.1 颅内动脉主干闭塞性病变超声检测内容

颅内动脉主干闭塞性病变的超声检测内容应包括:(1)病变动脉与病变毗邻动脉的多普勒频谱及血流动力学参数;(2)与对侧同名动脉比较进一步确定病变动脉血流特征;(3)以 MCA 闭塞为例,应注意甄别急性 MCA 闭塞与慢性 MCA 闭塞的彩色多普勒血流成像、血流频谱与血流动力学参数特征改变^[4-6],有助于病变类型的鉴别。

2.2 MCA 闭塞性病变临床特征

MCA 闭塞性病变根据临床症状、体征及相关影像学检查结果分为急性与慢性 MCA 闭塞性病变^[1-2,6]。超声评估的必要条件是患者的双侧颞窗透声良好。

2.2.1 急性 MCA 闭塞性病变检测评估主要依据:(1)TCCD 检测病变侧 MCA 供血区域无彩色多普勒血流成像;(2)TCCD 检测病变侧 ACA 与 PCA 的彩色多普勒血流成像清晰且 Willis 环相关动脉血流成像清晰;(3)TCD 检测 MCA 供血区域未探及 MCA 血流频谱,或探及不连续、微弱血流信号(PSV < 20 cm/s)^[1,6]。

次要依据:(1)病变侧 ACA 与 PCA 血流速度正常或相对健侧升高(代偿性血流动力学改变);(2)病变侧 ACA、PCA 的 PI 与健侧差异有统计学意义^[6]。

2.2.2 慢性 MCA 闭塞性病变检测评估主要依据:(1)TCCD

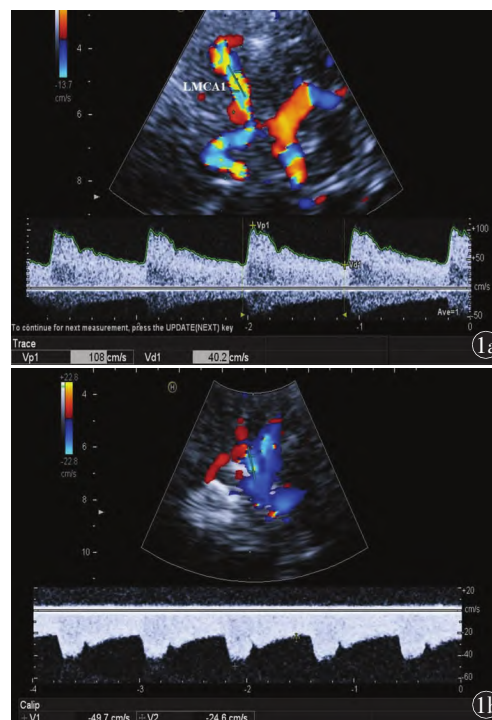


图 1 经颅彩色多普勒超声检测颅内动脉的彩色多普勒血流成像及血流动力学参数 1a 上部分为颅底动脉彩色多普勒血流成像,显示了左侧大脑中动脉、双侧大脑前动脉 A1 段、左侧后交通动脉、左侧大脑后动脉 P1 段和 P2 段[LMCA1 为左侧大脑中动脉主干,朝向探头,正向(红色)血流];下部分为 LMCA1 多普勒血流频谱与血流动力学参数检测结果,峰值流速(Vp1)为 108.0 cm/s,舒张期末流速(Vd1)为 40.2 cm/s;1b 上部分为椎-基底动脉彩色多普勒血流成像[背离探头,负向(蓝色)血流],下部分为左侧椎动脉多普勒血流频谱与血流动力学参数检测结果,峰值流速(V1)为 49.7 cm/s,舒张期末流速(V2)为 24.6 cm/s

检测病变侧 MCA 供血区域呈现不连续性彩色多普勒血流成像;(2)TCD 检测 MCA 供血区域通过深度调节反复检查均为低流速(PSV < 50 cm/s)、低阻力(PI < 0.65)性多普勒血流频谱^[6]。

次要依据:(1)病变侧 ACA 与 PCA 彩色多普勒血流成像清晰;(2)与健侧同名动脉相比,病变侧 ACA 与 PCA 血流速度代偿性升高。

2.3 MCA 闭塞性病变检测注意事项

2.3.1 结合患者临床表现与相关危险因素进行检测鉴别:通过询问、记录患者心脑血管疾病相关危险因素与就诊前的临床症状、体征进行综合判断。急性 MCA 闭塞常伴严重的脑缺血或脑梗死临床症状、体征及相关影像学表现^[7]。慢性 MCA 闭塞性病变由于 ACA 及 PCA 软脑膜代偿性血供途径的建立,患者可出现反复脑缺血的临床表现,与急性闭塞性病变相比症状及程度相对较轻^[6,8]。

2.3.2 MCA 闭塞性病变的检测鉴别:急性与慢性 MCA 闭塞性病变的 TCCD 及 TCD 检测特征存在明显差异。通过与健侧 MCA 以及患侧 ACA、PCA 血流成像、血流动力学特征的比

较,结合上述超声检查的主要与次要依据综合分析,可以提高急性和慢性 MCA 闭塞性病变诊断准确性。

3 颅外段 ICA 重度狭窄、闭塞性病变的 TCCD 及 TCD 检测

3.1 颅内动脉彩色多普勒血流成像与血流动力学参数的检测分析重点

(1) 首先应通过颈动脉超声检测明确颅外段颈动脉(颈总动脉、ICA)存在重度狭窄(狭窄率 70%~99%)或闭塞性病变,并分析病变类型及结构特征;(2) 通过 TCCD 或 TCD 检测分析颅内动脉主干及其侧支循环开放的相关血流动力学变化特征;(3) 比较患侧半球 MCA、ACA、PCA 彩色多普勒血流成像、血流频谱、血流方向及其血流动力学参数与非病变侧检测结果的差异;(4) 依据颅内-外动脉血流动力学变化特征,明确颅内-外动脉侧支循环开放的评估依据。

3.2 侧支循环开放的血流动力学变化及检测依据

1990 年,美国神经病学学会治疗和技术评估委员会推荐采用 TCD 评估 ICA 重度狭窄或闭塞性病变形成的侧支循环通路^[9]。2004 年,美国神经病学学会治疗和技术评估委员会指出,TCD 可以用于检测 ICA 颅外段重度狭窄患者侧支循环开放的类型以及血流动力学变化特征^[10],并提出了规范性 TCD 操作流程与评估标准(Ⅱ级证据,B 类推荐)^[11-12]。2018 年,Saqqur 等^[13]指出 TCD 和 TCCD 作为非侵入性检查技术,对卒中侧支循环血流动力学变化的评估具有重要作用,并能够在诊疗过程中对脑动脉血流动力学的变化进行重复性检测。TCD 和 TCCD 对颈动脉狭窄、闭塞性病变行血运重建术患者术前颅内-外动脉侧支循环开放类型的评估具有重要的临床价值。

3.2.1 前交通动脉(ACoA)开放检测依据^[1-2]:(1) 彩色多普勒血流成像显示健侧 ACA 血流通过 ACoA 向患侧 ACA 供血;(2) 多普勒血流频谱显示患侧 ACA 血流方向逆转,健侧 ACA 血流速度代偿性升高,通过健侧颈总动脉压迫(common carotid artery compression, CCAC) 试验可以确定健侧 ICA 血流经 ACA、ACoA 向患侧 ACA 及 MCA 供血;(3) 患侧 MCA、ICA、ACA 血流速度与 PI 低于健侧,即典型的低流速、低阻力(或低搏动性)血流频谱特征。

3.2.2 后交通动脉(PCoA)开放检测依据^[1-2]:(1) 颈动脉病变侧 PCA 血流速度代偿性升高,经 PCoA 向患侧 MCA 供血;(2) 健侧 CCAC 试验显示病变侧 PCA 流速升高(需同时合并 ACoA 开放),可以验证患侧 PCoA 侧支循环开放。

3.2.3 颈内-外动脉侧支循环开放检测依据^[1-3]:正常颈外动脉分支较多,如上颌动脉、颞浅动脉、脑膜中动脉、眶下动脉,可能与眼动脉分支间存在潜在吻合。当一侧 ICA 发生重度狭窄或闭塞后,颈外动脉分支通过眼动脉逆向 ICA 供血,形成颈内-外动脉之间的侧支循环通路。(1) 双侧眼动脉血流方向不一致,患侧眼动脉血流方向逆转,提示颈外动脉分支经眼动脉向 ICA 供血通路开放;(2) 患侧眼动脉血流方向逆转伴 PI 减低是评估颈内-外动脉侧支循环开放的重要依据。

