

· 指南与共识 · doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2025.02.001

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.r.20250126.1700.011\(2025-01-27\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.r.20250126.1700.011(2025-01-27))

头颈部 CT 血管成像检查技术重庆专家共识

重庆市医学会影像技术分会

[摘要] 头颈部 CT 血管成像(CTA)检查具有微创、快速及可重复性强等优点,是目前观察头颈部血管解剖结构,诊断头颈部血管病变及其与临近结构关系的首选影像学方法。目前,不同层级的医疗机构在设备配备上呈现多样化,检查技术和检查方法存在较大的差异,即使是同类型的设备在各医疗机构之间操作规范、检查流程及图像后处理等方面也存在一定的差异。因此,重庆市医学会影像技术分会组织相关专家,结合文献及临床实践经验,形成该共识,旨在规范头颈部 CTA 检查技术,提高图像质量。该共识主要内容包括检查前准备、检查操作规范、图像质量控制标准、人工智能在头颈部 CTA 成像中的应用等。

[关键词] 头颈部血管;影像检查技术;头颈部 CT 血管成像;专家共识

[中图法分类号] R816.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2025)02-0281-08

Chongqing expert consensus on computed tomography angiography of head and neck vessels

Imaging Technology Branch of Chongqing Medical Association

[Abstract] Head and neck computed tomography angiography (CTA) has the advantages of minimally invasive, rapid and repeatable, and it's currently the preferred imaging modality for visualizing the vascular anatomy of the head and neck, as well as diagnosing vascular lesions in this region and their associations with neighboring structures. At present, the medical institutions at different levels are diversified in equipment, and there are great differences in inspection techniques and methods, leading to significant variations in examination techniques and methods, even with the same type of equipment, there are some differences between medical institutions in terms of operation specifications, inspection procedures and image post-processing. Hence, the Imaging Technology Branch of the Chongqing Municipal Medical Association organized the relevant experts, by combining with literatures and clinical practice experience, to form this consensus, aiming at standardizing CTA examination techniques for head and neck and improving image quality. The consensus mainly includes pre-inspection preparation, inspection operation specifications, image quality control standards, and the application of artificial intelligence in head and neck CTA imaging.

[Key words] head and neck vessels; imaging examination technology; computed tomography angiography; expert consensus

脑血管病致残、致死率高。我国脑血管病的发病率居世界首位,且近年来逐年上升,占居民死亡病因的 40%以上^[1],因此,脑血管病防治被确定为我国中长期科技发展规划纲要的重点领域^[2]。头颈部 CT 血管成像(computed tomography angiography, CTA)作为一种重要的微创血管成像技术,只需一次注射对比剂即可实现脑动脉、椎基底动脉、颈动脉的系统观察,能够清晰地显示血管的解剖结构、病变形态及与周围组织的关系。与数字减影血管造影(digital subtraction angiography, DSA)技术相比,CTA 具有快速、微创、费用低、可重复性强和动静脉多期显像等优点^[3-4],是目前观察头颈部血管解剖结构,诊断头颈部血管病变及其与邻近结构关系的首选影像学方法,为

临床制订个性化治疗方案提供了精准的客观依据。

重庆市医学会影像技术分会组织相关专家对重庆市二级及以上医疗单位(包括公立、私立)通过问卷星进行抽样调查,共收到有效问卷 88 份。数据显示,本市 92.11%(35/38)的二级医院和 100.00%(50/50)的三级医院开展了头颈部 CTA 检查项目,其中 91.34%(116/127)在 64 排及以上 CT 完成。然而,调查发现,技术操作流程、图像后处理及图像质量控制措施等尚缺乏规范性,比如扫描参数设置和对比剂注射方案缺乏统一标准、图像后处理方案多样化及缺乏全面的图像质控体系等,给受检者安全、图像同质化及影像检查结果互认等带来不利影响。因此,为规范操作流程、提高图像质量,提升本市医学影像技术的

规范化、标准化及同质化水平,进一步提升检查结果互认率,加快推进医学影像技术质量管理内涵建设,建立具有区域适用特点的头颈部 CTA 检查技术专家共识具有重要意义。

1 头颈部 CTA 检查前准备

1.1 头颈部 CTA 检查的适应证和禁忌证

1.1.1 适应证^[5-7]

(1)头颈部血管性疾病:缺血性卒中、动脉血管痉挛、血栓栓塞、动脉粥样硬化、血管狭窄、阻塞性疾病、动脉瘤、假性动脉瘤、静脉曲张、血管畸形、血管瘘、血管变异、血管炎、胶原血管病等;(2)头颈部肿瘤性疾病:头颈部鳞癌、甲状腺肿瘤、脑膜瘤等肿瘤的血供来源判断等;(3)头颈部外伤性疾病:创伤性血管损伤、外科手术前血管情况评估等;(4)术前及术后评估:血管介入手术的评估及随访等。

1.1.2 绝对禁忌证^[6,8-9]

(1)有碘对比剂过敏史;(2)甲状腺功能亢进未治愈;(3)肾功能不全(不能进行血液透析)。

1.1.3 相对禁忌证^[8-10]

