

• 专家共识 •

颅内动脉粥样硬化性狭窄影像学评价专家共识

中国医师协会神经介入专业委员会

摘要: 颅内动脉粥样硬化性狭窄 (ICAS) 是中国人群缺血性卒中的主要原因之一,占缺血性卒中病因学的 30%~50%。ICAS 精准治疗的前提是精准评价,因此 ICAS 影像学评估至关重要。当前 ICAS 影像评价尚缺乏统一标准,中国医师协会神经介入专业委员会组织有关专家,结合国内外研究现状,以及我国临床实践,反复讨论并达成 ICAS 影像学评价专家共识,旨在为 ICAS 的临床诊疗工作提供参考和建议。

关键词: 颅内动脉粥样硬化性狭窄; 影像; 共识

doi: 10.3969/j.issn.1672-5921.2021.08.008

Expert consensus on imaging evaluation of intracranial atherosclerotic stenosis Chinese Federation of Interventional Clinical Neurosciences (CFITN)

Corresponding authors: Jiao Liqun, Department of Interventional Radiography, Xuanwu Hospital, Capital Medical University, Beijing 100053, China, Email: liqunjiao@sina.cn; Zhao Zhenwei, Department of Neurosurgery, Tangdu Hospital, Air Force Military Medical University, Xi'an 710038, China, Email: zhao.zwtd@gmail.com

Abstract: Intracranial atherosclerotic stenosis (ICAS) is one of the main causes of ischemic stroke in Chinese, accounting for about 30%~50% of the etiology of ischemic stroke. The treatment of ICAS is based on accurate evaluation, so ICAS imaging evaluation is extremely important. The current ICAS imaging evaluation still lacks a unified standard. The Chinese Federation of Clinical Interventional Neurosciences organized relevant experts. Combined with the current research status at home and abroad, as well as China's clinical practice, experts repeatedly discussed and reached the following consensus, aiming to provide reference for the clinical diagnosis and treatment of ICAS.

Key words: Intracranial atherosclerotic stenosis; Imaging; Consensus

颅内动脉粥样硬化性狭窄 (intracranial atherosclerotic stenosis, ICAS) 是中国人群缺血性卒中的主要原因之一,占缺血性卒中病因学的 30%~50%^[1-2]。目前症状性 ICAS 的最佳治疗方案仍无定论。一方面,两大随机对照试验,包括 SAMMPRIS (stenting and aggressive medical management for preventing recurrent stroke in intracranial stenosis) 试验^[3]和 VISSIT (vitesse intracranial stent study for ischemic stroke therapy) 试验^[4]均未能证实血管内支架置入优于强化药物治疗。2021 年 5 月,美国心脏协会 (American Heart Association, AHA) / 美国卒中协会 (American Stroke Association, ASA) 指南将血管内治疗推荐级别定为 2b 级 (弱),证据级别定为

C-LD (数据有限)。另外一方面,因强化药物治疗相对风险低于血管内治疗,其推荐级别和证据级别分别为 1 级 (强) 和 B-R (随机试验中等级证据)^[5]。但近期研究发现,即便接受强化药物治疗,每年仍有 4%~20% 的 ICAS 患者出现复发卒中^[6-7]。症状性颅内动脉疾病华法林-阿司匹林 (Warfarin-Aspirin for symptomatic intracranial disease, WASID) 研究发现,40% 的卒中复发仅见于中度狭窄程度 (狭窄率为 50%~69%) 患者^[8],提示 ICAS 卒中复发风险不单纯与 ICAS 管腔重度狭窄相关,ICAS 管壁结构学以及跨狭窄血流动力学等也可能与卒中复发存在密切关系。因此,ICAS 影像的精准评价得到密切关注。

ICAS 精准治疗的前提是精准评价,ICAS 影像评估至关重要。当前 ICAS 影像评价尚缺乏统一标准,中国医师协会神经介入专业委员会组织有关专家,结合国内外研究现状,以及我国临床实践,反复讨论并达成以下共识,旨在为 ICAS 的临床诊疗工作提供参考和建议。

基金项目: 国家重点研发计划 (2016YFC1301700, 2016YFC1301703)

通信作者: 焦力群, 100053 北京,首都医科大学宣武医院介入放射科, Email: liqunjiao@sina.cn; 赵振伟, 710038 西安,空军军医大学唐都医院神经外科, Email: zhao.zwtd@gmail.com

1 脑组织评价

脑组织检查是 ICAS 治疗前的入门级、常规检查,可用于排除出血性卒中、评估梗死亚型以及判断梗死时相等方面,从而指导 ICAS 后续治疗。脑组织结构的评价手段主要包括 CT 以及 MRI。

1.1 CT 平扫

CT 平扫是鉴别脑缺血和脑出血的常规检查手段。而在非急性卒中患者中,其诊断价值不及 MRI,主要作为 MRI 禁忌患者的脑组织检查替代方式。

1.2 MRI

MRI 为 ICAS 患者脑组织评估的首选方法,常见扫描序列包括 T1 加权成像、T2 加权成像、液体衰减反转恢复 (FLAIR)

序列、扩散加权成像 (DWI) 以及磁敏感加权成像等。应用 MRI 可有效推测 ICAS 患者卒中的病理生理机制,如穿支梗死、分水岭梗死、动脉至动脉栓塞以及混合机制(图 1)^[9]。机制不同,适宜的干预方式如血管内治疗及获益可能不同。例如,对于单纯穿支梗死病变,血管内治疗可能通过“雪犁效应 (snowplowing effect)”加重穿支闭塞^[11];而对于分水岭梗死患者,血管内治疗可纠正狭窄以远低灌注^[12]。SAMMPRIS 试验亚组分析结果显示,入组的前循环 ICAS 患者,如果以分水岭梗死起病,即使给予强化药物治疗后,卒中复发风险仍高达 26.4% (14/53),高于血管内治疗 [18.2% (10/55), $P=0.30$]^[13]。