3.3 颅外段 ICA 重度狭窄或闭塞性病变检测的注意事项

3.3.1 TCCD 及 TCD 检测角度校正:为减少测量误差,TCCD 校正检测角度 $\leq 45^\circ$,并保持多普勒取样角度与“血流束”成像的一致性;TCD 检测常规角度设置为 $\leq 30^\circ$ 。

3.3.2 眼窗检测功率限定:评估颈内-外动脉侧支循环通路开放情况,需要经眼窗对眼动脉血流方向与血流动力学参数进行检测。经眼窗探测时,TCCD 和 TCD 声波功率必须按照专业检测的要求完成预定设置^[14]:(1) TCD 检测功率为 5%~10%;(2) TCCD 检测机械指数 < 0.23 ,热敏指数 ≤ 0.2 。

4 TCCD 及 TCD 对 MCA 重度狭窄(狭窄率 $\geq 70\%$)病变的评估

4.1 TCCD 及 TCD 对 MCA 重度狭窄的检测评估标准与检查注意事项

(1) MCA 狭窄段血流速度增快达到重度狭窄的评估标准,即 $PSV \geq 220 \text{ cm/s}$, $MV \geq 140 \text{ cm/s}$ ^[15];(2) 狭窄段与狭窄远段 PSV 比值 ≥ 3.0 ;(3) 随着 MCA 狭窄程度的增加,常伴随 MCA 狭窄段血流速度升高及血流频谱改变^[16],即收缩期频窗消失并继发“涡流”或“湍流”频谱,以及高频“乐性血管杂音”^[17];(4) 病变侧毗邻动脉 ACA 和(或) PCA 出现代偿性血流速度升高,随着患者病程的延长可能导致同侧 ACA 和(或) PCA 出现狭窄性血流动力学改变;(5) 对于 MCA 狭窄病变程度的界定可以采用 TCCD 联合 TCD 检测,与 DSA 的诊断结果具有良好的一致性^[18]。

4.2 MCA 重度狭窄 TCCD 检测特征

(1) 彩色多普勒血流成像可以观察到 MCA 呈现“节段性血流束”变细,并伴随“混叠”的彩色多普勒血流成像;(2) 频谱多普勒检测显示 MCA 狭窄段血流速度明显升高伴“涡流”或“湍流”频谱;(3) 狭窄以远段 MCA 血流速度和 PI 减低,呈现典型的“低流速性、低搏动性、达峰时间延长”的血流频谱特征;(4) 联合 $PSV \geq 220 \text{ cm/s}$ 和狭窄段 $PSV/\text{狭窄远段 } PSV \geq 3.0$ 的参数标准对 MCA 重度狭窄的诊断有一定准确性(敏感度为 82.1%,特异度为 92.3%)^[15];(5) TCCD 检测应注意多普勒校正取样角度 $\leq 45^\circ$ 。

4.3 TCCD 联合 TCD 检测 MCA 重度狭窄注意事项

(1) 推荐采用 TCCD 与 TCD 联合检测模式;(2) 建议先行颈部动脉超声筛查,再行颅内动脉 TCCD 与 TCD 检查,可以减少因颈动脉病变导致的颅内动脉病变的误诊以及狭窄程度的误判;(3) 对于颞窗透声差的患者,必须结合患者的临床症状、体征以及其他影像学检查结果综合分析;(4) 以上 MCA 狭窄的诊断参数标准仅基于 MCA 单节段、单发狭窄病变,不适用于多节段性、多发性狭窄和(或)闭塞性病变的检测评估。

5 TCCD 及 TCD 对烟雾病或烟雾综合征脑血流动力学评估

5.1 烟雾病临床基本特征与分期

烟雾病是一种病因不明的单侧或双侧 ICA 终末段、MCA、ACA 起始段进行性狭窄与闭塞伴颅底异常血管网形成

的脑血管疾病^[19]。烟雾病不同 Suzuki 分期的 DSA 检测特征^[20]及其 TCD 检测血流动力学特征^[21]见表 1。

5.2 烟雾病颅内动脉侧支循环分类

烟雾病侧支通路根据供血动脉来源、侧支循环动脉吻合部位以及受血动脉分为 4 类^[22]:(1)软脑膜动脉侧支供血途径,PCA 与 MCA、ACA 之间的软脑膜吻合支以及脉络膜前动脉与 MCA 颞前支之间的软脑膜吻合支;(2)硬脑膜与大脑皮质系统(大脑表面侧支循环),包括眼动脉与 ICA 分支间的侧支循环通路、脑膜中动脉与 MCA 间的通路、颞浅动脉与 ACA 或 MCA 间的侧支供血通路;(3)室管膜下吻合系统,即丘脑穿支与 MCA 皮质支之间的吻合,下丘脑穿支与 ACA 的吻合以及脉络膜前动脉与 ACA 及 MCA 间的侧支供血通路;(4)丘脑纹状体内的吻合支(大脑深部侧支循环),纹状体内侧动脉、纹状体外侧动脉与 MCA 及 ACA 远段的吻合支、PCA 闭塞后丘脑穿支动脉形成的侧支循环网络。

5.3 TCCD 及 TCD 评估烟雾病的注意事项

(1)TCD 可以作为可疑烟雾病或烟雾综合征的筛查工具,根据其相关特征性改变,可提示是否符合烟雾病血流动力学变化特征,但不推荐单纯依据 TCD 结果判断烟雾病的病变类型^[23-24];(2)TCD 及 TCCD 可作为评价烟雾病或烟雾综合征血流动力学的进展与分期、评估术后疗效的可靠检查工具^[25-26]。

6 颅内段椎动脉 TCCD 及 TCD 检测“切迹样”血流频谱评估

6.1 颅内段椎动脉“切迹样”血流频谱特征分类

正常颅内段椎动脉血流频谱类似直角三角形,各种原因导致的椎动脉血供减少使椎动脉血流灌注不能在心脏收缩期达到最高峰,导致血流频谱形态改变,出现“切迹征”,根据多普勒血流频谱特征及其在心动周期出现的期相性特征可分为以下类型^[27]:I 型,舒张期末、收缩早期血流频谱“切迹征”,

PSV 无明显变化(图 2a);II 型,收缩中-晚期血流频谱出现“切迹征”,PSV 无明显变化(图 2b);III 型,舒张期末“切迹征”伴随收缩期达峰时间延长与 PI 减低(图 2c);IV 型,舒张期末与收缩早期血流频谱可见不连续性“切迹征”,即“零位线”上可观察到收缩期与舒张期之间的“短时”间歇特征(图 2d)。

6.2 颅内段椎动脉“切迹样”血流频谱病因学分析

导致颅内段椎动脉供血异常的常见病因包括:动脉粥样硬化性病变及动脉夹层或大动脉炎等导致的主动脉弓、无名动脉或一侧锁骨下动脉、椎动脉近段的重度狭窄或闭塞性病变^[3],对侧椎动脉与锁骨下动脉结构及血流动力学无异常。

6.2.1 动脉粥样硬化性狭窄或闭塞性病变:椎动脉供血动脉(如锁骨下动脉、无名动脉、主动脉弓或椎动脉 V1 段)发生重度狭窄或闭塞(即使椎动脉周边建立了侧支循环通路),均可能导致同侧椎动脉血流灌注压明显低于非病变侧,出现动脉收缩期血流压力减低,导致患侧椎动脉收缩期血流达峰时间延长,出现“切迹样”特征改变。影响同侧椎动脉血流灌注最常见的病变是锁骨下动脉的重度狭窄或闭塞^[28-29]。

6.2.2 非动脉粥样硬化性狭窄或闭塞性病变:(1)先天性变异,即先天性椎动脉发育不良性狭窄(全程管腔细)、椎动脉开窗畸形、迷走锁骨下动脉、右位主动脉弓、孤立性锁骨下动脉等^[30];(2)其他病变,包括锁骨下动脉走行迂曲、动脉瘤、动静脉瘘、周围组织结构压迫、旋转性椎动脉闭塞综合征、体位性改变等^[31]。

6.2.3 其他原因:(1)双侧锁骨下动脉重度狭窄合并一侧椎动脉重度狭窄时,可导致双侧椎动脉出现“切迹征”^[32];(2)一侧椎动脉(V1、V2 或 V3 段)重度狭窄,可导致病变侧椎动脉血流灌注压力减低,双侧椎动脉之间产生血流灌注压差,继发病变侧椎动脉收缩期血流频谱出现“切迹征”^[33];(3)透析治疗的患者由于一侧上肢进行了动-静脉造瘘术,患

表 1 烟雾病不同 Suzuki 分期的 DSA 检测特征及 TCD 检测血流动力学特征

Suzuki 分期	DSA 检测特征	TCD 分期	TCD 检测血流动力学特征
I 期	单侧或双侧 ICA 终末段狭窄	早期	单侧或双侧 ICA 终末段、ACA 和 MCA 起始段血流速度增快,伴“涡流”频谱
II 期	颅底动脉异常血管网形成		
III 期	颅内前循环供血动脉主干狭窄或闭塞,烟雾血管逐渐形成	中期	单侧或双侧 ICA 终末段、MCA、ACA 血流速度升高或减低,并伴随“涡流”频谱
IV 期	Willis 环结构消失,伴随烟雾状血管逐渐减少,颈外动脉侧支代偿性供血		沿 MCA 走行探及多支不同方向低流速、低阻力血流动力学变化,同侧 PCA 血流速度代偿性升高,眼动脉血流速度升高伴 PI 减低
V 期	烟雾血管进一步减少,颈外动脉代偿供血明显增加	晚期	单侧或双侧 ICA 终末段、MCA、ACA 主干血流信号及前述的多支多方向血流信号(烟雾状血管)消失,伴有眼动脉、PCA 血流速度增快,眼动脉频谱颅内化等特点
VI 期	颅底主干动脉完全消失,异常血管网消失,大脑半球血供仅源于颈外动脉侧支循环		