(1)肺及心脏疾病:肺动脉高压、支气管哮喘、心力衰竭;(2)妊娠和哺乳期妇女;(3)骨髓瘤和巨球蛋白血症;(4)高胱氨酸尿症;(5)具有对比剂肾病高风险(如患有糖尿病且血清肌酐水平 $>177\ \mu\text{mol/L}$)。

1.2 检查前准备

1.2.1 操作者准备^[5,6,8-11]

1.2.1.1 影像技师

影像技师作为该检查的主要操作者,需具有影像技术专业理论基础,经过临床系统培训与考核取得专业资格及放射上岗证,熟练掌握头颈部 CTA 检查设备操作、扫描技术参数设置、对比剂注射方案优化等。同时,还需熟悉头颈部血管解剖结构、病理生理知识及图像后处理技术,确保检查符合临床需求,图像质量达标。

1.2.1.2 影像护士

护士是放射科开展头颈部 CTA 检查的重要成员,除了应具备护士执业资格,熟练掌握静脉穿刺和 CT 高压注射器操作外,还需深入理解增强 CT 检查中对比剂的安全使用原则、规范及禁忌证,并熟练掌握不良反应和过敏反应的急救处理流程,以及急救设备和药物的使用方法。

1.2.2 受检者准备^[5,6,8-11]

受检者应详细告知是否有过敏史;在工作人员的介绍下,了解检查的潜在风险;本人或家属签署碘对比剂使用知情同意书;知晓扫描流程及所需时间,消除紧张心理,配合检查;去除扫描区域内所有金属物与饰物,避免伪影干扰;为受检者建立静脉通道,推荐于右前臂浅静脉或肘正中静脉留置 18G 或 20G 套管

针。原则上不推荐进行碘对比剂过敏试验,其他注意事项可参考产品说明书。

1.2.3 设备/器械及药品准备

1.2.3.1 CT 设备^[6-7]

推荐使用 64 排及以上、具有亚毫米级空间分辨率的 CT 设备,64 排以下设备需将扫描时间控制在 7 s 以内。检查室的环境温度为 18~22 ℃,相对湿度为 40%~65%。保证 CT 设备稳定性检测和状态检测达标,定期做好预防性维护,按照设备操作说明书进行空气校正和 X 射线球管预热。主机和三维图像后处理工作站的硬盘应具有足够的存储空间。

1.2.3.2 CT 高压注射器^[10]

推荐使用双筒 CT 高压注射器,注射速度能够达到 2.5~7.0 mL/s。增强检查之前确认高压注射器的电源、连接管等是否处于正常状态,碘对比剂、一次性高压注射针筒、连接管等物品齐备。

1.2.3.3 碘对比剂准备^[11-13]

根据具体情况选择 320~400 mgI/mL 的对比剂,推荐使用高浓度对比剂^[14-17]。建议使用前将对对比剂加热到 37 ℃,并放置在恒温箱中,能提高患者耐受性,降低对比剂外渗和不良反应的发生风险^[14,18]。静脉注射碘对比剂的方法和风险参见《碘对比剂使用指南(第 2 版)》^[11]。

1.2.3.4 急救器械和药品^[11,19]

检查室内常规配备急救配套医疗用品,如氧气供应系统、负压吸引设备、气管穿刺装置,以及相应抢救药品,包括 1:1 000 肾上腺素、组胺 H1 受体阻滞剂(抗组胺药,如异丙嗪、苯海拉明)、地塞米松、阿托品、生理盐水或林格氏液、抗惊厥药(如地西洋)等。器械和药品专人负责保管,定期更换。

2 头颈部 CTA 检查操作规范

2.1 操作前准备

2.1.1 信息核对

检查前,认真核对受检者身份信息,仔细阅读 CT 检查申请单,明确检查目的和要求。

2.1.2 体位设计

(1)采取头先进、仰卧位,头置于头托架内、下颌稍内收,听眦线垂直于床面,两肩尽量下垂、双上肢置于体部两侧,头颈部正中矢状面与纵向激光定位线重合,外耳孔下缘与横向定位线平行;(2)在头部两侧加固泡沫塞,用压束带固定好头部、下颌部及肩部;(3)嘱受检者在检查过程中保持头颈部静止不动并平静呼吸,避免吞咽及眨眼动作,无法配合者在临床医师的指导下镇静后再行检查。

2.1.3 辐射防护

做好受检者非检查区域射线敏感部位及陪护人员的辐射防护。

2.2 定位像和扫描范围

一般采用侧位定位像,双定位像(正、侧位)可以提高扫描精度,减少误差^[20]。扫描范围从气管隆嵴下 1~2 cm 层面至颅顶。定位像参数:根据受检者体型,管电压 100~120 kVp,管电流 10~35 mAs。

2.3 扫描参数

基于定位像确定 CTA 扫描范围,包括平扫和增强扫描。平扫主要用于观察脑实质病变、脑出血、血管钙化、感兴趣区的解剖位置及扫描区域内的阳性特征^[5]。对于血管性疾病的常规复查等特定情况,平扫可以非必需,可根据临床目的调整检查方案。增强扫描时常规为顺血流方向即足头侧扫描,也可采用头足侧,可较好地避免注射侧锁骨下静脉残留的对比剂伪影,同时减少颈内静脉、颅内静脉对动脉分支的干扰^[21]。根据所使用 CT 设备的成像能力和高级迭代