此外, MRI 中 DWI 序列可快速识别急性脑梗死。机制

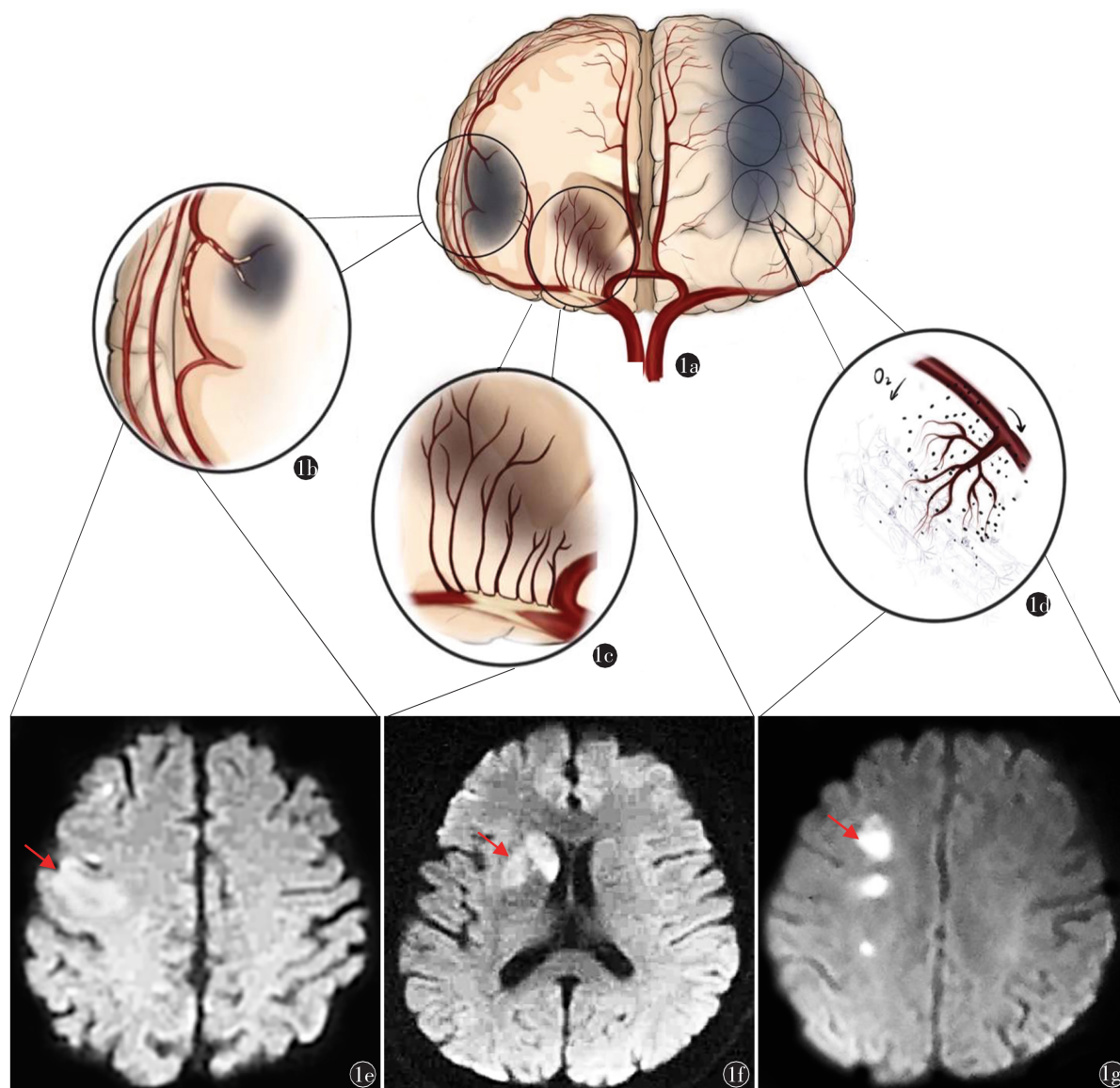


图 1 大脑中动脉 M1 段狭窄梗死机制示意图及 MRI 1a 为脑梗死示意图;1b 为动脉至动脉栓塞示意图;1c 为穿支梗死示意图;1d 为分水岭梗死示意图(左侧箭头所示为氧的扩散,右侧箭头所示为血流方向);1e 为右侧大脑皮质新发梗死 MRI 影像;1f 为右侧基底节区新发梗死 MRI 影像;1g 为右侧放射冠区新发梗死 MRI 影像;1b 和 1e 显示了动脉至动脉栓塞,1c 和 1f 显示了穿支梗死,1d 和 1g 显示了分水岭梗死(MRI 影像图中箭头所示白色区域为梗死灶;图中示意图部分改编自 Luo 等^[10]发表文献,并已获得了该文献作者允许)

在于脑梗死后,病灶内水分子扩散受限,表观扩散系数值降低,DWI 图像上表现为高信号。高信号在发病 7 d 左右达到峰值,之后逐渐减低^[14]。借助 DWI 序列可判读脑梗死时相,有助于指导 ICAS 介入干预时机的选择。SAMMPRIS 研究中,支架组超过一半患者于发病 7 d 内行血管内治疗,而此时脑梗死尚处于水肿期,血-脑屏障受损且可能合并血流动力学状态不稳,过早的介入干预可能增加了血管源性水肿或再灌注出血风险^[3]。相关 Meta 分析结果显示,ICAS 卒中后 3 周内行介入干预可能会增加卒中或死亡发生风险(发病 3 周内对比发病 3 周后,围手术期卒中发生率之比为 1.60,95% CI: 1.10 ~ 2.33; $P = 0.014$)^[15]。另有多中心研究结果表明,长期随访后,早期血管内治疗干预(发病 2 周内) ICAS 卒中患者的缺血性卒中、短暂性脑缺血发作、出血性卒中和死亡的总发生率显著高于发病 2 周后至 42 d 进行支架置入的卒中患者[22.0% (9/41) 比 8.1% (6/74), $P = 0.035$]^[16]。国内多项前瞻性、多中心研究均建议,最近 1 次脑梗死距离血管内干预的时间间隔 > 3 周^[17-18],但最佳干预时机仍未确定^[19]。

因此术前复查 DWI,根据 DWI 图像上梗死灶信号强度及表观扩散系数值决定介入干预时机,以期降低围手术期风险。但目前最佳干预的时机尚未确定。磁敏感加权成像序列是利用组织间磁场敏感差异和血氧合水平依赖效应成像的磁共振新技术,可有效检出脑微出血灶^[20-21]。作为常规 MRI 序列的补充,磁敏感加权成像序列或许有助于评估 ICAS 手术风险及预后。

推荐意见: (1) ICAS 患者脑组织检查首选包括 DWI 序列的 MRI 平扫;如 MRI 禁忌,可行 CT 替代。(2) ICAS 患者 MRI 检查可有效推测 ICAS 卒中的病理生理机制,指导后续干预方式。(3) ICAS 患者如考虑血管内干预,需要考虑末次卒中与此次干预的时间间隔,并结合术前 DWI 图像上梗死灶信号强度决定手术时机。早期(< 7 d) 干预可能增加围手术期风险。

2 脑血管狭窄处的管腔和管壁评价

血管影像是明确病变原因、部位,初步判定其性质的基础。ICAS 中,脑血管评价应包括管腔(狭窄程度)等常规检查指标,以及管壁(形态学)等结构影像特征。

2.1 管腔

当前 ICAS 的影像学评价体系以管腔狭窄程度为核心指标。管腔的狭窄程度可定性分为轻度、中度和重度狭窄,亦可定量分为狭窄率 < 50%、50% ~ 69% 和 70% ~ 99%^[22-23]。

2.1.1 血管超声: 经颅多普勒超声(TCD)与经颅彩色多普勒超声具备无创且操作简单、成本较低等优势,可对患者进行连续、长期的动态观察。TCD 或经颅彩色多普勒超声对于血管狭窄程度的判断主要依据流速变化,相关参数包括狭窄处收缩期峰值流速(PSV)、狭窄处平均流速(MV)以及狭窄处收缩期峰值流速与狭窄远端收缩期峰值流速比值(PS_{V1}/PS_{V2})。2015 年《中国脑卒中血管超声检查指南》^[24] 规

定,大脑中动脉轻度狭窄表现为: $140 \text{ cm/s} \leq PSV < 180 \text{ cm/s}$, $90 \text{ cm/s} \leq MV < 120 \text{ cm/s}$;中度狭窄: $180 \text{ cm/s} \leq PSV < 220 \text{ cm/s}$, $120 \text{ cm/s} \leq MV < 140 \text{ cm/s}$;重度狭窄: $PS_{V1}/PS_{V2} \geq 3.0$ 。而对于后循环,狭窄标准尚未统一。此外,临床诊疗中需强调头颈一体化、左右侧大脑半球结合、前后循环结合的理念及思维方式^[25]。普及血管超声检查,符合我国目前的卫生经济状况,但结果的准确性受患者颅骨声窗情况及操作者经验影响较大。因此,血管超声虽具有其独特的优势和价值,但不够客观,适用于初步筛查及患者随访,同时也需要进一步的规范化培训和普及推广。