注:TCD 为经颅多普勒超声,ICA 为颈内动脉,ACA 为大脑前动脉,MCA 为大脑中动脉,PCA 为大脑后动脉,PI 为搏动指数;TCD 分期早期对应 Suzuki 分期 I ~ II 期,TCD 分期中期对应 Suzuki 分期 III ~ IV 期,TCD 分期晚期对应 Suzuki 分期 V ~ VI 期

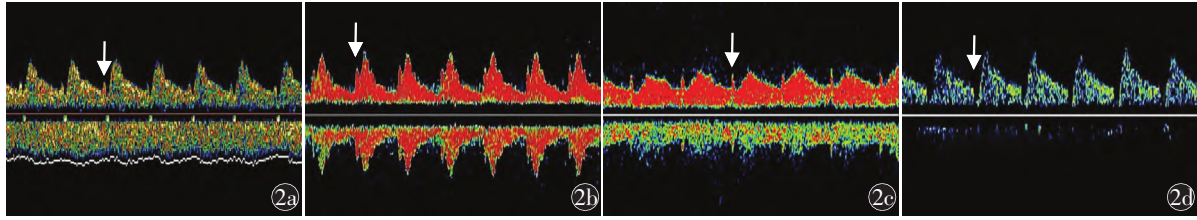


图 2 颅内段椎动脉不同类型的经颅多普勒超声血流频谱“切迹征” 2a 为 I 型,“切迹征”(箭头所示)发生于舒张期末、收缩早期; 2b 为 II 型,“切迹征”(箭头所示)发生于收缩中-晚期; 2c 为 III 型,“切迹征”(箭头所示)发生于舒张期末; 2d 为 IV 型,舒张期末与收缩早期血流频谱可见不连续性“切迹征”(箭头所示)

侧上肢动脉血流量增加,导致患侧椎动脉血流灌注压力减低,继而可出现“切迹样”血流频谱特征^[34]。

尽管椎动脉血流频谱出现“切迹征”的病因学不同,不同病因所致的椎动脉“切迹样”特征可能与病变类型存在直接相关性,但是目前尚无系统的研究报道。此外,锁骨下动脉窃血通路不同,动脉分支与侧支循环的路径不同,可导致椎动脉不同节段的血流频谱不一致,需要结合病变部位、病因学及其血流动力学变化特征进行综合分析。

7 颈动脉血运重建术后脑血流过度灌注的评估

7.1 颈动脉血运重建术后脑血流过度灌注

颈动脉内膜切除术(carotid endarterectomy, CEA)与颈动脉支架置入术(carotid artery stenting, CAS)是治疗颈动脉重度狭窄或闭塞性病变的手术方法^[35]。CAS 和 CEA 术后,术侧脑血流量超过基础值 100% 提示患者存在脑血流过度灌注的风险,当患者出现头痛、呕吐、癫痫发作等临床症状与体征,影像学检查显示脑水肿、脑出血等相关特征以及神经功能异常时,应考虑发生血运重建术后脑过度灌注综合征(cerebral hyper-perfusion syndrome, CHS)^[36-38]。临床通过 TCD 及 TCCD 对 CAS 或 CEA 患者术前、术后脑血流的动态评估,特别是对 CEA 术中患者脑血流动力学变化的实时监测,可以及时预测 CEA 患者发生 CHS 的风险,具有重要的临床价值。

7.2 颈动脉血运重建术后脑血流过度灌注风险预测

TCD 对 CEA 患者双侧半球脑血流速度实时监测的研究结果显示,CEA 术侧颈动脉血运恢复 3 min 内术侧 MCA 平均血流速度变化率 \geq 基础值 100% 是预警 CEA 后发生 CHS 及脑血流自动调节功能异常的重要临界指标^[37,39]。

2018 年 Andereggen 等^[40]开展的磁共振血管成像与 TCD 监测脑血流动力学参数变化的对比研究表明,与未发生 CHS 的患者相比,CEA 术后发生 CHS 的患者(4/25, 16%)术侧 MCA 的 MV 增高[(113 \pm 24) cm/s 比(51 \pm 4) cm/s, $P < 0.01$]。Fassaert 等^[41]对 257 例行 CEA 患者的 TCD 监测数据的研究显示,术后 24 h 内术侧 MCA 的 MV 升高 $< 100\%$, 可以准确识别无 CHS 风险的患者,CEA 术中、术后 2 h 和术后 24 h MCA 的 MV 升高 $\geq 100\%$ 预测 CHS 的阳性预测值分别为 8%、11% 和 18%, 阴性预测值分别为 97%、98% 和 99%。

通过 TCD 对 CEA 患者术中及术后脑血流速度的实时监

测,可早期预测 CHS 的发生、发展,对 CHS 高风险患者作出预警,从而有助于降低 CEA 患者术后 CHS 发生率。

8 CEA 术中 TCD 监测时程与内容

CEA 术中 TCD 主要监测不同时段双侧半球 MCA 的血流动力学参数变化。

8.1 TCD 检测 CEA 的不同时程

需记录文本信息的 TCD 监测时程包括:麻醉完成初始阶段、颈动脉夹闭血流阻断时段、颈总动脉-ICA 分流管置入时段(针对术前超声评估无颅内-外动脉侧支循环的患者)、颈动脉血运开放后时段、患者麻醉清醒后时段。

8.2 需持续监测与记录的血流动力学参数

CEA 术中 TCD 需持续监测与记录的血流动力学参数应包括双侧 MCA 的 PSV、EDV、PI 及平均血流速度变化率基础测值(100%)。

8.3 CEA 术中、术后 TCD 监测与评估的重点内容

颈动脉临时阻断后,需密切关注患侧 MCA 的平均血流速度变化率改变,术侧平均血流速度变化率较基础测值下降 $< 50\%$ 时,可建议麻醉医师通过提升血压保证脑灌注。在颈动脉斑块祛除后、即将恢复颈动脉血供前,应特别注意患者血压是否控制在正常水平(120/70 ~ 80 mmHg),并密切关注双侧 MCA 血流动力学参数的总体变化^[42]。在颈总动脉、颈外动脉和 ICA 依次开放后,密切关注手术侧 MCA 的平均血流速度变化率改变。若平均血流速度变化率较麻醉后基础测值增加 $\geq 100\%$ ^[37,43],应预警脑血流过度灌注的风险,及时汇报术者并告知麻醉医师对血压进行调整控制。在颈动脉血运开放阶段初期,还应注意监测术侧 MCA 的微栓子数量。微栓子较多可增加术中栓塞风险^[44]。若颈动脉依次开放后,MCA 的血流频谱形态及血流动力学参数较术前未见明显改善,应考虑颈动脉血流畅通性受阻。术中可通过高频超声探头检查吻合口及其以远段 ICA 管腔及管壁的形态学改变,探查血流不通血管的结构变化与相关原因,及时发现管腔内斑块残留、内膜活瓣导致的血流不畅或切口处的夹层等异常改变,及时向术者反馈信息。

9 颅内动脉(MCA、椎动脉与基底动脉)支架置入术后血流动力学评估

颅内动脉支架置入术后血流动力学情况需要通过 TCD 和(或)TCCD 进行综合评估,主要包括:术后血管的再通情况、残余狭窄与再狭窄以及相对少见的术中血管痉挛、术后

过度灌注等。

9.1 支架置入成功与支架置入术后残余狭窄、再狭窄的定义

症状性颅内动脉粥样硬化性狭窄血管内支架置入后 DSA 显示残余狭窄率 < 50%, 且支架完全覆盖狭窄处, 则为支架置入成功^[45-46]。术后即刻造影支架置入部位狭窄率 $\geq 30\%$ 为残余狭窄; 术后 3 个月支架内或相邻范围 (5 mm 以内) 管腔狭窄率 > 50%, 管腔内径减小 > 20% 为再狭窄; 支架内或相邻范围 (5 mm 内) 狭窄率 > 70%, 或较术前管腔狭窄率增加 > 30%, 则为重度再狭窄^[47]。