重建算法,以及患者身高、体重、心功能等情况,进行个性化的参数设置。推荐参数见表 1。

2.4 注射方案^[5,22-24]

碘流率选择:碘流率为单位时间内注射的对比剂中碘的含量(gI/s),即碘流率=碘对比剂浓度(gI/mL)×注射流率(mL/s)。同等体重的受检者,动脉血管的强化程度取决于碘流率,因此推荐按照受检者体重选择不同的碘流率,推荐方案见表 2。注射用量选择:对比剂注射用量(mL)=对比剂注射流率(mL/s)×对比剂注射时间(s),由于设备类型的不同和个体差异^[25],推荐探测器宽度为 20 mm 时,对比剂注射时间为 14 s;>20~40 mm 时,注射时间为 12 s;>40~80 mm 时,注射时间为 10 s。注射对比剂前注意排空导管和注射器内空气;注射碘对比剂后,随即以相同流率注射生理盐水。

表 1 基于不同 CT 探测器宽度推荐的头颈部 CTA 扫描参数

参数	20 mm	>20~40 mm	>40~80 mm
管电压(kVp)	100~120	80~120	60~120
管电流(mAs)	150~200	200~250	250~300
转速(s/r)	≤0.5	≤0.5	≤0.5
螺距	≥1	≥1	≥1
矩阵	512×512	512×512	512×512
视场角(cm)	20~25	20~25	20~25
采集层厚(mm)	≤5	≤5	≤5
重建层厚(mm)	1~2 个探测器厚度	1~2 个探测器厚度	1~2 个探测器厚度
重建类型	标准	标准	标准
扫描时间(s)	≤7	≤6	≤5

表 2 根据患者体重推荐的不同浓度对比剂的注射流率(mL/s)

对比剂浓度	<50 kg	50~<70 kg	70~<80 kg	80~<100 kg	≥100 kg
320 mgI/mL	3.1	3.8	4.7	5.6	6.9
350 mgI/mL	2.9	3.4	4.3	5.1	6.3
370 mgI/mL	2.7	3.2	4.1	4.9	5.9
400 mgI/mL	2.5	3.0	3.8	4.5	5.5

表中数值为在使用 100 kV 管电压情况下推荐的注射流率(mL/s),如果在使用迭代重建算法的同时,采用低一级别的管电压(如 80 kV),碘流率和注射流率可以降低 20%^[24]。管电压为 100 kV 时,不同体重对应的碘流率分别为 1.0、1.2、1.5、1.8、2.2 gI/s。

2.5 扫描触发时间的选择

2.5.1 小剂量团注测试法(test-bolus)^[26-27]

选取颈 4/5 椎体水平层面作为监测层面,以个性化注射流率注射 1~2 s 对比剂后以相同流率继续注射生理盐水 30 mL,测试监测层面颈内动脉的时间密度曲线,将峰值时间加 4~6 s 的经验值设置为诊断延迟时间。该方法不足之处在于需要注射两次对比剂,增加了对比剂用量、辐射剂量和操作时间。但是如果受检者颈动脉狭窄严重或钙化明显导致颈动脉显示

不清,或为减少锁骨下静脉残留对比剂的影响时,推荐使用该技术^[28]。

2.5.2 对比剂团注追踪法(bolus-tracking)^[25,29-30]

选取主动脉弓为监测层面,阈值为 150~200 HU,当注射对比剂 8~12 s 后开始监测,达到阈值后 2~6 s 启动扫描。该方法避免了二次对比剂注射,且在辐射剂量和耗时方面优于小剂量团注测试法,故推荐作为常规方法。

2.5.3 延迟扫描^[5-6]

对于头颈部占位性病变,如富血供肿瘤(如脑膜瘤、血管母细胞瘤及颈静脉球瘤等)或动静脉畸形等,动脉期扫描后建议行延迟扫描(60 s 的静脉期和 180 s 的延迟期),以明确病变的范围、血供、强化程度、特点及其与周围组织之间的关系等。

2.6 图像重建和重组

2.6.1 原始图像的重建

增强图像的重建层厚采用设备 1 或 2 个探测器厚度(≤ 1.25 mm),以保证 CTA 重组质量。常规选择标准重建算法,如遇金属置入术后检查应选择金属伪影减少(metal artifact reduction, MAR)算法^[31-34],如单能量 MAR(single energy MAR, SEMAR)、骨科植入物 MAR(orthopedic MAR, O-MAR)、迭代 MAR(iterative MAR, iMAR)及智能 MAR(smart MAR)等,可减少硬化线束伪影,改善图像质量。

原始图像重建完成后,操作技师应在受检者下床前严格审核检查质量,包括图像质量、扫描部位和范围是否正确等,初步判定能否达到检查目的、满足诊断要求和临床需求。

2.6.2 三维图像后处理技术及图像重组

2.6.2.1 后处理技术

常用的后处理技术包括:容积再现(volume rendering, VR)、最大密度投影(maximum intensity projection, MIP)、曲面重组(curved projection reformation, CPR)、多平面重组(multiplanar reformation, MPR)。VR 主要用于三维立体观察血管情况,可多方位、直观显示靶血管与周围组织器官的空间解剖关系。MIP 主要显示高密度的血管,包括整体与薄层(层厚可选择)2 种方式。CPR 能追踪血管路径,允许以血管中心为轴的多角度旋转观察,直观呈现血管的管腔状况、形态和变异、斑块性质及血管狭窄的程度和长度,可进行斑块分析和狭窄率测量。MPR 可重组出冠状面、矢状面或任意层面的图像,多角度、多方位显示靶血管的结构与形态,真实反映钙化斑块垂直断面和管腔狭窄的程度。