2.1.2 CT 血管成像(CTA): CTA 的空间分辨率较强,对 ICAS 管腔狭窄情况的判断可靠性更高。相关研究表明,对于狭窄率 $\geq 50\%$ 的病变,CTA 的敏感度和特异度可分别达 97.1% 和 99.5%,阴性预测值为 99.8%。而对于大动脉闭塞性疾病,CTA 的敏感度和特异度均可达 100.0%^[26]。与 DSA 相比,CTA 测得的狭窄度总体上近似,仅在部分患者群体中存在较大差异^[27]。

传统 CTA 检查中,钙化斑块局部产生伪影会妨碍血管管腔的观察,导致高估血管狭窄程度甚至无法诊断,因此 CTA 不利于钙化斑块段血管狭窄程度的判断。而双能 CT 利用能量剪裁,可去除 CTA 图像内的骨质、钙化对于血管狭窄程度的干扰。改良去钙化 CTA 技术已经应用于颈动脉钙化病变,且与 DSA 所测狭窄度有着高度一致性^[28],有望在不久的将来拓展至对颅内钙化病变的测量。

对于 ICAS 支架置入后的患者,传统 CTA 空间分辨率有限,支架伪影可影响其测量的准确性,将其作为术后随访期间的常规复查手段尚有争议^[29]。研究发现,对于支架置入后直径 < 4 mm 的血管,CTA 可能会夸大支架内再狭窄的程度^[30]。但随着后处理影像技术的发展,该问题已获得初步解决。Struffert 等^[31]通过优化平板 CTA 成像技术,可清晰地显影颅内管腔和支架,从而能对支架内再狭窄或残余狭窄进行准确判断。总的来说,CTA 作为一项准确性较高的脑血管评价手段,临床应用场景较为广阔。

2.1.3 MR 血管成像(MRA): 时间飞跃法 MRA(time of flight-MRA, TOF-MRA)作为一种无创的管腔成像手段,不使用对比剂及放射线,患者接受度高,适用于连续随访。但有研究显示,在进行 ICAS 狭窄程度测量时,与 DSA 相比,TOF-MRA 会夸大狭窄程度(平均狭窄率: 65% 比 51%, $P < 0.01$)^[32]。相较于 DSA 和 CTA,TOF-MRA 准确性不足,评价内容有限,应用场景受限^[33]。

增强 MRA(contrast-enhanced MRA, CE-MRA)是经静脉注射含钆对比剂后进行的 MRA。比较 CE-MRA 与 DSA 发现,对于颈动脉狭窄,CE-MRA 特异度和敏感度分别高达 92% 和 100%;但对于 ICAS,由于颅内动脉管径相对较小且存在静脉影像叠加等问题,其准确性仍有待提高^[34]。

静音 MRA 是近年来兴起且日趋临床化的一项新型

MRA 手段。该检查基于动脉自旋标记(arterial spin labeling, ASL)的动态血管成像技术,无需对比剂、采集范围大、采集时间窗不受限制,并且通过控制标记时间,可实现选择性动脉成像,不受静脉污染现象影响,空间及时间分辨率相对较高,成像质量稳定。但对成像设备要求较高,目前相关研究有限,在颅内的应用多集中于颅内动脉瘤方面^[35],在 ICAS 中的应用价值仍需进一步研究。

此外,椎-基底动脉平行解剖扫描成像(basi-parallel anatomic scanning, BPAS)技术可显示椎-基底动脉的外轮廓,即使在血管闭塞的情况下也不会受到影响。BPAS 能够对血管内轮廓进行可视化,联合 MRA 有助于区分先天性发育不良、动脉硬化和夹层动脉瘤等^[36]。

2.1.4 DSA: TCD、CTA 和 MRA 等均为无创性检查。DSA 作为一种有创性检查,一直被认为是 ICAS 影像学评价的“金标准”,除定量测量狭窄程度外,还可动态显示颅内血管代偿情况,对于病变的整体判读有着不可替代的作用^[37]。基于 DSA 影像,可对脑血流及代偿情况进行系统评价,并进行分级或量化,如脑梗死溶栓(thrombolysis in cerebral infarction, TICI)分级^[38]和美国介入和治疗神经放射学学会/介入放射学学会(American Society of Interventional and Therapeutic Neuroradiology/Society of Interventional Radiology, ASITN/SIR)分级^[22]等。

关于颅内动脉狭窄程度的测量,现在多采用 WASID 研究方法^[39],即: $(1 - D_s/D_n) \times 100\%$, D_s 与 D_n 分别代表颅内动脉最狭窄处和正常处管径。

计算时有以下几种情况值得注意^[22]:(1)对于大脑中动脉、椎动脉颅内段以及基底动脉狭窄, D_n 定义为狭窄近端最宽的无弯曲的正常动脉直径;若近端血管有病变, D_n 则定义为狭窄远端最宽的无弯曲的正常动脉直径;若整个颅内动脉均有病变,则选择其主要供血动脉最远端的无弯曲的正常管径。(2)对于海绵窦前段、海绵窦段、海绵窦后段的颈内动脉狭窄, D_n 定义为颈动脉岩段最宽的无弯曲的正常管径直径;若整个岩段皆有病变,定义为颅外颈内动脉最远端的直径。(3)若有串联的颅内病变(如同时有椎动脉远端和基底动脉中段),则分别计算各处狭窄的狭窄度,取其最狭窄的数值为

测量结果。(4)若狭窄近闭塞,无法看到狭窄处管径,则定义狭窄率为 99%。

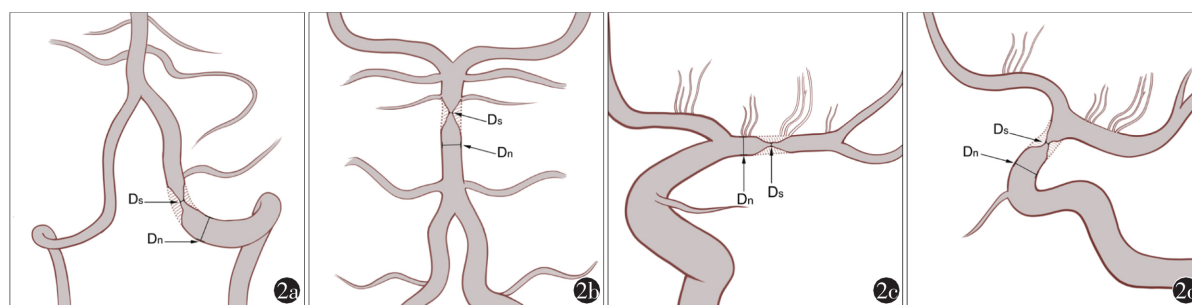
值得注意的是 2009 年,美国神经介入外科协会(Society of Neurointerventional Surgery, SNIS)对 ICAS 狭窄程度测量方法进一步规范,并进行了部分调整^[23]。由于颅内动脉远端管径逐渐变小、分支较多且常较迂曲,因此,在测量大脑中动脉、椎动脉颅内段以及基底动脉狭窄时, D_n 优先选择狭窄近端最宽的、无弯曲的正常动脉直径;若靶血管起始处狭窄且供血动脉正常,则选择供血动脉最宽、正常、无曲折段管腔直径作为 D_n 。

临床实际工作中使用 DSA 进行管腔狭窄程度测量时,为解决角度选择问题,可先进行三维 DSA 成像,确定狭窄程度最大时的切线位,再进行二维狭窄程度测量。颅内血管较为迂曲复杂,DSA 作为一项有创操作存在一定风险。研究表明,卒中或短暂性脑缺血发作起病的患者,行造影检查时发生卒中的概率可达 0.7%^[40]。因此对于 DSA 检查,需加强规范化培训,在保证图像质量、获取完整信息的同时,减少不良事件的发生。