9.2 MCA 支架置入术后评估

9.2.1 TCD 检测 MCA 狭窄的标准^[15]:依据 MCA 狭窄段、狭窄以近段及狭窄以远段的 PSV 及 MV 进行评估。(1) MCA 轻度狭窄 (狭窄率 < 50%) 为 $140 \text{ cm/s} \leq \text{狭窄段 PSV} < 180 \text{ cm/s}$ 或 $90 \text{ cm/s} \leq \text{狭窄段 MV} < 120 \text{ cm/s}$; (2) 中度狭窄 (狭窄率 50% ~ 69%) 为 $180 \text{ cm/s} \leq \text{狭窄段 PSV} < 220 \text{ cm/s}$ 或 $120 \text{ cm/s} \leq \text{狭窄段 MV} < 150 \text{ cm/s}$, 且 $2.0 \leq \text{狭窄段 PSV} / \text{狭窄以近段 PSV} < 3.0$; (3) 重度狭窄 (狭窄率 70% ~ 99%) 为狭窄段 $\text{PSV} \geq 220 \text{ cm/s}$ 或狭窄段 $\text{MV} \geq 150 \text{ cm/s}$, 且狭窄段 $\text{PSV} / \text{狭窄以近段 PSV} \geq 3.0$ 。

9.2.2 MCA 支架置入术后血管再通的超声评估标准^[48]:

(1) 支架置入术后 1 周内 TCD 检测 MCA 狭窄段 PSV、MV 较术前均明显改善; (2) 狭窄以远段 PSV、MV 与 PI 较术前均明显提高; (3) 支架置入术同侧的 ACA、PCA 的 PSV 均较术前降低 (因 MCA 重度狭窄可导致术前同侧 ACA、PCA 代偿性血流速度升高)。

9.2.3 MCA 支架置入术后残余狭窄、再狭窄评估标准:术后即刻 DSA 和术后 1 周内 TCD 或 TCCD 检测支架置入血管的血流速度与充盈成像显示管腔狭窄率 $\geq 30\%$ 为残余狭窄; 术后 1 个月后, TCD 或 TCCD 检测 MCA 血流速度达到术前中度狭窄的诊断标准为术后再次狭窄^[48]。

9.3 基底动脉支架置入术后评估

TCD 并不是评估基底动脉狭窄或支架内再狭窄的有效诊断工具, 需联合 TCCD 检测结果进行评估^[49]。

9.3.1 TCD 联合 TCCD 诊断基底动脉狭窄的标准^[50] (经 DSA 证实): (1) 轻度狭窄为 $110 \text{ cm/s} \leq \text{PSV} \leq 150 \text{ cm/s}$ 或 $65 \text{ cm/s} \leq \text{MV} \leq 90 \text{ cm/s}$; (2) 中度狭窄为 $150 \text{ cm/s} \leq \text{PSV} \leq 210 \text{ cm/s}$ 或 $90 \text{ cm/s} \leq \text{MV} \leq 135 \text{ cm/s}$, 或 $\text{PSV}_{\text{基底动脉}} / \text{PSV}_{\text{椎动脉}} \geq 2.0$; (3) 重度狭窄为 $\text{PSV} \geq 210 \text{ cm/s}$ 或 $\text{PSV}_{\text{基底动脉}} / \text{PSV}_{\text{椎动脉}} \geq 3.5$ 。

9.3.2 基底动脉支架置入术后血管再通的超声评估标准:支架完全覆盖病变, 残余狭窄率 < 30% 并显示良好的顺向血流为支架置入成功^[51]。支架置入术后 1 个月内基底动脉的 PSV、EDV、MV 均较术前明显改善; 椎动脉颅内段 PSV、EDV、MV 较术前明显提高; 基底动脉远段分支 PCA 的 PSV、EDV、MV 及 PI 均较术前改善^[47]。

9.3.3 基底动脉支架置入术后再次狭窄的超声评估:TCCD 彩

色血流成像显示病变处支架内再次出现“五彩镶嵌”的紊乱血流信号, 血流速度较术后首次评估结果升高 $\geq 30 \text{ cm/s}$ 定义为支架内再狭窄^[52]。

9.4 颅内段椎动脉支架置入术后评估

通过 TCCD 检测椎动脉颅外段, 并评估颅内段椎动脉狭窄支架置入前后血管结构、血流成像及血流动力学参数变化, 对颅内段椎动脉支架置入情况进行评估。

9.4.1 颅内段椎动脉狭窄的血流动力学诊断标准^[53]:经 DSA 证实, TCCD 诊断颅内段椎动脉狭窄的标准推荐 (1) 轻度狭窄为 $110 \text{ cm/s} \leq \text{PSV} \leq 145 \text{ cm/s}$ 或 $65 \text{ cm/s} \leq \text{MV} \leq 85 \text{ cm/s}$; (2) 中度狭窄为 $145 \text{ cm/s} \leq \text{PSV} \leq 190 \text{ cm/s}$ 或 $85 \text{ cm/s} \leq \text{MV} \leq 115 \text{ cm/s}$; (3) 重度狭窄为 $\text{PSV} \geq 190 \text{ cm/s}$ 或 $\text{MV} \geq 115 \text{ cm/s}$ 。

9.4.2 颅内段椎动脉支架置入术后血管再通超声诊断标准^[54]:术后 1 周 TCCD 检测狭窄段 PSV、EDV、PI 均较术前明显改善, 术侧颅外段椎动脉血流充盈良好, 且 PSV、EDV、血管阻力指数均较术前明显改善。

9.4.3 颅内段椎动脉支架置入术后再次狭窄的超声评估:TCCD 检测显示椎动脉支架内血流速度增加伴紊乱血流信号, 且支架内血流速度较前次复查升高 $\geq 30 \text{ cm/s}$, 即为支架内再狭窄^[54-55]。

10 颅内动脉侧支循环的评估

10.1 颅内动脉侧支循环评估的临床意义

侧支循环功能状态是急性缺血性卒中患者预后的预测指标^[56-57]。TCD 和 TCCD 对于颈动脉重度狭窄或闭塞性病变导致的侧支循环代偿通路的评估具有可信性^[58-59], 可以量化单侧 ICA 重度狭窄或闭塞病变与颅内动脉侧支循环建立的相关性, 对临床诊疗具有指导意义^[58, 60]。CEA 和 CAS 术前通过 TCD 和 (或) TCCD 对颅内-外动脉侧支循环的开放与代偿功能状态进行评估, 有助于临床对行血运重建术患者制定个体化治疗方案, 对提高 CEA 治疗的成功率及减少并发症发生率具有重要的指导价值^[61-63]。

10.2 颅内动脉侧支循环分级

颅内动脉侧支循环分为三级^[63]: 一级侧支循环通路是由颅底动脉 Willis 环的 ACoA 与 PCoA 组成的颅内动脉重要侧支循环通路; 二级侧支循环通路是由 ICA 分支眼动脉与颈外动脉分支之间形成的侧支循环通路, 以及 MCA、ACA 与 PCA 远端的软脑膜动脉之间形成的吻合; 三级侧支循环通路是指通过血管增生或新生血管建立的侧支供血途径。

10.3 颅内动脉侧支循环形成的条件

颅内动脉侧支循环形成需满足如下条件^[3]: (1) 双侧颈动脉系统和 (或) 前后循环之间以及 ICA 与颈外动脉之间存在压力梯度; (2) ACoA 存在, 双侧 ACA A1 段发育良好且 ACoA 两端存在压力差是 ACoA 开放的必要条件。当一侧颈动脉重度狭窄或闭塞时, 双侧颈动脉供血系统之间出现灌注压力不均衡, 压力差导致 ACoA 开放, 健侧颈动脉通过 ACoA 向患侧 ACA 及 MCA 供血; (3) PCoA 存在, 患侧 PCA P1 段发

育良好且 PCoA 两端存在血流灌注压力差是 PCoA 开放的必备条件。

10.4 TCCD 及 TCD 评估颅内动脉侧支循环的优势

TCD 及 TCCD 是评估颅内动脉侧支循环重要的无创性方法^[63-64],简便、安全、可重复性强,可以检测一级、二级侧支循环以及部分新生血管,与 DSA 有较好的一致性^[59-60]。TCD 对于侧支代偿通路的判断,通常根据颅底主干动脉血流方向的变化、血流速度的代偿特征等进行评估。

11 对比增强经颅多普勒 (contrast-enhanced transcranial Doppler, cTCD) 超声的适应证与相对禁忌证

11.1 cTCD 的适应证

近年来,国内外发表的相关专业规范、指南及共识相对明确了 cTCD 的安全性,指出其临床适应证包括:(1)不明原因卒中,尤其是青年卒中患者,考虑反常栓塞相关病变;(2)偏头痛,尤其是先兆型偏头痛患者(偏头痛临床诊断应符合国际头痛分类标准第三版^[65]的分类标准,而并非所有偏侧头痛患者);(3)其他可能与右向左分流有关的疾病,如潜水减压病等;(4)体位性低氧血症;(5)非严重心、肺、肝、肾功能不全,能够配合检查的患者或健康受检者^[66-68]。