2.6.2.2 图像重组规范

先浏览原始图像,观察头颈部动脉及分支的大致走行、形态及分布等情况,进行常规 MIP 和 VR 显示,若发现可疑病变,在常规后处理基础上,对病变部位、范围、邻近组织情况进行多方位 MPR、CPR、MIP、VR 显示及相关测量。

推荐采用带骨 VR 和去骨 VR,前者可清晰显示血管与组织周围的关系,后者则进一步凸显血管结构。从正前、正后、左侧、右侧及颅顶位等多个角度保存图像,分别展示颈动脉系统、椎动脉系统、Willis 环、大脑前动脉、大脑中动脉、大脑后动脉及其分支。每

个方位保存 VR 和 MIP 图像,VR 提供直观的三维视野,而 MIP 具有良好的密度分辨率,可以从表面到内部全面显示血管形态和充盈缺损。

对于管腔较宽、分支较少的颈(内)动脉系统和椎动脉系统,推荐采用 CPR 技术。每支血管保存曲面 CPR 和拉直图像,便于观察血管腔内附壁血栓、准确测量狭窄程度(面积和直径)及狭窄段长度。

对于颅内段血管分支的特写,推荐采用 MIP 技术。根据诊断需要可选择任意层厚,并增加左右侧斜位进行图像保存,同时进行局部放大,重点展示大脑上动脉、大脑后动脉、大脑中动脉 M1~5 段、胼胝体动脉、豆纹动脉、前后交通动脉、大脑深静脉、矢状窦等。

2.6.2.3 血管狭窄性疾病重组要点^[35]

推荐 VR 放大显示,对于狭窄处细节,采用 MIP 或 MPR 技术,MPR 尤其适用于夹层、动脉瘤及动脉管腔狭窄伴钙化等病变的观察。对于颈(内)动脉系统、椎动脉系统等通畅情况,使用 CPR 技术显示血管内外斑块、充盈缺损和支架状态。MIP 则主要用于显示周围血管通畅性和侧支循环,帮助评估血栓范围。

2.6.2.4 脑动静脉畸形(arterio-venous malformation, AVM)重组要点

以 VR 技术为主,重点显示畸形血管、供血动脉、引流静脉与周围组织的三维空间关系;MIP 补充显示畸形血管巢与其流入动脉、流出静脉及邻近血管之间的关系。MIP 技术相较于 VR 具有更高的密度分辨率,但空间分辨率不如 VR,二者应相互补充说明。可通过 MPR 或 MIP 技术显示动脉瘘口的起始位置。

2.6.2.5 颅内动脉瘤(intracranial aneurysm, IA)及颅外段颈动脉瘤(extracranial carotid artery aneurysm, ECAA)重组要点^[36]

对动脉瘤以带骨 VR 和去骨 VR 图像为主,重点显示动脉瘤的位置、形态、瘤颈与载瘤动脉的关系、周围颅骨的三维空间关系及前后交通、周围侧支开放情况,并模拟手术体位视角,有利于临床医师确定最佳手术路径。对于动脉瘤的大小、瘤颈/瘤体比等关键径线测量,建议在 MPR 图像上进行,以确保准确性。此外,为了获取动脉瘤的最佳展示效果,可以使用一定薄层 MIP(10 mm 以下)进行局部特写,挑选出显示动脉瘤及其载瘤动脉长轴切线位的最佳位置进行特写图像保存。

2.6.2.6 肿瘤性疾病重组要点^[37]

3D 可视化融合技术通过将肿瘤与动脉、静脉进行融合,运用不同透明度和色彩来精确区分不同组织,并通过多角度图像保存,为图像赋予丰富的层次感和角度感。依据病变的具体位置与血供特点,选择合适的视角进行存图,例如,在处理颅顶脑膜瘤时,推荐采用下切上视斜位,以清晰地展示大脑深静脉、上

矢状窦及其分支与肿瘤之间的关联;而对于桥小脑角区、鞍区或颅底占位性病变,则建议采用上切上视斜位,以便暴露大脑中动脉、Willis 环、颈静脉乙状窦等血管与肿瘤的关联。此外,薄层 MIP 可以清晰地观察到肿瘤与血管的关系。结合 MPR 或 MIP 技术,特写显示颅骨骨质破坏情况,比如垂体瘤、斜坡区、岩尖部肿瘤。

2.6.2.7 外伤性疾病重组要点^[38]

重点是显示头颈部组织的损伤情况,比如血管破裂、骨折、脑组织挫伤、血肿等。建议使用的重组技术包括 VR、MPR 及 MIP,重点关注复杂外伤区域的组织间关系,其中三维可视化重组对复杂性颅脑损伤的治疗意义重大,对于多组织的损伤评估,VR 融合技术凭借其卓越的空间再现能力,能够全面而精准地呈现损伤状态。而在颅底骨折及颌面部不规则骨骨折的诊断中,推荐采用分辨率较高的 MPR 和薄层 MIP 技术。此外,CPR 技术在展示血管壁损伤方面展现出独特的优势,为临床提供了更为准确的诊断依据。