推荐意见:(1)TCD 适用于 ICAS 患者的初步筛查及长期随访,但尚需进一步的规范化培训和普及。(2)CTA 与 MRA 均可用于 ICAS 的诊断,各有优势,临床工作中可根据患者情况选择性应用。(3)DSA 是诊断 ICAS 的“金标准”,需加强 DSA 的评估规范化培训;狭窄程度测量首选 WASID 方法,测量时可基于三维 DSA 选择狭窄度最大时的切线位,再进行二维狭窄程度测量。

2.2 管壁

颅内动脉管壁成像技术可在传统的管腔狭窄程度评价之上,进一步了解斑块结构和功能的稳定性。通常将不稳定斑块或易损斑块的特征概括为大脂质坏死核心、薄纤维帽斑块、斑块内出血、炎性浸润以及新生血管形成等。应用管壁成像评价病变局部的形态病理学特点以及相邻穿支情况,一方面可推测缺血事件病因及发生机制,尤其对于隐匿性卒中的病因诊断具有重要价值;另一方面可为制定干预策略、降低脑缺血事件复发风险提供依据。目前最为常用的检查手段为高分辨率核磁共振管壁成像(high resolution magnetic



D_s 与 D_n 分别代表颅内动脉最狭窄处和正常处管径

图 2 颅内动脉狭窄最常见的测量方法示意图 2a 椎动脉颅内段;2b 基底动脉;2c 大脑中动脉 M1;2d 颈内动脉颅内段(本图由首都医科大学宣武医院介入放射科张白茹绘制)

resonance vessel wall image ,HRMR-VWI) 此外还包括部分新兴手段如光学相干断层成像(optical coherence tomography ,OCT) 和血管内超声(intravenous ultrasound ,IVUS) 等。

2.2.1 HRMR-VWI: HRMR-VWI 可以清晰显示 ICAS 狭窄部位、长度、走形及成分信息。其扫描层薄,分辨率高(1.5 ~ 3.0 T 核磁,分辨率为 0.2 ~ 0.9 mm);除二维序列外,还可使用各向同性分辨率的三维序列,进行垂直或平行于动脉走行的冠矢轴多平面重建^[41]。目前,三维变量重聚焦角度序列,如 VISTA(荷兰,Philips 公司)、SPACE(德国,Siemens 公司)和 CUBE(美国,GE 公司)等使用最为广泛。三维变量重聚焦角度序列与其他二维和三维成像技术相比,时间更短、覆盖范围更大、图像质量更高。目前临床常用序列有用于对比增强前后的三维变量重聚焦角度 T1 加权成像、二维快速自旋回波 T2 及质子加权成像等^[41]。

ICAS 的血管壁成像除了能准确判别狭窄程度外,其价值还体现在如下方面:(1) 重新推测或定义隐匿性或腔隙性脑梗死病因^[42];(2) 确定 ICAS 的病因学,鉴别动脉粥样硬化性狭窄与非动脉粥样硬化性狭窄(如动脉夹层、动脉炎或烟雾病等)^[43-45];(3) 斑块精准成像:量化斑块体积和成分^[41,46],识别易损性斑块形态学特征,如斑块内出血^[47-48]、纤维帽破裂^[49-50]、斑块负荷(大脂质坏死核心)^[49]、斑块强化征^[51-56]以及正性或负性重构^[57-61]等,对卒中复发进行危险程度分层,指导后续治疗;(4) 指导血管内治疗:识别夹层导致的真腔、假腔^[62],判别斑块位置的偏心性位置分布^[59,63-65],以及狭窄附近临近重要分支或穿支^[62],减少围手术期并发症。

2017 年美国神经放射学会发布了颅内动脉血管壁 MRI 的专家共识^[66],对于成像技术参数进行了详细讨论,同时对于颅内动脉狭窄不同病变 VWI 特点也进行了阐述,但是该共识并未给出切实可行的推荐方案。2019 年,中华医学会放射学分会 MR 学组发布了《颅内 MR 血管壁成像技术与应用中国专家共识》^[67],针对颅内动脉狭窄病因及易损斑块的诊断作了详细介绍,包括狭窄程度、斑块分布、偏心、负荷、T1 加权成像高信号、对比增强、重构等,值得参考。尽管有临床研究提示,HR-MRI 诊断的斑块特征与缺血事件发生存在相关性^[47-49,51-52],但由于很难获得高质量的活体病理-影像对照,且受磁共振分辨率限制,其对斑块具体组分的判定以及量化仍缺乏公认的标准及证据。

2.2.2 其他新兴手段:近年来,一些新兴的冠状动脉检查手段也逐渐引入神经血管领域,如 OCT 和 IVUS 两项检查均为有创且须配合 DSA 进行,但其较高的分辨率(OCT: 10 ~ 20 μm ; IVUS: 150 ~ 300 μm)能够方便操作者对 ICAS 病变进行更加细致的观察,目前已有少量研究报道^[68-70],具有一定的临床价值。

结合冠状动脉影像学报道经验,血管内 OCT 目前可以定性或定量评价的指标包括术前纤维帽连续性、纤维帽厚度、钙化程度及类型、腔内血栓、滋养血管及新生血管,术中

内膜撕裂、支架贴壁、组织脱垂,以及术后随访斑块再生、血栓形成等^[71-72]。在 ICAS 诊疗中具有广阔的应用前景。但目前多数 OCT 导管基于冠状动脉设计,因前循环颅内血管迂曲,难以到位,其临床使用受到一定限制。而 IVUS 是另外一种血管内成像手段,其分辨率不如 OCT,但成像深度及范围较大,或许更适于管径较大的颅外动脉病变的评价。但需要注意,OCT 和 IVUS 管壁评价手段,均起源于冠状动脉,神经疾病专用 OCT 和 IVUS 尚在研发中。颅内微创性操作存在风险,需谨慎。

推荐意见:(1) HR-MRI 上,ICAS 责任斑块形态、分布、重构模式以及增强特点等,与卒中存在明显相关性。因此,建议行 ICAS 血管壁成像,有助于理解 ICAS 责任斑块形态学特征,进而推测卒中病因,针对卒中复发危险程度分层等,对指导 ICAS 治疗具有重要的参考价值。(2) OCT 及 IVUS 等作为 ICAS 的新型结构评价手段,目前仍在研究中,仅建议在高级卒中中心、由经验丰富的医师选择性开展。

3 脑组织的灌注评价(狭窄以远)

ICAS 治疗方案与 ICAS 卒中分型密切相关。SAMMPRIS 研究发现,前循环 ICAS 重度狭窄患者,如果入组基线 MR 表现为分水岭梗死,即使强化药物治疗,卒中复发风险仍高达 26.4%^[13]。因此,如何从脑组织灌注层面识别血流动力学障碍,制定个体化治疗方案则尤其重要。

判定脑组织血流动力学障碍的“金标准”为正电子发射计算机断层扫描或氦气计算机断层扫描,但受限于各种条件,临床应用较少。目前常用的灌注评价手段包括 CT 灌注(CT perfusion ,CTP)成像、磁共振灌注加权成像(perfusion weighted imaging ,PWI)及 ASL 等。通常以无病变或非责任病变侧为参考,通过对比患侧及“健侧”脑组织灌注情况,定性或半定量地筛选存在显著脑组织灌注不足的患者进行血运重建。但相关判定参数的阈值尚未明确,仍需进一步研究。