对于已发现颅内动脉狭窄的患者,cTCD 检查前需再次评估此项检查的必要性。此外,外伤或术后伤口未愈的患者,应注意检查过程中实施 Valsalva 动作的安全性^[69]。

11.2 cTCD 的禁忌证

关于 cTCD 禁忌证的研究相对较少。2022 年发表的《卵圆孔未闭右心声学造影中国专家共识》^[70]相关内容可作为参考:(1)严重紫绀伴较大心内分流量的先天性心脏病患者;(2)重度肺动脉高压;(3)有栓塞病史;(4)重症肺气肿、呼吸功能不全、重度贫血患者;(5)酸中毒及严重心、肾功能不全;(6)急性冠状动脉综合征。此外,妊娠期及哺乳期妇女不建议此项检查。cTCD 的相对禁忌证目前尚无统一的专家共识。

12 cTCD 评估右向左分流的分级标准

2000 年至 2022 年,国内外发表了较多针对右向左分流的分级研究,提出了多种量化评估标准^[67,71-73],本共识推荐 2000 年欧洲专家共识的四分法分级标准^[71]。

12.1 右向左分流分级标准

通过 cTCD 监测过程中单侧 MCA 出现的微泡数量对右向左分流进行四分法分级评估^[71]:(1)0 级为阴性,无微泡;(2)Ⅰ级为 1~10 个(双侧 MCA 1~20 个)微泡;(3)Ⅱ级为 >10 个(双侧 MCA >20 个)微泡,但未形成雨帘;(4)Ⅲ级为雨帘状微泡。

2019 年 Zetola 等^[73]将 cTCD 右向左分流分级标准定义为五分法(下述微泡数量为单侧 MCA 数量):(1)阴性为无微泡信号;(2)小量为微泡数量 ≤10 个;(3)中量为 10 个 < 微泡数量 <20 个;(4)大量为微泡数量 ≥20 个;(5)雨帘状微泡。

2023 年,《卵圆孔未闭超声诊断中国专家共识》^[74]指

出,经胸超声心动图右心声学造影、经食道超声心动图右心声学造影及 cTCD 均可用于评估是否存在卵圆孔未闭及其分流流量。为了提高对卵圆孔未闭右向左分流的诊断及量化程度,特别是对临床怀疑为反常栓塞相关的脑缺血性病变患者进行评估时,本专家共识建议应用经胸超声心动图右心声学造影与 cTCD 联合评估,可减少患者的重复检测,并提高卵圆孔未闭相关脑缺血病变右向左分流的检出率与诊断准确性。

12.2 cTCD 检测报告相关表述标准

cTCD 检测报告需根据上述右向左分流程度的分级标准,对检测结果进行客观表述^[69]。

12.2.1 阴性结果表述:监测血管:单侧(或双侧)MCA 双深度 TCD 监测。

静息状态:激活生理盐水弹丸式注射后,未探及微泡信号。

Valsalva 动作:激活生理盐水弹丸式注射过程中,嘱患者行 Valsalva 动作,25 s 内未探及微泡信号。

超声提示:发泡试验阴性(cTCD 未见右向左分流)。

12.2.2 阳性结果表述:静息状态:激活生理盐水弹丸式注射后,多少秒出现微泡信号(固有型),共多少个,持续至多少秒(或未探及微泡信号-潜在型)。

第一次 Valsalva 动作:激活生理盐水弹丸式注射过程中,嘱患者行 Valsalva 动作,多少秒出现微泡信号,多少个,持续至多少秒。

第二次 Valsalva 动作:激活生理盐水弹丸式注射过程中,嘱患者行 Valsalva 动作,多少秒出现微泡信号,多少个,持续至多少秒。

超声提示:发泡试验阳性(固有型或潜在型;右向左分流流量:小、中、大量或雨帘状)。

13 颞窗透声不良患者颅内动脉血流的评估方法

《中国脑卒中防治指导规范》^[2]指出,对于一侧颞窗透声不良或无检测声窗的患者,可以通过透声性良好的另一侧颞窗或双侧眼窗交叉检测 MCA、ACA 和 ICA 终末段。

13.1 影响颞窗超声穿透性的因素

临床上常存在一侧或双侧颞窗超声波穿透不良或不透声的受检者,主要是由于颞骨鳞部骨质较厚或板障骨钙化所致,老年女性受检者较多见,直接影响 TCD 及 TCCD 的检测效果。

13.2 超声增强对比剂提高经颅超声检测的敏感性

有研究显示,超声对比剂的使用可提高 TCCD 对重症监护病房患者 MCA、ACA、PCA 经颞窗的检出率(34% 比 79%),而经枕骨大孔窗对基底动脉的检测则与常规检测无明显差异^[75]。

13.3 经一侧颞窗或眼窗检测双侧半球动脉的血流频谱

对一侧颞窗透声良好,另一侧透声不佳的受检者进行颅内动脉检测时,可通过透声良好的一侧声窗逐渐加深深度,检测对侧半球的 MCA、ICA 终末段和 ACA,并通过对侧 CCAC 试验(先行颈动脉超声除外易损性颈动脉粥样硬化斑

块)进行验证^[2]。

若双侧颞窗透声均较差,可通过眼窗(检测功率不超过 15%)交叉探查对侧颅底动脉(MCA、ACA、ICA 终末段)血流信号^[2]。

需注意以下事项:(1)由于不同受检者颅腔大小及形态存在一定的差异,交叉检测对侧半球血流时应注意调整检查深度与多普勒取样角度;(2)检测过程中配合 CCAC 试验判断血供来源;(3)经对侧眼窗交叉探查双侧 ACA 的声束角度较小,可以获得相对清晰的 ACA 血流频谱与血流动力学参数;(4)经眼窗探测 MCA,因其解剖走行与声束之间的角度相对较大,所探测的血流速度可能低于同侧颞窗探查的流速;(5)TCCD 探头的穿透性要求比 TCD 更高,如 TCCD 发现颞窗穿透不良时,可尝试使用 TCD 替换 TCCD 进行探查。

根据受检者临床检查的必要性,可考虑使用超声对比剂增强受检者颞窗的声波穿透性,必要时可尝试通过额窗探测 ACA 的血流频谱及相关血流动力学参数。

14 转颈试验的操作方法与判断标准

在超声检测过程中,转颈试验常用于疑似因颈部旋转(包括水平轴向旋转、过伸或过屈等)所引发的后循环缺血相关病因学的检测鉴别。例如旋转性椎动脉闭塞综合征,也称猎人弓综合征,见于一侧或双侧椎动脉茎突冗长或颈椎横突过长压迫椎动脉或继发动脉夹层等所致的管腔狭窄或闭塞,尤其存在对侧椎动脉先天性发育不良或动脉粥样硬化性狭窄或闭塞性病变时,更容易在患者转颈时发生突发性眩晕或晕厥、共济失调、伴随眼球震颤、意识丧失等后循环缺血等症^[76]。其发病特点为反复发作、可逆性的症状和体征,体位恢复时症状消失^[77]。常见病因包括颈椎骨质增生性椎间隙狭窄、椎体不稳、寰枢椎错位、颈肌肥厚及韧带松弛等^[78]。

14.1 转颈试验检测与操作方法

14.1.1 颅外段椎动脉常规检查方法:依据《中国卒中防治指南》^[2],通过二维与彩色多普勒血流成像及频谱多普勒检测模式进行检测,除外椎动脉起始段(V1 段)、椎间隙段(V2 段)、寰枢椎段(V3 段)狭窄或闭塞性病变;除外椎动脉颅外段茎突或横突过长导致的椎动脉受压性特征改变;记录正常检测体位时椎动脉 V1 至 V3 段彩色血流成像与血流动力学参数;记录转颈体位时椎动脉 V1 至 V3 段,特别是 V3 段彩色血流成像与血流动力学参数的变化。

14.1.2 颅内段椎动脉常规检查方法:椎动脉颅内段(V4 段)检测采用 TCD 或 TCCD。受检者为坐位,TCCD 检测显示双侧椎动脉与基底动脉呈“Y”字形彩色血流成像。存储记录正常体位下双侧椎动脉颅内段(V4 段)与基底动脉的彩色血流成像;在彩色血流成像清晰的基础上,分别测量记录双侧椎动脉的 PSV、EDV、PI,并存储记录频谱形态的变化;受检者转颈时,操作者应手持探头跟随受检者头部位置,保持跟踪并记录双侧椎动脉彩色血流成像(TCCD 模式)与频谱多普勒参数变化(TCCD 或 TCD 模式);受检者头部分别向左侧和右侧缓慢转动 $>45^\circ$,操作医师分别记录转颈试验

过程中椎动脉血流速度与 PI 变化的检测结果。

14.2 转颈试验结果判断

当受检者头部水平旋转 $>45^\circ$ 或过伸、过屈时,转颈试验阳性表现为:(1)一侧或双侧椎动脉出现典型“节段性彩色血流成像充盈不全”特征;(2)受压段椎动脉管径变细,出现上、下段动脉管腔内血流频谱与血流动力学参数的不对称性改变;(3)椎动脉受压明显者出现双向“振荡型”血流频谱并伴随流速度的升高;(4)受压后段椎动脉出现相对低流速、低阻力型血流频谱和血流动力学参数改变;(5)停止转颈且头部位置恢复正常位后,椎动脉各段血流频谱及血流动力学参数恢复正常^[79]。