2.6.2.8 图像保存

建议将扫描后重建薄层图像和重组后处理图像推送至图片存档及通信系统 (picture archiving and communication system, PACS) 保存。鉴于重庆市二甲以上医疗单位均已实现影像互认和云存储,推荐选择代表性重组图像和薄层图像推送至重庆市卫生健康委影像云平台。

2.7 低剂量扫描技术

根据辐射防护最低的合理辐射 (as low as reasonably achievable, ALARA) 原则,采用低剂量扫描技术需结合设备本身性能和受检者基础条件,优化扫描技术参数,多种技术结合,在满足诊断的前提下尽量降低辐射剂量。

2.7.1 降低管电压^[39-41]

管电压降低虽然使辐射剂量下降,但是降低了 X 射线穿透力,使吸收辐射比例增加,导致图像质量下降。因此,在低剂量 CT 扫描中要考虑图像质量与辐射剂量的平衡。有研究报道,低剂量 (80 kV, 250 mA) 的头颈部 CTA 与常规剂量 (120 kV, 250 mA) 图像质量无差异^[42],并可以降低 40% 以上的辐射剂量^[43]。

2.7.2 降低管电流^[44-45]

降低管电流是目前降低辐射剂量的主要方式,自动管电流调制技术联合器官剂量调制技术有更好的效果。

2.7.3 大螺距扫描^[42,46]

大螺距扫描技术能够明显缩短扫描时间,搭配合适的重建算法,可以在保证图像质量的同时,减少患者的辐射剂量。

2.7.4 使用迭代算法或深度学习算法重建^[47-49]

采用迭代算法或深度学习算法替代以往的滤波反投影算法,可抑制噪声,从而在降低辐射剂量的同时获得较高的图像质量。

2.7.5 能量 CT 技术^[50-51]

采用能量 CT 扫描可以获得虚拟平扫 (virtual non contrast, VNC) 图像和虚拟单能谱图像 (virtual monoenergetic image, VMI), VNC 可用于降低辐射剂量,还能去除钙化及骨骼对于血管观察的影响,有利于观察不稳定性斑块。而 VMI 可用于降低对比剂用量和减少线束硬化伪影,主要用于减少动脉瘤栓塞术后的金属弹簧圈或动脉瘤夹金属伪影,提高图像质量。

3 图像质量控制标准

3.1 主观评价

3.1.1 原始图像质量^[5-6]

(1) 清晰显示大脑前、中、后动脉,基底动脉,前、后交通动脉,主动脉弓、头臂干,左颈总动脉和左锁骨下动脉;(2) 清晰显示颈内动脉、椎动脉颅内段、颈总动脉、椎动脉起始段的走行和充盈缺损情况;(3) 清晰显示头颈部动脉与邻近器官的位置关系,颅内静脉高浓度对比剂伪影对 Willis 环不产生明显影响;(4) 右侧锁骨下静脉高浓度对比剂伪影对头臂干的显示不产生明显影响;(5) 无明显运动伪影影响。

3.1.2 重组图像质量^[52]

(1) 无假牙等金属异物产生的明显影响动脉显示效果的线束硬化伪影;(2) 无呼吸、吞咽等造成的运动伪影;(3) MPR、VR、MIP、CPR 等多种图像后处理方法对头部动脉显示清晰,血管显示完整,周围无杂质干扰,血管表面光滑,无过度减影;(4) CPR 影像重组层面应置于血管管径中心,且以不同角度旋转,管径及腔内病变显示清晰;(5) VR 图像中血管边界平滑,与 MPR 图像中的动脉边界相符合。

3.2 客观评价^[5-6]

(1) 扫描区域内头部动脉的横断面影像 CT 值不低于 200 HU,颈部动脉的横断面影像 CT 值在 300~350 HU 范围内;(2) 扫描区域内颅内静脉的横断面影像 CT 值不超过 150 HU,颈部静脉的横断面影像 CT 值不超过 150 HU。

3.3 辐射剂量

参考国家职业卫生标准 (GBZ 130—2020) 和行业标准 (WS/T 391—2024),推荐将辐射剂量控制在 50% 水平及以下,即总辐射剂量 (DLP) $\leq 1\ 400$ mGy·cm,容积 CT 剂量指数 (CTDIvol) ≤ 35 mGy。

4 人工智能 (artificial intelligence, AI) 在头颈部 CTA 中的应用

AI 辅助诊断系统能自动识别血管、分割血管、提

取病灶等,在卒中分析、头颈血管狭窄性分析(包括斑块性质分析、狭窄程度分级、评估侧支循环)、颅内动脉瘤筛查等方面灵敏度和准确性较高,能帮助及时发现情况危急的受检者,提高诊断时效的同时也有效降低动脉瘤漏诊率^[53-54]。目前已有成熟的辅助诊断系统应用于临床,其诊断结果得到中国放射诊断专家的共识认可^[55-57]。推荐影像技师提供规范、标准的 CTA 图像,便于 AI 系统能精确处理图像,保证输出结果的高准确度^[58]。