3.1 CTP 成像

CTP 成像是目前最为常用的脑灌注检查手段。主要评估参数包括脑血流量(cerebral blood flow ,CBF)、脑血容量(cerebral blood volume ,CBV)、平均通过时间(mean transit time ,MTT)、峰值时间和残余功能达峰时间等,利用这些参数可量化分析脑组织灌注状况,进而为治疗策略提供参考^[73]。在 CTP 成像的指导下,可将脑缺血状态,即自脑血流下降至急性脑梗死的发生,分为 3 个时期^[74]: I 期为 CBF 不变, CBV 增加,此时脑氧摄取分数(oxygen extraction fraction ,OEF)尚能维持正常水平,机体充分发挥代偿能力; II 期表现为 CBF 下降, CBV 不变, OEF 增加,机体处于失代偿状态,此时患者需进行手术干预; III 期表现为 CBF 下降, CBV 下降, OEF 下降,此时由于 CBF 下降超过脑代谢储备能力,发生不可逆转的神经元形态学改变,即脑细胞已经大面积死亡,手术获益微乎其微。国内研究者将前两个时期称为脑梗死前期,并根据脑局部微循环变化程度和动态 CTP 成像表现,将

脑梗死前期分为 2 期(脑血流动力学异常和脑血流储备能力失代偿)和 4 个亚型,即 I_1 、 I_2 、 II_1 和 II_2 ^[75]。

CTP 成像可在一定程度上预测卒中复发风险,且重复性较好。研究表明,对于症状性 ICAS 患者,CBF 降低与 MTT 延长可有效预测缺血性卒中复发;此外,相关参数中,MTT 的可重复性较好,而 CBF 与 CBV 组间差异较大^[76]。使用患侧与健侧间的相对比值 rCBF、rCBV 可有效降低此类差异,增加其稳定性和敏感度^[77]。此外,CTP 还可用于评价侧支循环的情况^[78]。

由于后循环解剖因素影响,CTP 对于前循环的诊断价值优于后循环,目前研究也以前循环方面较为深入。部分研究尝试界定 CTP 相关参数阈值,结果显示,对于症状性、前循环、中重度 ICAS 患者,最大 MTT > 6 s 的脑组织体积超过 15 ml 时,卒中复发风险显著升高,提示此类患者可能需要更为积极的治疗以预防卒中再次发生^[79]。

3.2 PWI

PWI 是临床最常用的 MRI 灌注检查方法。PWI 后处理同样可获得 CBF、CBV、MTT 和峰值时间等参数,反映 ICAS 患者狭窄以远颅内血流动力学改变,在 ICAS 临床诊疗中具有一定的参考价值^[80]。但与 CTP 的绝对定量不同,PWI 各项参数为相对定量计算,与 CTP 相比,PWI 无射线辐射,更适用于 ICAS 患者随访检查。

3.3 ASL

ASL 是利用血液中水分子作为内源性、可自由扩散示踪剂进行颅脑灌注成像的功能 MRI 技术。2016 年,中华医学会放射学分会发布了《动脉自旋标记脑灌注 MRI 技术规范应用专家共识》,就 ASL 相关原理、处理、解读及应用等作了详细阐述^[81],提高了国内研究者对 ASL 技术的认识。ASL 作为一种完全无创的评价手段,适用于短时间内多次检查。

有研究比较了 ASL 和 CTP 在评价 ICAS 灌注情况时的一致性,发现对于轻、中度狭窄,两者结果类似;而对于重度狭窄,ASL 会夸大灌注缺损情况^[82]。除测量 CBF 外,ASL 固有的成像原理可显示脑血流灌注的过程,具有广阔的应用前景。但结合现有报道,目前影响 ASL 推广的主要阻碍是个体间标记后延迟和动脉通过时间的不匹配,亟待进一步的技术优化及研究验证^[83]。

推荐意见: CTP、PWI、ASL 等可提供 ICAS 病变远端脑组织灌注情况,有助于判断狭窄所致的功能性障碍的严重程度、预测卒中复发风险。推荐在介入干预前常规行脑组织灌注检查,具体检查方法可根据患者自身情况个体化选择和应用。

4 脑血流动力学评价

相较于狭窄远端灌注区内脑组织灌注情况,评估病变局部脑血流动力学变化对于确定责任病变、评价其严重程度可能具有更加重要的意义。借鉴冠状动脉对于血流储备分数的探索经验,Liebeskind 和 Feldmann^[84]首先提出了血流分数这一概念,用于表示颅内动脉狭窄的血流动力学意义,标志

着 ICAS 的诊断和评估从单一解剖学转向血流动力学,以期更好地进行患者风险分层,进而指导治疗。目前常用的检查手段主要包括有创压力导丝血管内测压以及无创性血流动力学计算等。值得注意的是,由于缺乏安全简便的激发手段,目前脑血流评价多基于静息态。

4.1 有创压力导丝血管内测压

血管内测压指脑血管造影过程中,使用压力导丝通过狭窄动脉测量狭窄远、近端压力,计算有创血流分数。血管内测压作为功能性评价的代表性参数,所测得的血流储备分数及其相关衍生指标在指导冠状动脉狭窄性疾病的诊疗中获得巨大成功^[85-86],但将其应用于 ICAS 的常规诊疗中还有很长的一段路要走^[87-89],部分原因在于脑血管领域缺乏公认且较为简便的脑血流储备失代偿的评估方法,无法确定类似于冠状动脉中可导致远端心肌缺血的局灶性狭窄的功能阈值(冠状动脉有创血流储备分数界值目前设定为 0.75~0.80)。

4.2 颅内动脉狭窄无创性血管内压力计算

鉴于压力导丝血管内测压的有创性,近年来冠状动脉领域相关研究者,以有创测压为“金标准”,构建了数种无创性血管内压力计算方法,并逐渐应用于临床。受其启发,ICAS 领域也有部分研究者尝试将血流动力学测定“无创化”,并尝试通过队列研究直接构建无创指标与卒中风险间的相关性,取得一定成果。研究方向涉及计算流体力学、信号强度比值、定量 MRA 等^[90],为 ICAS 的个体化诊疗提供了新的方向。

推荐意见: 功能性脑血流评价应用于 ICAS 尚处于起步阶段,但发展势头迅猛、应用前景广阔,建议有条件的医院在科学规划的基础上积极开展。

志谢(排名不分先后) 感谢李龙(首都医科大学宣武医院)、冯瑶(首都医科大学宣武医院)帮助整理资料,焦晓天(美国伊利诺伊大学芝加哥分校)、张白茹(首都医科大学宣武医院)帮助绘图

执笔 高鹏(首都医科大学宣武医院)

审阅专家(按姓氏拼音排序) 蔡学礼(浙江省丽水市中心医院);蔡艺灵(解放军战略支援部队特色医学中心);陈文伙(福建省漳州市医院);邓剑平(空军军医大学唐都医院);何伟文(广州医科大学附属第二医院);姜长春(内蒙古包头市中心医院);焦力群(首都医科大学宣武医院);蒯东(山西医科大学第一医院);李天晓(河南省人民医院);卢洁(首都医科大学宣武医院);史怀璋(哈尔滨医科大学附属第一医院);宋存峰(山东省聊城市第三人民医院);孙钦建(山东第一医科大学附属省立医院);万杰清(上海交通大学医学院附属仁济医院);王大明(北京医院);王君(解放军总医院);王守春(吉林大学白求恩第一医院);汪阳(首都医科大学附属北京朝阳医院);张金(山西医科大学第一医院);张苗(首都医科大学宣武医院);赵振伟(空军军医大学唐都医院);郑洪波(四川大学华西医院)