14.3 转颈试验结果的可信性评估

由于转颈试验的检测方法学以及实施过程中对血流动力学变化的客观性评估存在差异性,本专家共识提出,对转颈试验出现的以下问题应客观分析:(1)单纯采用 TCD 检测判断转颈试验阳性的可信性值得商榷。由于 TCD 检测无法实时观察椎动脉管腔结构变化,难以规避探测角度偏移所致的测量结果偏差,建议采用椎动脉二维 TCCD 血流成像与 TCD 联合评估模式,以客观评估转颈试验阳性或阴性结果。(2)转颈的最大角度目前仍无定论。可以通过椎动脉 TCCD 血流成像模式,检测受检者所能耐受的转颈最大角度,观察椎动脉管腔内径、血流成像与流速度的动态改变,客观评估转颈试验对椎动脉血流动力学变化的影响^[80]。(3)患者转颈试验过程中出现的相关后循环缺血的临床表现,有助于转颈试验阳性结果的分析与判断^[81]。(4)对于旋转性椎动脉闭塞综合征的病因学诊断仍有赖于影像学的评估。

15 CCAC 试验与注意事项

CCAC 试验也称 Matas 试验,是脑血管超声检查过程中对颅内动脉检测识别的重要方法^[82-83]。

15.1 CCAC 试验的应用价值

CCAC 试验是颅内动脉超声检测的常用方法,其应用价值体现在以下几方面:(1)颅内动脉的检测鉴别;(2)颈动脉重度狭窄或闭塞性病变的颅内-外动脉侧支循环开放途径与代偿功能的判断;(3)颈动脉血运重建术前与术后交通支的开放与关闭及其代偿功能情况评估;(4)明确颈动脉血运重建术中临时性分流实施是否成功;(5)麻醉或重症患者脑血流自动调节功能与侧支循环代偿功能的监测与评估^[84-86]。

15.2 CCAC 试验的注意事项

(1)强调脑颈血管超声一体化检查。先行颈动脉超声检查除外颈动脉易损性斑块、颈动脉夹层、颈动脉支架等;(2)CCAC 的实施部位:于锁骨上窝颈总动脉近段,食指与中指联合置于胸锁乳突肌前内侧缘,触及搏动明确的颈总动脉垂直下压,避免压迫颈动脉窦(压力感受器)引起受检者心律和(或)心率与血压的突变,导致患者不适;(3)CCAC 手法:一般采用食指、中指(双指)联合触摸明确的颈总动脉搏动后实施 CCAC 试验;(4)任意一侧 CCAC 试验均应避免向内压迫气管引起受检者的不适;(5)观察到同侧 MCA 血流下降即

可证实 CCAC 成功。通常 CCAC 时长以观察到颅内动脉 1 至 2 个心动周期的血流频谱变化即止^[1]。

脑血管超声是脑血管病变诊断、风险分层、术中监测和随访的重要检测方法,是神经重症患者个体化脑灌注压管理和血压调控不可或缺的工具。脑血管超声的精准评估有助于临床制定个性化的治疗策略,规范化操作、正确的诊断思路 and 统一的诊断标准将推动和促进脑血管超声诊断水平的提高和同质化的管理。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

执笔专家 华扬(首都医科大学宣武医院血管超声科);钟经馨(广东省中医院脑病功能科);贾凌云(首都医科大学宣武医院血管超声科);惠晶晶(苏州大学附属第一医院神经外科-颈脑血管超声);孟璇(兰州大学第二医院神经血管功能科);宋彬彬(洛阳市中心医院神经功能科)

参与编写专家(按姓氏拼音顺序排序) 贲志飞(宁波市第二医院);杜岳武(宁波市医疗中心李惠利医院);房亚兰(山西医科大学第二医院);高明杰(首都医科大学附属通州潞河医院);韩珂(中山大学附属第七医院);惠晶晶(苏州大学附属第一医院);华扬(首都医科大学宣武医院);贾凌云(首都医科大学宣武医院);金友贺(中国医科大学附属第一医院);李朝军(上海市第一人民医院);李雅杰(吉林市中心医院);林攀(福建省龙岩市第二医院);刘琨(湖北省第三人民医院);刘禧(空军特色医学中心);孟璇(兰州大学第二医院);潘晓芳(大连市中心医院);宋彬彬(洛阳市中心医院);王佳(空军军医大学第二附属医院);王丽娟(吉林大学第一医院);谢秀静(浙江大学医学院附属第一医院);熊华花(深圳市第二人民医院);邢英琦(首都医科大学宣武医院);许祥丽(哈尔滨市第二医院);颜燕红(苏州大学附属第一医院);张峰(中山大学附属第六医院);张艳(郑州大学第一附属医院);郑孝志(上海市杨浦区中心医院);钟经馨(广东省中医院)

参考文献

- [1] 华扬. 脑卒中血管超声[M]. 北京:人民卫生出版社, 2021:3-160.
- [2] 国家卫生健康委脑卒中防治工程委员会. 中国脑卒中防治指导规范[M]. 北京:人民卫生出版社, 2021, 297-308.
- [3] 张峰, 钟经馨. 血管超声解剖基临床应用手册[M]. 北京:科学技术文献出版社, 2022:151-166.
- [4] Zhang L, Pu TN, Xu XT, et al. Diagnostic feasibility of middle cerebral artery stenosis or occlusion evaluated by TCCS and CEUS: repeatability, reproducibility, and diagnostic agreement with DSA[J]. J Stroke Cerebrovasc Dis, 2024, 33(3):107575. DOI:10.1016/j.jstrokecerebrovasdis. 2024. 107575.
- [5] 韩佳霖, 惠晶晶, 颜燕红, 等. 大脑中动脉慢性闭塞患者脑血流动力学参数与脑梗死体积的相关性研究[J]. 中华医学超声杂志(电子版), 2019, 16(8):602-608. DOI:10.3877/cma.j.issn.1672-6448.2019.08.010.
- [6] 钟经馨, 施晓耕, 黄玉贞, 等. 大脑中动脉闭塞的颅内血流动力学分析[J]. 广州医学院学报, 2011, 39(3):43-46. DOI:10.3969/j.issn.1008-1836.2011.03.011.
- [7] Cohen JE. Acute middle cerebral artery occlusion: reappraisal of the role of endovascular revascularization[J]. Int J Stroke, 2013, 8(2):109-110. DOI:10.1111/j.1747-4949.
- [8] 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. DOI:10.1148/radiol.14140951.
- [9] Assessment transcranial Doppler: report of the American Academy of Neurology Therapeutics and Technology Assessment Subcommittee [J]. Neurology, 1990, 40(4):680-681.
- [10] Sloan MA, Alexandrov AV, Tegeler CH, et al. Assessment: transcranial Doppler ultrasonography: report of the Therapeutics and Technology Assessment Subcommittee of the American Academy of Neurology [J]. Neurology, 2004, 62(9):1468-1481. DOI:10.1212/wnl.62.9.1468.
- [11] Alexandrov AV, Sloan MA, Wong LKS, et al. Practice standards for transcranial Doppler ultrasound: part I—test performance [J]. J Neuroimaging, 2007, 17(1):11-18. DOI:10.1111/j.1552-6569.2006.00088.x.
- [12] Alexandrov AV, Sloan MA, Tegeler CH, et al. Practice standards for transcranial Doppler (TCD) ultrasound: part II. Clinical indications and expected outcomes [J]. J Neuroimaging, 2012, 22(3):215-224. DOI:10.1111/j.1552-6569.2010.00523.x.
- [13] Saqqur M, Khan K, Khan K, 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.
- [14] László Csiba, Claudio Baracchini. 神经超声指南[M]. 邢英琦, 译. 北京:人民卫生出版社, 2018:311-317.
- [15] 孟秀峰, 华扬, 刘蓓蓓, 等. 经颅多普勒超声诊断大脑中动脉狭窄的准确性研究[J]. 中国脑血管病杂志, 2010, 7(6):284-289. DOI:10.3969/j.issn.1672-5921.2010.06.002.
- [16] Mo XY, Ma ZL, Lin H, et al. Multi-assessment of critical steno-occlusive middle cerebral arteries: transcranial Doppler combined with magnetic resonance angiography [J]. Heliyon, 2022, 8(10):e10806. DOI:10.1016/j.heliyon.2022. e10806.
- [17] 崔明勇, 何蒙娜, 蒋天安, 等. 经颅彩色多普勒超声诊断大脑中动脉夹层一例分析 [J]. 中国脑血管病杂志, 2021, 18(3):184-185. DOI:10.3969/j.issn.1672-5921.2021.03.007.
- [18] 张姗, 朱军, 方开峰. TCD 结合 TCCD 与 DSA 对脑动脉