5 总结与展望

头颈部 CTA 是头颈部血管相关性疾病临床诊断与评估的重要微创检查手段。重庆市头颈部 CTA 检查仍有较大发展空间,本共识就头颈部 CTA 检查的规范化操作内容进行了较为详尽的阐述,根据设备性能、受检者基本情况、对比剂浓度等,优化扫描技术参数,以在图像质量满足诊断的前提下降低辐射剂量和对比剂用量,提升检查效益。

执笔人:张德川(重庆市中医院);陈维娟(重庆医科大学附属第二医院);魏森(重庆医科大学附属第一医院);张志伟[△](重庆医科大学附属第一医院)

共识撰写组成员(按姓氏拼音排序):毕朝虎(重庆医药高等专科学校附属第一医院);陈家飞[陆军军医大学第一附属医院(西南医院)];陈江(重庆市黔江区中医院);陈金华(重庆医科大学附属第二医院);陈思浩(重庆医科大学附属大学城医院);陈伟[陆军军医大学第一附属医院(西南医院)];戴鑫(重庆市公共卫生医疗救治中心);范小涛(重庆市丰都县人民医院);方玉(重庆市中医院);桂爽(重庆大学附属黔江医院);何玲(重庆医科大学附属儿童医院);何晓静(重庆医科大学附属第二医院);胡吉学[广州中医药大学第一附属医院重庆医院(重庆市北碚区中医院)];黄兴涛(重庆市第五人民医院);李信友(重庆医科大学附属第一医院);林檬(重庆大学附属肿瘤医院);刘波(重庆医科大学附属儿童医院);刘文罡(重庆医科大学附属永川医院);刘云昇(重庆市垫江县中医院);卢小军[重庆市人民医院(重庆大学附属人民医院)];吕发金(重庆医科大学附属第一医院);皮广东(重庆市长寿区人民医院);沈国洪(重庆市合川区人民医院);汤伟(重庆大学附属涪陵医院);王爽(陆军军医大学第二附属医院);韦鑫(重庆医科大学附属第二医院);温云(重庆大学附属三峡医院);吴家会(重庆医科大学附属第一医院);熊德斗(重庆市万州区上海医院);杨华(重庆市中医院);杨荟平(重庆市中医院);禹智波(陆军第九五八医院);曾国飞(重庆市中医院);曾勇明(重庆市宏仁一医院);张久权(重

庆大学附属肿瘤医院);张乐天[陆军军医大学陆军特色医学中心(大坪医院)];张秀富(重庆大学附属江津医院);周帮建(重庆市大足区人民医院);周代全(重庆医科大学附属第三医院)

参考文献

- [1] WU S, WU B, LIU M, et al. Stroke in China: advances and challenges in epidemiology, prevention, and management[J]. *Lancet Neurol*, 2019, 18(4):394-405.
- [2] 中共中央, 国务院. “健康中国 2030”规划纲要[EB/OL]. (2016-10-25)[2024-08-20]. https://www.gov.cn/zhengce/2016-10/25/content_51-24174.htm.
- [3] EI-BADRAWY A, KHEDR D, MANSOUR M, et al. Multidetector computed tomography (MDCT) angiography in the evaluation of external carotid artery[J]. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg*, 2023, 124(1S):101348.
- [4] SAXENA A, NG E, LIM S T. Imaging modalities to diagnose carotid artery stenosis: progress and prospect[J]. *Biomed Eng Online*, 2019, 18(1):66.
- [5] 中华医学会放射学分会. 头颈部 CT 血管成像扫描方案与注射方案专家共识[J]. *中华放射学杂志*, 2019, 53(2):81-87.
- [6] 中华医学会影像技术分会. 急性脑卒中多层螺旋 CT 检查技术专家共识[J]. *中华放射学杂志*, 2020, 54(9):839-845.
- [7] 中国神经科学学会神经损伤与修复分会, 卫健委脑卒中防治工程委员会专家委员会, 中国卒中学会急救医学分会. 移动 CT 脑血管造影技术操作专家共识 2020[J/CD]. *中华神经创伤外科电子杂志*, 2020, 6(2):76-80.
- [8] 中华医学会影像技术分会. 急性胸痛三联征多层螺旋 CT 检查技术专家共识[J]. *中华放射学杂志*, 2021, 55(1):12-18.
- [9] 王怡宁, 吕滨, 曹剑. 冠状动脉 CT 血管成像扫描与报告书写专家共识[J]. *协和医学杂志*, 2019, 10(1):23-30.
- [10] 中华医学会放射学分会, 下肢动脉 CTA 扫描技术专家共识协作组. 下肢动脉 CT 血管成像扫描技术专家共识[J]. *中华放射学杂志*, 2019, 53(2):88-92.
- [11] 中华医学会放射学分会对比剂安全使用工作组. 碘对比剂使用指南(第 2 版)[J]. *中华医学杂*