参考文献

- [1] 《中国脑卒中防治报告 2019》编写组.《中国脑卒中防治报告 2019》概要[J]. 中国脑血管病杂志, 2020, 17(5): 272-281.
- [2] Wang Y, Zhao X, Liu L, et al. Prevalence and outcomes of symptomatic intracranial large artery stenoses and occlusions in china: the Chinese Intracranial Atherosclerosis (CICAS) Study[J]. Stroke, 2014, 45(3): 663-669.
- [3] Chimowitz MI, Lynn MJ, Derdeyn CP, et al. Stenting versus aggressive medical therapy for intracranial arterial stenosis[J]. N Engl J Med, 2011, 365(11): 993-1003.
- [4] Zaidat OO, Fitzsimmons BF, Woodward BK, et al. Effect of a balloon-expandable intracranial stent vs medical therapy on risk of stroke in patients with symptomatic intracranial stenosis: the VISSIT randomized clinical trial[J]. JAMA, 2015, 313(12): 1240-1248.
- [5] Kleindorfer DO, Towfighi A, Chaturvedi S, et al. 2021 guideline for the prevention of stroke in patients with stroke and transient ischemic attack: a guideline from the American Heart Association/American Stroke Association[J]. Stroke, 2021, 52(7): e364-e467.
- [6] Chimowitz MI, Lynn MJ, Howlett-Smith H, et al. Comparison of warfarin and aspirin for symptomatic intracranial arterial stenosis[J]. N Engl J Med, 2005, 352(13): 1305-1316.
- [7] Sangha RS, Naidech AM, Corado C, et al. Challenges in the medical management of symptomatic intracranial stenosis in an urban setting[J]. Stroke, 2017, 48(8): 2158-2163.
- [8] Kasner SE, Chimowitz MI, Lynn MJ, et al. Predictors of ischemic stroke in the territory of a symptomatic intracranial arterial stenosis[J]. Circulation, 2006, 113(4): 555-563.
- [9] Feng XY, Chan KL, Lan LF, et al. Stroke mechanisms in symptomatic intracranial atherosclerotic disease: classification and clinical implications[J]. Stroke, 2019, 50(10): 2692-2699.
- [10] Luo JC, Wang T, Gao P, et al. Endovascular treatment of intracranial atherosclerotic stenosis: current debates and future prospects[J]. Front Neurol, 2018, 9: 666.
- [11] Levy EI, Hanel RA, Boulos AS, et al. Comparison of periprocedure complications resulting from direct stent placement compared with those due to conventional and staged stent placement in the basilar artery[J]. J Neurosurg, 2003, 99(4): 653-660.
- [12] Yu WG, Jiang WJ. Stenting for intracranial stenosis: potential future for the prevention of disabling or fatal stroke[J]. Stroke Vasc Neurol, 2018, 3(3): 140-146.
- [13] Wabnitz AM, Derdeyn CP, Fiorella DJ, et al. Hemodynamic markers in the anterior circulation as predictors of recurrent stroke in patients with intracranial stenosis[J]. Stroke, 2018: STROKEAHA118020840. DOI: 10.1161/STROKEAHA.118.020840. Online ahead of print.
- [14] Lansberg MG, Thijs VN, O'Brien MW, et al. Evolution of apparent diffusion coefficient, diffusion-weighted, and T2-weighted signal intensity of acute stroke[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2001, 22(4): 637-644.
- [15] Yu YY, Wang T, Yang K, et al. Timing and outcomes of intracranial stenting in the post-SAMMPRIS era: a systematic review[J]. Front Neurol, 2021, 12: 637632.
- [16] Zhang Y, Sun YJ, Li X, et al. Early versus delayed stenting for intracranial atherosclerotic artery stenosis with ischemic stroke[J]. J Neurointerv Surg, 2020, 12(3): 274-278.
- [17] Ma N, Zhang Y, Shuai J, et al. Stenting for symptomatic intracranial arterial stenosis in China: 1-year outcome of a multicentre registry study[J]. Stroke Vasc Neurol, 2018, 3(3): 176-184.
- [18] Gao P, Wang D, Zhao Z, et al. Multicenter prospective trial of stent placement in patients with symptomatic high-grade intracranial stenosis[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2016, 37(7): 1275-1280.
- [19] Wang T, Luo JC, Wang X, et al. Endovascular therapy versus medical treatment for symptomatic intracranial artery stenosis[J]. Cochrane Database Syst Rev, 2020, 8(8): CD013267.
- [20] Tong KA, Ashwal S, Holshouser BA, et al. Hemorrhagic shearing lesions in children and adolescents with posttraumatic diffuse axonal injury: improved detection and initial results[J]. Radiology, 2003, 227(2): 332-339.
- [21] Liu C, Li W, Tong KA, et al. Susceptibility-weighted imaging and quantitative susceptibility mapping in the brain[J]. J Magn Reson Imaging, 2015, 42(1): 23-41.
- [22] Higashida RT, Furlan AJ, Roberts H, et al. Trial design and reporting standards for intra-arterial cerebral thrombolysis for acute ischemic stroke[J]. Stroke, 2003, 34(8): e109-e137.
- [23] Schumacher HC, Meyers PM, Higashida RT, et al. Reporting standards for angioplasty and stent-assisted angioplasty for intracranial atherosclerosis[J]. Stroke, 2009, 40(5): e348-e365.
- [24] 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.
- [25] 高明杰, 华扬, 贾凌云. 血管超声医学研究生培养中面临的问题及对策[J]. 继续医学教育, 2015, 29(8): 47-48.
- [26] Nguyen-Huynh MN, Wintermark M, English J, et al. How accurate is CT angiography in evaluating intracranial atherosclerotic disease? [J]. Stroke, 2008, 39(4): 1184-1188.
- [27] Huang J, Degnan AJ, Liu Q, et al. Comparison of NASCET and WASID criteria for the measurement of intracranial stenosis using digital subtraction and computed tomography angiography of the middle cerebral artery[J].