- 狭窄的一致性分析及对治疗方案的指导价值[J]. 河北医科大学学报, 2023, 44(1):100-105. DOI:10.3969/j.issn.1007-3205.2023.01.020.
- [19] 中华医学会神经外科学分会. 烟雾病和烟雾综合征诊断与治疗中国专家共识(2024 版)[J]. 中华神经外科杂志, 2024, 40(3):220-229. DOI:10.3760/cma.j.cn112050-20231119-00177.
- [20] Suzuki J, Takaku A. Cerebrovascular "Moyamoya" disease. Disease showing abnormal net-like vessels in base of brain[J]. Arch Neur, 1969, 20(3):288-299. DOI:10.1001/archneur.1969.00480090076012.
- [21] 谢琛璠, 韩聪, 段炼. 经颅多普勒在烟雾病中的应用[J]. 国际脑血管病杂志, 2016, 24(2):134-136. DOI:10.3760/cma.j.issn.1673-4165.2016.02.009.
- [22] Baltasavias G, Khan N, Valavanis A. The collateral circulation in pediatric Moyamoya disease [J]. Childs New Syst, 2015, 31(3):389-398. DOI:10.1007/s00381-014-2582-5.
- [23] Wang JZ, Mu J, Zhang D, et al. Clinical use of color Doppler ultrasonography to predict and evaluate the collateral development of two common revascularizations in patients with Moyamoya disease [J]. Front Neurol, 2022, 13:976695. DOI:10.3389/fneur.2022.976695.
- [24] Zheng S, Ge PC, Shi ZY, et al. Clinical significance of ultrasound-based hemodynamic assessment of extracranial internal carotid artery and posterior cerebral artery in symptomatic and angiographic evolution of Moyamoya disease: a preliminary study [J]. Front Neurol, 2021, 12:614749. DOI:10.3389/fneur.2021.614749.
- [25] 孔丽娟, 惠晶晶, 丁亚芳, 等. 烟雾病颅内血管的超声血流动力学研究[J]. 中国超声医学杂志, 2021, 37(11):1201-1204. DOI:10.3969/j.issn.1002-0101.2021.11.001.
- [26] Chen JY, Ding YH, Li Y, et al. Assessment of bypass patency using transcranial Doppler sonography: correlations with computerized tomography angiography findings in patients with Moyamoya disease [J]. Neurosurg Rev, 2023, 46(1):64. DOI:10.1007/s10143-023-01970-0.
- [27] Chen SP, Hu YP. Waveform patterns and peak reversed velocity in vertebral arteries predict severe subclavian artery stenosis and occlusion [J]. Ultrasound Med Biol, 2015, 41(5):1328-1333. DOI:10.1016/j.ultrasmedbio.2014.12.019.
- [28] Potter BJ, Pinto DS. Subclavian steal syndrome [J]. Circulation, 2014, 129(22):2320-2323. DOI:10.1161/CIRCULATIONAHA.113.006653.
- [29] Osiro S, Zurada A, Gielecki J, et al. A review of subclavian steal syndrome with clinical correlation [J]. Med Sci Monit, 2012, 18(5):RA57-RA63. DOI:10.12659/msm.882721.
- [30] 王礼星, 闫瑞玲. 左侧椎动脉重复型开窗畸形合并主动脉弓迂曲并瘤样扩张一例[J]. 中华医学超声杂志(电子版), 2020, 17(8):811-813. DOI:10.3877/cma.j.issn.1672-6448.2020.08.020.
- [31] 赵洪芹, 李宏, 王伟, 等. 血管迂曲致锁骨下动脉盗血(附 7 例报道)[J]. 中风与神经疾病杂志, 2009, 26(1):81-82. DOI:10.19845/j.cnki.zfysjjbzz.2009.01.026.
- [32] 李静, 华扬, 周福波, 等. 锁骨下动脉狭窄合并椎动脉狭窄的窃血类型分析[J]. 中华医学超声杂志(电子版), 2019, 16(10):768-773. DOI:10.3877/cma.j.issn.1672-6448.2019.10.010.
- [33] 张峰, 沈婧, 钟经馨, 等. 椎动脉起始段狭窄 70% ~ 99% 致远段收缩期切迹频谱改变的观察[J]. 临床医学工程, 2012, 19(6):869-871. DOI:10.3969/j.issn.1674-4659.2012.06.0869.
- [34] Kargiotis O, Siahos S, Safouris A, et al. Subclavian steal syndrome with or without arterial stenosis: a review [J]. J Neuroimaging, 2016, 26(5):473-480. DOI:10.1111/jon.12371.
- [35] 中华医学会外科学分会血管外科学组. 颈动脉狭窄诊治指南[J]. 中华血管外科杂志, 2017, 2(2):78-84. DOI:10.3760.cma.j.issn.2096-1863.2017.02.003.
- [36] van Mook WN, Rennenberg RJ, Schurink GW, et al. Cerebral hyperperfusion syndrome [J]. Lancet Neurol, 2005, 4(12):877-888. DOI:10.1016/S1474-4422(05)70251-9.
- [37] Pennekamp CW, Tromp SC, Ackerstaff RG, et al. Prediction of cerebral hyperperfusion after carotid endarterectomy with transcranial Doppler [J]. Eur J Vasc Endovasc Surg, 2012, 43(4):371-376. DOI:10.1016/j.ejvs.2011.12.024.
- [38] González Garéa A, Moniche F, Escudero-Martínez I, et al. Clinical predictors of hyperperfusion syndrome following carotid stenting: results from a national prospective multicenter study [J]. JACC Cardiovasc Interv, 2019, 12(9):873-882. DOI:10.1016/j.jcin.2019.01.247.
- [39] Li QP, Hua Y, Liu JB, et al. Intraoperative transcranial Doppler monitoring predicts the risk of cerebral hyperperfusion syndrome after carotid endarterectomy [J]. World Neurosurg, 2022, 165:e571-e580. DOI:10.1016/j.wneu.2022.06.100.
- [40] Anderegg L, Amin-Hanjani S, El-Koussy M, et al. Quantitative magnetic resonance angiography as a potential predictor for cerebral hyperperfusion syndrome: a preliminary study [J]. J Neurosurg, 2018, 128(4):1006-1014. DOI:10.3171/2016.11.JNS161033.
- [41] Fassaert LMM, Immink RV, van Vriesland DJ, et al. Transcranial Doppler 24 hours after carotid endarterectomy accurately identifies patients not at risk of cerebral hyperperfusion syndrome [J]. Eur J Vasc Endovasc Surg, 2019, 58(3):320-327. DOI:10.1016/j.ejvs.2019.04.033.
- [42] Yun WS. 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.
- [43] 张白, 惠晶晶, 黄亚波, 等. 颈动脉内膜剥脱术中脑血流