- 志, 2014, 94(43): 3363-3369.
- [12] 邱海燕, 王羚入, 李建洁, 等. 332 683 例 CT 增强检查患者非离子碘对比剂急性不良反应情况及其影响因素分析[J]. 陆军军医大学学报, 2023, 45(3): 257-264.
- [13] 孙存娟, 阚宏, 童敏, 等. 碘对比剂恒温箱加热对 CT 增强扫描不良反应、检查舒适度和图像质量的影响[J]. 川北医学院学报, 2022, 37(7): 943-946.
- [14] 石倩倩, 陈伟彬. 低管电压联合高浓度低流率对比剂注射方案颈动脉 CTA 的可行性分析[J]. 放射学实践, 2021, 36(2): 258-261.
- [15] 周伟, 石倩倩, 李盖, 等. 高浓度低流速对比剂联合低管电压方案行腹部 CT 血管成像的可行性[J]. 中国临床解剖学杂志, 2024, 42(1): 99-103.
- [16] 中华医学会放射学分会腹部学组. 碘美普尔(碘浓度 400 mg/mL)肝脏 CT 应用专家共识[J]. 中华放射学杂志, 2020, 54(1): 3-9.
- [17] 朱正, 赵心明. 高浓度碘对比剂碘美普尔(400 mg/mL)在腹部的应用[J]. 中华放射学杂志, 2020, 54(5): 385-388.
- [18] DAVENPORT M S, WANG C L, BASHIR M R, et al. Rate of contrast material extravasations and allergic-like reactions: effect of extrinsic warming of low-osmolality iodinated CT contrast material to 37 degrees C[J]. *Radiology*, 2012, 262(2): 475-484.
- [19] 中华医学会放射学分会心胸学组, 《中华放射学杂志》心脏冠状动脉多排 CT 临床应用指南写作专家组. 心脏冠状动脉 CT 血管成像技术规范应用中国指南[J]. 中华放射学杂志, 2017, 51(10): 732-743.
- [20] 梁卡丽, 戴贵东, 杨琴. 精准体表定位扫描在头颈部 CTA 检查中的应用价值[J]. 中国中西医结合影像学杂志, 2022, 20(5): 411-413, 417.
- [21] 梁卡丽, 杨琴. 不同扫描方向在头颈部联合 CT 血管造影中的应用[J]. 浙江临床医学, 2022, 24(9): 1383-1384, 1390.
- [22] LELL M M, ULRIKE F, HUBERTUS P, et al. Relationship between low tube voltage (70 kV) and the iodine delivery rate (IDR) in CT angiography: an experimental in-vivo study [J]. *PLoS One*, 2017, 12(3): e0173592.
- [23] 李美然, 彭朋, 蒋涛. 碘流率和造影剂用量在肥胖患者颈动脉 CTA 中对图像质量的影响[J]. 中国医疗设备, 2018, 33(11): 66-69.
- [24] WANG Y, CHEN Y, LIU P, et al. Clinical effectiveness of contrast medium injection protocols for 80 kV coronary and craniocervical CT angiography—a prospective multicenter observational study[J]. *Eur Radiol*, 2022, 32(6): 3808-3818.
- [25] 冯晨, 方玉, 张德川, 等. 头颈 CTA 达峰时间相关因素的分析研究[J]. *CT 理论与应用研究*, 2021, 30(6): 727-733.
- [26] 张德川, 岳伟东. 智能跟踪与数字减影结合扫描方法在 CT 脑血管造影中的应用[J]. *重庆医学*, 2015, 43(23): 3045-3047.
- [27] 陶黎, 刘传, 黄扬, 等. 小剂量团注测试技术在头颈部宝石 CTA 中的应用[J]. *重庆医学*, 2017, 46(3): 347-348, 352.
- [28] 刘志强, 林进丽, 罗庆禄, 等. Test Bolus 法与 Bolus Tracking 法在头颈 CTA 中的对比研究[J]. *中国 CT 和 MRI 杂志*, 2022, 20(11): 20-22.
- [29] 谢孟臻, 吴斌, 刘于宝, 等. 超低对比剂剂量和流率在头颈部 CT 血管造影中的应用[J]. *中国医学物理学杂志*, 2022, 39(9): 1128-1132.
- [30] 石倩倩, 陈伟彬. 低管电压联合高浓度低流率对比剂注射方案颈动脉 CTA 的可行性分析[J]. *放射学实践*, 2021, 36(2): 258-261.
- [31] 胡亚辉, 吴月, 张新伟, 等. 单能量去金属伪影算法在心脏起搏器中去伪影效果评价[J]. *中国医学计算机成像杂志*, 2024, 30(2): 186-190.
- [32] 宋殿行, 郭鹏, 王玉琦, 等. O-MAR 重组在减少颅内动脉瘤弹簧圈栓塞术后金属伪影的价值[J]. *临床放射学杂志*, 2020, 39(3): 592-595.
- [33] 彭刚, 张志伟, 郁斌, 等. 不同 CT 扫描参数与迭代去金属伪影算法效果的相关性[J]. *中国医学影像技术*, 2020, 36(4): 601-605.
- [34] 唐丽, 刘星, 侯平, 等. 深度学习重建联合 Smart 去金属伪影算法对颈部 CT 图像中口腔金属植入物伪影的影响[J]. *中国医学影像技术*, 2023, 39(11): 1731-1735.
- [35] 彭新壹, 余佳强, 刘玉凯, 等. 头颈部 CTA 联合人工智能对缺血性脑卒中受检者的图像质量研究[J]. *生物医学工程与临床*, 2023, 27(4): 471-475.
- [36] 苏慧, 黄舒心, 吴玥, 等. 3D-Slicer 重建 CTA 在颅内动脉瘤夹闭术后随访中的应用[J]. *中国 CT 和 MRI 杂志*, 2024, 22(3): 9-11.
- [37] 刘运超, 邢红岩, 李亚斌, 等. 三维 CT 血管造影和 MRI 对颅内肿瘤术前的诊断价值[J]. *华南国防医学杂志*, 2022, 36(2): 147-149.
- [38] 周坦峰, 吴伟. 16 排螺旋 CT 诊断外伤性颈动脉海绵窦瘘的价值[J]. *中国实用神经疾病杂志*, 2015, 18(18): 40-41.
- [39] SPEARMAN J V, SCHOEPF U J, ROTTEN-