- J Neuroradiol 2012, 39(5):342-345.
- [28] Qu HY, Gao YG, Li ML, et al. Dual energy computed tomography of internal carotid artery: a modified dual-energy algorithm for calcified plaque removal, compared with digital subtraction angiography [J]. Front Neurol, 2020, 11: 621202.
- [29] Turk AS, Rowley HA, Niemann DB, et al. CT angiographic appearance of in-stent restenosis of intracranial arteries treated with the Wingspan stent [J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2007, 28(9): 1752-1754.
- [30] Trossbach M, Hartmann M, Braun C, et al. Small vessel stents for intracranial angioplasty: in vitro evaluation of in-stent stenoses using CT angiography [J]. Neuroradiology, 2004, 46(6): 459-463.
- [31] Struffert T, Kloska S, Engelhorn T, et al. Optimized intravenous flat detector CT for non-invasive visualization of intracranial stents: first results [J]. Eur Radiol 2011, 21(2): 411-418.
- [32] Tian X, Tian B, Shi Z, et al. Assessment of intracranial atherosclerotic plaques using 3D black-blood MRI: comparison with 3D time-of-flight MRA and DSA [J]. J Magn Reson Imaging 2021, 53(2): 469-478.
- [33] van den Wijngaard IR, Holswilder G, van Walderveen MA, et al. Treatment and imaging of intracranial atherosclerotic stenosis: current perspectives and future directions [J]. Brain Behav 2016, 6(11): e00536.
- [34] Wutke R, Lang W, Fellner C, et al. High-resolution, contrast-enhanced magnetic resonance angiography with elliptical centric k-space ordering of supra-aortic arteries compared with selective X-ray angiography [J]. Stroke 2002, 33(6): 1522-1529.
- [35] Shang SA, Ye J, Luo XF, et al. Follow-up assessment of coiled intracranial aneurysms using zTE MRA as compared with TOF MRA: a preliminary image quality study [J]. Eur Radiol 2017, 27(10): 4271-4280.
- [36] Liu J, Zhao LL, Yao L, et al. Basi-parallel anatomic scanning (BPAS-MRI) compared with high-resolution MRI for the diagnosis of vertebrobasilar artery abnormalities [J]. Eur J Radiol 2020, 123: 108791.
- [37] Bash S, Villablanca JP, Jahan R, et al. Intracranial vascular stenosis and occlusive disease: evaluation with CT angiography, MR angiography and digital subtraction angiography [J]. AJNR Am J Neuroradiol 2005, 26(5): 1012-1021.
- [38] Zaidat OO, Yoo AJ, Khatri P, et al. Recommendations on angiographic revascularization grading standards for acute ischemic stroke: a consensus statement [J]. Stroke 2013, 44(9): 2650-2663.
- [39] Samuels OB, Joseph GJ, Lynn MJ, et al. A standardized method for measuring intracranial arterial stenosis [J]. AJNR Am J Neuroradiol 2000, 21(4): 643-646.
- [40] Cloft HJ, Joseph GJ, Dion JE. Risk of cerebral angiography in patients with subarachnoid hemorrhage, cerebral aneurysm, and arteriovenous malformation: a Meta-analysis [J]. Stroke, 1999, 30(2): 317-320.
- [41] Choi YJ, Jung SC, Lee DH. Vessel wall imaging of the intracranial and cervical carotid arteries [J]. J Stroke, 2015, 17(3): 238-255.
- [42] Bodle JD, Feldmann E, Swartz RH, et al. High-resolution magnetic resonance imaging: an emerging tool for evaluating intracranial arterial disease [J]. Stroke, 2013, 44(1): 287-292.
- [43] Holmstedt CA, Turan TN, Chimowitz MI. Atherosclerotic intracranial arterial stenosis: risk factors, diagnosis, and treatment [J]. Lancet Neurol 2013, 12(11): 1106-1114.
- [44] Swartz RH, Bhuta SS, Farb RI, et al. Intracranial arterial wall imaging using high-resolution 3-Tesla contrast-enhanced MRI [J]. Neurology 2009, 72(7): 627-634.
- [45] Mossa-Basha M, Alexander M, Gaddikeri S, et al. Vessel wall imaging for intracranial vascular disease evaluation [J]. J Neurointerv Surg 2016, 8(11): 1154-1159.
- [46] Liu DC, Liu JY, Cai Y, et al. Is the future of symptomatic intracranial atherosclerotic stenosis management promising? [J]. J Neurol Neurosurg Psychiatry 2020, 91(2): 122-124.
- [47] Turan TN, Bonilha L, Morgan PS, et al. Intraplaque hemorrhage in symptomatic intracranial atherosclerotic disease [J]. J Neuroimaging 2011, 21(2): e159-e161.
- [48] Xu WH, Li ML, Gao S, et al. Middle cerebral artery intraplaque hemorrhage: prevalence and clinical relevance [J]. Ann Neurol 2012, 71(2): 195-198.
- [49] Vergouwen MD, Silver FL, Mandell DM, et al. Fibrous cap enhancement in symptomatic atherosclerotic basilar artery stenosis [J]. Arch Neurol 2011, 68(5): 676.
- [50] Turan TN, Rumboldt Z, Brown TR. High-resolution MRI of basilar atherosclerosis: three-dimensional acquisition and FLAIR sequences [J]. Brain Behav 2013, 3(1): 1-3.
- [51] Song XW, Zhao XH, Liebeskind DS, et al. Incremental value of plaque enhancement in predicting stroke recurrence in symptomatic intracranial atherosclerosis [J]. Neuroradiology, 2020, 62(9): 1123-1131.
- [52] Wang WQ, Yang Q, Li DB, et al. Incremental value of plaque enhancement in patients with moderate or severe basilar artery stenosis: 3.0 T high-resolution magnetic resonance study [J]. Biomed Res Int 2017, 2017: 4281629.
- [53] Wang EL, Shao S, Li S, et al. A high-resolution MRI study of the relationship between plaque enhancement and ischemic stroke events in patients with intracranial atherosclerotic stenosis [J]. Front Neurol 2018, 9: 1154.
- [54] Lu X, Li C, Qu C, et al. A high resolution MRI study of the relationship between plaque enhancement and perforator stroke after stenting for symptomatic vertebrobasilar artery stenosis [J]. J Stroke Cerebrovasc Dis 2021, 30(3): 105558.