- 动力学变化的研究[J]. 中华神经外科杂志, 2014, 30(12): 1239-1243. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-2346.2014.12.015.
- [44] Ackerstaff RG, Moons KG, van de Vlasakker CJ, et al. Association of intraoperative transcranial Doppler monitoring variables with stroke from carotid endarterectomy[J]. Stroke, 2000, 31(8): 1817-1823. DOI: 10.1161/01.str.31.8.1817.
- [45] Ueda T, Takaishi S, Yoshie T, et al. Long-term outcome and factors associated with restenosis after combination therapy of balloon angioplasty and stenting for symptomatic intracranial stenosis[J]. BMC Neurol, 2022, 22(1): 477. DOI: 10.1186/s12883-022-03009-1.
- [46] SSVLVIA Study Investigators. Stenting of symptomatic atherosclerotic lesions in the vertebral or intracranial arteries (SSVLVIA): study results[J]. Stroke, 2004, 35(6): 1388-1392. DOI: 10.1161/01.STR.0000128708.86762.d6.
- [47] 中国卒中学会神经介入分会. 症状性颅内动脉粥样硬化性狭窄血管内治疗中国专家共识 2022[J]. 中国卒中杂志, 2022, 17(8): 863-888. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5765.2022.08.013.
- [48] 孟秀峰, 华扬, 夏明钰, 等. 经颅多普勒超声对大脑中动脉狭窄患者支架置入术后的随访研究[J]. 中国脑血管病杂志, 2013, 10(9): 482-487. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5921.2013.09.008.
- [49] Koh W, Kallenberg K, Karch A, et al. Transcranial Doppler sonography is not a valid diagnostic tool for detection of basilar artery stenosis or in-stent restenosis: a retrospective diagnostic study[J]. BMC Neurol, 2017, 17(1): 89. DOI: 10.1186/s12883-017-0872-8.
- [50] 杨洁, 华扬, 王力力, 等. 经颅多普勒超声及经颅彩色多普勒超声评估基底动脉狭窄的准确性研究[J]. 中华医学超声杂志(电子版), 2015, 12(4): 271-277. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1672-6448.2015.04.005.
- [51] Machado M, Borges de Almeida G, Sequeira M, et al. Percutaneous transluminal angioplasty and stenting in acute stroke caused by basilar artery steno-occlusive disease: the experience of a single stroke centre[J]. Interv Neuroradiol, 2022, 28(5): 547-555. DOI: 10.1177/15910199211051830.
- [52] 杨洁, 王力力, 凌晨, 等. 经颅多普勒超声联合经颅彩色多普勒超声评价基底动脉狭窄支架置入疗效及再狭窄因素的分析[J]. 中国脑血管病杂志, 2016, 13(4): 169-173. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5921.2016.04.001.
- [53] 周瑛华, 华扬, 刘玉梅, 等. 经颅彩色多普勒超声对颅内段椎动脉狭窄血流动力学的评价标准[J]. 中国脑血管病杂志, 2015, 12(8): 397-403. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5921.2015.08.002.
- [54] Zhou YH, Hua Y, Jia LY, et al. Evaluation of interventional therapy for patients with intracranial vertebral artery stenosis by transcranial color-coded sonography[J]. Ultrasound Med Biol, 2016, 42(1): 44-50. DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.2015.08.006.
- [55] 周瑛华, 华扬, 赵新宇, 等. 血管超声对颅内段椎动脉重度狭窄支架置入前后的血流动力学评价[J]. 中国脑血管病杂志, 2015, 12(8): 404-408. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5921.2015.08.003.
- [56] Uniken Venema SM, Dankbaar JW, van der Lugt A, et al. Cerebral collateral circulation in the era of reperfusion therapies for acute ischemic stroke[J]. Stroke, 2022, 53(10): 3222-3234. DOI: 10.1161/STROKEAHA.121.037869.
- [57] Pienimäki JP, Sillanpää 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.
- [58] 郑园园, 惠晶晶, 韩佳霖, 等. 经颅多普勒量化评估单侧颈内动脉重度狭窄或闭塞侧支循环的可行性[J]. 中风与神经疾病杂志, 2018, 35(9): 782-786.
- [59] 房孟晓, 惠晶晶, 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. DOI: 10.19845/j.cnki.zfysjbjzz.2022.0003.
- [60] Faizy TD, Heit JJ. Rethinking the collateral vasculature assessment in acute ischemic stroke: the comprehensive collateral cascade[J]. Top Magn Reson Imaging, 2021, 30(4): 181-186. DOI: 10.1097/RMR.0000000000000274.
- [61] 华扬. 重视颈动脉超声对颈动脉内膜切除术前后的评估作用[J]. 中国脑血管病杂志, 2020, 17(6): 281-284. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5921.2020.06.001.
- [62] 国家卫生计生委脑卒中防治工程委员会. 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. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1672-6448.2015.08.004.
- [63] 中华医学会急诊医学分会, 急性缺血性脑卒中侧支循环评估与干预中国急诊专家共识组. 急性缺血性脑卒中侧支循环评估与干预中国急诊专家共识[J]. 中华急诊医学杂志, 2022, 31(10): 1310-1318. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2022.10.003.
- [64] 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.
- [65] Headache classification committee of the International Headache Society (IHS) the international classification of headache disorders, 3rd edition[J]. Cephalalgia, 2018, 38(1): 1-211. DOI: 10.1177/0333102417738202.
- [66] Jauss M, Zanette E. Detection of right-to-left shunt with ultrasound contrast agent and transcranial Doppler sonography[J]. Cerebrovasc Dis, 2000, 10(6): 490-496. DOI: 10.1159/000016119.

- [67] 中国医师协会神经内科医师分会神经超声专业委员会,中华医学会神经病学分会神经影像协作组. 中国神经超声的操作规范(二)[J]. 中华医学杂志, 2017, 97(41):3208-3212. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 0376-2491. 2017. 41. 003.
- [68] 中华医学会心血管病学分会,中华心血管病杂志编辑委员会. 卵圆孔未闭规范化诊疗中国专家共识[J]. 中华心血管病杂志, 2024, 52(4):369-383. DOI: 10. 3760/cma. j. cn112148-20231030-00393.
- [69] 邢英琦,林攀. 发泡试验的操作方法及临床应用[M]. 北京:中国科学技术出版社,2022:219-220.
- [70] 经食道超声心动图临床应用的中国专家共识专家组. 卵圆孔未闭右心声学造影中国专家共识[J]. 中国循环杂志, 2022, 37(5):449-458. DOI: 10. 3969/j. issn. 1000-3614. 2022. 05. 001.
- [71] Jauss M, Zanette E. Detection of right-to-left shunt with ultrasound contrast agent and transcranial Doppler sonography[J]. Cerebrovasc Dis, 2000, 10:490-496. DOI:10. 1159/000016119.
- [72] Lao AY, Sharma VK, Tsvigoulis G, et al. Detection of right-to-left shunts: comparison between the international consensus and spencer logarithmic scale criteria [J]. J Neuroimaging, 2008, 18(4):402-406. DOI: 10. 1111/j. 1552-6569. 2007. 00218. x.
- [73] Zetola VF, Lange MC, Scavasine VC, et al. Latin American consensus statement for the use of contrast-enhanced transcranial ultrasound as a diagnostic test for detection of right-to-left shunt[J]. Cerebrovasc Dis, 2019, 48(3/6):99-108. DOI:10. 1159/000503851.
- [74] 中国医师协会心血管内科医师分会结构性心脏病学组,心源性脑卒中人群的高危预测模型及治疗策略的临床研究课题组. 卵圆孔未闭超声诊断中国专家共识[J]. 中国介入心脏病学杂志, 2023, 31(1):4-11. DOI:10. 3969/j. issn. 1004-8812. 2023. 01. 002.
- [75] Rodrigues A, Tarazona V, Ladoux A, et al. Comparison between transcranial color-coded duplex Doppler and contrast enhanced transcranial color-coded duplex Doppler after subarachnoid aneurysmal hemorrhage[J]. Neurocrit Care, 2022, 36(1):82-88. DOI: 10. 1007/s12028-021-01255-8.
- [76] Schulz R, Donoso R, Weissman K. Rotational vertebral artery occlusion ("bow hunter syndrome") [J]. Eur Spine J, 2021, 30(6):1440-1450. DOI: 10. 1007/s00586-020-06680-5.
- [77] Jost GF, Dailey AT. Bow hunter's syndrome revisited: 2 new cases and literature review of 124 cases [J]. Neurosurg Focus, 2015, 38(4):E7. DOI: 10. 3171/2015. 1. FOCUS14791.
- [78] Golomb MR, Ducis KA, Martinez ML. Bow hunter's syndrome in children; a review of the literature and presentation of a new case in a 12-year-old girl[J]. J Child Neurol, 2020, 35(11):767-772. DOI:10. 1177/0883073820927108.
- [79] 熊华花,彭佩燕,王晶,等. 转颈试验对椎间隙段椎动脉频谱形态影响的分析[J]. 中国超声医学杂志, 2018, 34(6):481-484. DOI: 10. 3969/j. issn. 1002-0101. 2018. 06. 001.
- [80] Zárate-Tejero C, Hidalgo-García C, Lucha-López O, et al. Association between age, sex and cervical and upper cervical rotation tests. Descriptive and correlational study in healthy volunteers[J]. Ther Adv Chronic Dis, 2023, 14:20406223231170158. DOI:10. 1177/20406223231170158.
- [81] Kaale BR, McArthur TJ, Barbosa MH, et al. Post-traumatic atlanto-axial instability: a combined clinical and radiological approach for the diagnosis of pathological rotational movement in the upper cervical spine [J]. J Clin Med, 2023, 12(4):1469. DOI:10. 3390/jcm12041469.
- [82] Wang H, Lanzino G, Kraus RR, et al. Provocative test occlusion or the Matas test: who was Rudolph Matas? [J]. J Neurosurg, 2003, 98(4):926-928.
- [83] 宋彬彬,李丽,宁金丽,等. 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.
- [84] Morita S, Yasaka M, Yasumori K, et al. Transcranial Doppler study to assess intracranial arterial communication before aortic arch operation [J]. Ann Thorac Surg, 2008, 86(2):448-451. DOI: 10. 1016/j. athoracsur. 2008. 04. 024.
- [85] Magyar-Stang R, István L, Pál H, et al. Impaired cerebrovascular reactivity correlates with reduced retinal vessel density in patients with carotid artery stenosis: cross-sectional, single center study [J]. PLoS One, 2023, 18(9):e0291521. DOI:10. 1371/journal. pone. 0291521.
- [86] Budohoski KP, Czosnyka M, Smielewski P, et al. Cerebral autoregulation after subarachnoid hemorrhage: comparison of three methods [J]. J Cereb Blood Flow Metab, 2013, 33(3):449-456. DOI:10. 1038/jcbfm. 2012. 189.

(收稿日期:2024-10-11)

(本文编辑:吕莉)