- KOLBER M, et al. Effect of automated attenuation-based tube voltage selection on radiation dose at CT: an observational study on global scale[J]. *Radiology*, 2016, 279(1): 167-174.
- [40] LUO S, ZHANG L J, MEINEL F G, et al. Low tube voltage and low contrast material volume cerebral CT angiography[J]. *Eur Radiol*, 2014, 24(7): 1677-1685.
- [41] CHEN Y, ZHANG X, XUE H, et al. Head and neck angiography at 70 kVp with a third-generation dual-source CT system in patients: comparison with 100 kVp [J]. *Neuroradiology*, 2017, 59(11): 1071-1081.
- [42] 刘笑言. 头颈部 CTA 中低剂量 CT 扫描技术的应用评价[J]. *影像研究与医学应用*, 2021, 5(3): 231-232.
- [43] NI Q Q, CHEN G Z, SCHOEPF U J, et al. Cerebral CTA with low tube voltage and low contrast material volume for detection of intracranial aneurysms[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2016, 37(10): 1774-1780.
- [44] MANGOLD S, WICHMANN J L, SCHOEPF U J, et al. Automated tube voltage selection for radiation dose and contrast medium reduction at coronary CT angiography using 3(rd) generation dual-source CT[J]. *Eur Radiol*, 2016, 26(10): 3608-3616.
- [45] 张永县, 牛延涛, 刘丹丹, 等. 管电压联合器官剂量调制技术对胸部 CT 辐射剂量和图像质量影响的模体研究[J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2019, 39(7): 529-533.
- [46] 郑小丹, 李蛟, 胡军武, 等. 低管电压、低对比剂用量和大螺距在双期减影头颈血管 CTA 中的运用[J]. *放射学实践*, 2019, 34(11): 5.
- [47] 樊敏, 袁元, 程巍, 等. 高强度深度学习重建算法对双低剂量头颈部 CTA 图像质量的影响[J]. *四川医学*, 2023, 44(6): 634-639.
- [48] 樊敏, 袁元, 程巍, 等. 高速率生理盐水联合高强度深度学习重建算法对“三低”头颈部 CTA 图像质量的影响[J]. *中国医疗设备*, 2023, 38(7): 90-95.
- [49] 王国选, 李玲, 曹若瑶, 等. 全模型迭代算法在低剂量头颈 CT 血管成像中的优势[J]. *中国医学影像学杂志*, 2023, 31(1): 77-81, 86.
- [50] 中华医学会放射学分会, 中国医师协会放射医师分会, 安徽省影像临床医学研究中心. 能量 CT 临床应用中国专家共识[J]. *中华放射学杂志*, 2022, 56(5): 476-487.
- [51] 李文超, 李强, 李晨光, 等. 能谱 CT 最佳单能量技术、多模型迭代重建算法及虚拟平扫联合应用在头颈 CTA 应用研究[J]. *中国 CT 和 MRI 杂志*, 2023, 21(12): 38-41.
- [52] 龚启慧, 张志伟, 蔡焰, 等. Vitrea 工作站三种头颈 CTA 减影技术效果对比及临床应用价值[J]. *中国医学计算机成像杂志*, 2021, 27(6): 558-565.
- [53] 方磊, 方慧, 夏美燕, 等. 人工智能后处理在“双低”头颈部 CT 血管成像中的应用[J]. *中国医学计算机成像杂志*, 2023, 29(5): 488-492.
- [54] WEI X, JIANG J, CAO W, et al. Artificial intelligence assistance improves the accuracy and efficiency of intracranial aneurysm detection with CT angiography[J]. *Eur J Radiol*, 2022, 149: 110169.
- [55] 邓昊, 韦鑫, 曹闻挺, 等. AI 辅助头颈 CTA 在诊断颅内动脉瘤中的应用[J]. *第三军医大学学报*, 2021, 43(12): 1179-1184.
- [56] YANG Y, HUAN X, GUO D, et al. Performance of deep learning-based autodetection of arterial stenosis on head and neck CT angiography: an independent external validation study[J]. *Radiol Med*, 2023, 128(9): 1103-1115.
- [57] SHI Z, HU B, LU M, et al. Assessing the impact of an artificial intelligence-based model for intracranial aneurysm detection in CT angiography on patient diagnosis and outcomes (IDEAL Study): a protocol for a multicenter, double-blinded randomized controlled trial[J]. *Trials*, 2024, 25(1): 358.
- [58] 王勇, 武汉忠, 常燕翔, 等. 人工智能辅助头颈部电子计算机断层扫描血管成像在颅内动脉瘤诊断中的应用[J/CD]. *现代医学与健康研究电子杂志*, 2024, 8(6): 95-98.

(收稿日期: 2024-09-08 修回日期: 2024-12-25)

(编辑: 成卓)