- [55] Wu F ,Song HQ ,Ma QF ,et al. Hyperintense plaque on intracranial vessel wall magnetic resonance imaging as a predictor of artery-to-artery embolic infarction [J]. *Stroke* 2018 ,49(4) : 905-911.
- [56] Wu F ,Ma QF ,Song HQ ,et al. Differential features of culprit intracranial atherosclerotic lesions: a whole-brain vessel wall imaging study in patients with acute ischemic stroke [J]. *J Am Heart Assoc* 2018 ,7(15) : e009705.
- [57] Ma N ,Jiang WJ ,Lou X ,et al. Arterial remodeling of advanced basilar atherosclerosis: a 3-tesla MRI study [J]. *Neurology* 2010 ,75(3) : 253-258.
- [58] Ma N ,Xu ZQ ,Lyu JH ,et al. Association of perforator stroke after basilar artery stenting with negative remodeling [J]. *Stroke* 2019 ,50(3) : 745-749.
- [59] Ryoo S ,Lee MJ ,Cha J ,et al. Differential vascular pathophysiologic types of intracranial atherosclerotic stroke: a high-resolution wall magnetic resonance imaging study [J]. *Stroke* 2015 ,46(10) : 2815-2821.
- [60] Qiao Y ,Anwar Z ,Intrapiromkul J ,et al. Patterns and implications of intracranial arterial remodeling in stroke patients [J]. *Stroke* 2016 ,47(2) : 434-440.
- [61] Zhang DF ,Chen YC ,Chen H ,et al. A high-resolution MRI study of relationship between remodeling patterns and ischemic stroke in patients with atherosclerotic middle cerebral artery stenosis [J]. *Front Aging Neurosci* 2017 ,9: 140.
- [62] Jiang WJ ,Yu W ,Ma N ,et al. High resolution MRI guided endovascular intervention of basilar artery disease [J]. *J Neurointerv Surg* 2011 ,3(4) : 375-378.
- [63] Xu WH ,Li ML ,Gao S ,et al. Plaque distribution of stenotic middle cerebral artery and its clinical relevance [J]. *Stroke* 2011 ,42(10) : 2957-2959.
- [64] Kim BJ ,Lee KM ,Kim HY ,et al. Basilar artery plaque and pontine infarction location and vascular geometry [J]. *J Stroke* 2018 ,20(1) : 92-98.
- [65] Yu J ,Li ML ,Xu YY ,et al. Plaque distribution of low-grade basilar artery atherosclerosis and its clinical relevance [J]. *BMC Neurol* 2017 ,17(1) : 8.
- [66] Mandell DM ,Mossa-Basha M ,Qiao Y ,et al. Intracranial vessel wall MRI: principles and expert consensus recommendations of the American Society of Neuroradiology [J]. *AJNR Am J Neuroradiol* 2017 ,38(2) : 218-229.
- [67] 中华医学会放射学分会 MR 学组. 颅内 MR 血管壁成像技术与应用中国专家共识 [J]. *中华放射学杂志* , 2019 ,53(12) : 1045-1059.
- [68] Li L ,Dmytriw AA ,Krings T ,et al. Visualization of the human intracranial vasa vasorum in vivo using optical coherence tomography [J]. *JAMA Neurol* 2020 ,77(7) : 903-905.
- [69] Feng Y ,Wu TX ,Wang T ,et al. Correlation between intracranial vertebral artery stenosis diameter measured by digital subtraction angiography and cross-sectional area measured by optical coherence tomography [J]. *J Neurointerv Surg* 2020. neurintsurg-2020-016835. DOI: 10. 1136/neurintsurg-2020-016835. Online ahead of print.
- [70] Wehman JC ,Holmes DR Jr ,Hanel RA ,et al. Intravascular ultrasound for intracranial angioplasty and stent placement: technical case report [J]. *Neurosurgery* 2006 ,59(4 Suppl 2) : ONSE481-ONSE483.
- [71] Soeda T ,Uemura S ,Park SJ ,et al. Incidence and clinical significance of poststent optical coherence tomography findings: one-year follow-up study from a multicenter registry [J]. *Circulation* 2015 ,132(11) : 1020-1029.
- [72] Sinclair H ,Bourantas C ,Bagnall A ,et al. OCT for the identification of vulnerable plaque in acute coronary syndrome [J]. *JACC Cardiovasc Imaging* ,2015 ,8(2) : 198-209.
- [73] 中华医学会神经病学分会. 中华医学会神经病学分会神经血管介入协作组. 中国缺血性脑血管病非急诊介入治疗术前评估专家共识 [J]. *中华内科杂志* 2020 , 59(4) : 277-285.
- [74] Nemoto EM ,Yonas H ,Chang YF. Stages and thresholds of hemodynamic failure [J]. *Stroke* 2003 ,34(1) : 2-3.
- [75] 高培毅 林燕. 脑梗死前期脑局部低灌注的 CT 灌注成像表现及分期 [J]. *中华放射学杂志* ,2003 ,37(10) : 882-886.
- [76] 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.
- [77] Lan LF ,Leng XY ,Ip V ,et al. Prolonged perfusion predicts recurrent ischemic stroke but not transient ischemic attack in patients with symptomatic intracranial stenosis [J]. *Curr Neurovasc Res* 2017 ,14(2) : 149-157.
- [78] Lan LF ,Leng XY ,Ip V ,et al. Sustaining cerebral perfusion in intracranial atherosclerotic stenosis: the roles of antegrade residual flow and leptomeningeal collateral flow [J]. *J Cereb Blood Flow Metab* 2020 ,40(1) : 126-134.
- [79] de Havenon A ,Khatri P ,Prabhakaran S ,et al. Hypoperfusion distal to anterior circulation intracranial atherosclerosis is associated with recurrent stroke [J]. *J Neuroimaging* , 2020 ,30(4) : 468-470.
- [80] 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. 中国脑血管病影像应用指南 2019 [J]. *中华神经科杂志* 2020 ,53(4) : 250-268.
- [81] 中华医学会放射学分会质量管理与安全管理学组, 中华医学会放射学分会磁共振学组. 动脉自旋标记脑灌注 MRI 技术规范应用专家共识 [J]. *中华放射学杂志* 2016 ,50(11) : 817-824.

- [82] Tian B ,Liu Q ,Wang XR ,et al. Chronic intracranial artery stenosis: comparison of whole-brain arterial spin labeling with CT perfusion [J]. Clin Imaging 2018 ,52: 252-259.
- [83] Grade M ,Hernandez Tamames JA ,Pizzini FB ,et al. A neuroradiologist's guide to arterial spin labeling MRI in clinical practice [J]. Neuroradiology 2015 ,57(12) : 1181-1202.
- [84] Liebeskind DS ,Feldmann E. Fractional flow in cerebrovascular disorders [J]. Interv Neurol 2013 ,1(2) : 87-99.
- [85] Pijls NH ,van Schaardenburgh P ,Manoharan G ,et al. Percutaneous coronary intervention of functionally nonsignificant stenosis: 5-year follow-up of the defer study [J]. J Am Coll Cardiol 2007 ,49(21) : 2105-2111.
- [86] Tonino PA ,de Bruyne B ,Pijls NH ,et al. Fractional flow reserve versus angiography for guiding percutaneous coronary intervention [J]. N Engl J Med 2009 ,360(3) : 213-224.
- [87] Dossani RH ,Waqas M ,Rai HH ,et al. Measurement of instant flow reserve to quantify functional flow limitation across stenosis in intracranial atherosclerotic disease [J]. J Neurointerv Surg 2020 ,12(12) : 1248.
- [88] Zanaty M ,Rossen JD ,Roa JA ,et al. Intracranial atherosclerosis: a disease of functional not anatomic stenosis? How trans-stenotic pressure gradients can help guide treatment [J]. Oper Neurosurg (Hagerstown) 2020 ,18(6) : 599-605.
- [89] Miao Z ,Liebeskind DS ,Lo W ,et al. Fractional flow assessment for the evaluation of intracranial atherosclerosis: a feasibility study [J]. Interv Neurol 2016 ,5(1/2) : 65-75.
- [90] Pu YH ,Jian LF ,Jeng XY ,et al. Intracranial atherosclerosis: from anatomy to pathophysiology [J]. Int J Stroke 2017 ,12(3) : 236-245.

(收稿日期: 2021-07-03)

(本文编辑: 罗春梅)

读者 · 作者 · 编者

2021 年本刊可以直接使用的常用缩略语

本刊对一些常用的词汇 ,如 CT、MRI、DSA 允许直接使用缩写;对以下常用词汇 ,可在第 1 次出现时不标注英文全称 ,即写出中文全称后 ,直接用英文缩写。见下表。

缩略语	中文全称	缩略语	中文全称	缩略语	中文全称
ACA	大脑前动脉	HE	苏木素-伊红	PSV	收缩期峰值流速
ACoA	前交通动脉	ICA	颈内动脉	PI	搏动指数
CCA	颈总动脉	IL	白细胞介素	PWI	灌注加权成像
CDFI	彩色多普勒血流显像	LDL-C	低密度脂蛋白胆固醇	rt-PA	重组组织型纤溶酶原激活剂
CRP	C 反应蛋白	MCA	大脑中动脉	SAH	蛛网膜下腔出血
CTA	CT 血管成像	MMP	基质金属蛋白酶	SPECT	单光子发射计算机体层摄影
DWI	扩散加权成像	MRA	磁共振血管成像	TC	总胆固醇
ECA	颈外动脉	mRS	改良 Rankin 量表	TCD	经颅多普勒超声
EDV	舒张期末流速	MRV	磁共振静脉成像	TG	三酰甘油
FLAIR	液体衰减反转恢复	MV	平均流速	TIA	短暂性脑缺血发作
GCS	格拉斯哥昏迷量表	NIHSS	美国国立卫生研究院卒中量表	TNF- α	肿瘤坏死因子 α
GOS	格拉斯哥预后量表	PCoA	后交通动脉	t-PA	组织型纤溶酶原激活剂
HDL-C	高密度脂蛋白胆固醇	PET	正电子发射体层摄影	WHO	世界卫生组织