

# 脑心联合 CT 血管成像规范化应用专家共识

中华医学会放射学分会对比剂使用和安全工作组 中华医学会放射学分会心胸学组  
中华医学会放射学分会神经学组

通信作者:刘士远,海军军医大学第二附属医院放射诊断科,上海 200003, Email: cjr.liushiyuan@vip.163.com; 陈敏,北京医院放射科,北京 100730, Email: cjr.chenmin@vip.163.com; 洪楠,北京大学人民医院放射科,北京 100044, Email: hongnan@bjmu.edu.cn; 卢洁,首都医科大学宣武医院放射与核医学科,北京 100053, Email: imaginglu@hotmail.com

**【摘要】** 脑血管疾病与心血管疾病发病率和共患率逐年升高,严重危害国民健康。随着高性能 CT 设备的发展,脑心联合 CT 血管成像(CTA)技术已成为全面、精准评估脑心血管共患疾病的重要工具,其应用价值已被证实,但在临床实践中仍存在如何选择适应证、规范扫描方法和对比剂使用等问题。因此,中华医学会放射学分会对比剂使用和安全工作组、神经学组、心胸学组组织相关影像学专家及神经内科、心脏科专家,结合临床应用经验以及参考国内外文献,共同对脑心联合 CTA 检查扫描、对比剂注射、图像后处理和分析以及诊断报告书写等内容达成共识,旨在促进和推动脑心联合 CTA 检查的规范应用,提升脑心血管共患疾病的诊疗水平。

**【关键词】** 颈动脉; 冠状动脉; 体层摄影术,X线计算机; 血管造影术  
**基金项目:**国家自然科学基金重点项目(82130058)

## Expert consensus on the standardized application of cerebral and carotid combined coronary CT angiography

Contrast Agent Use and Safety Working Group of Chinese Society of Radiology Chinese Medical Association, Cardiothoracic Group of Chinese Society of Radiology Chinese Medical Association, Neurology Group of Chinese Society of Radiology Chinese Medical Association

Corresponding author: Liu Shiyuan, Department of Radiology, the Second Affiliated Hospital of Naval Medical University, Shanghai 200003, China, Email: cjr.liushiyuan@vip.163.com; Chen Min, Department of Radiology, Beijing Hospital, Beijing 100730, China, Email: cjr.chenmin@vip.163.com; Hong Nan, Department of Radiology, Peking University People's Hospital, Beijing 100044, China, Email: hongnan@bjmu.edu.cn; Lu Jie, Department of Radiology and Nuclear Medicine, Xuanwu Hospital, Capital Medical University, Beijing 100053, China, Email: imaginglu@hotmail.com

脑心血管性疾病患病率、致残率和病死率高,疾病负担重,对医疗资源消耗巨大。根据《中国心血管健康与疾病报告 2023》的数据,中国心脑血管疾病现患病人约 3.3 亿,其中脑卒中 1 300 万,冠状动脉硬化性心脏病(冠心病)1 139 万,严重危害

国民健康<sup>[1]</sup>。动脉粥样硬化是脑心血管性疾病的重要病因,随疾病进展导致血管管腔狭窄或斑块破裂形成栓塞,累及头颈动脉发生缺血性脑卒中;累及冠状动脉发生冠心病;两者常合并存在,称为脑心血管共患疾病<sup>[2]</sup>。脑心血管共患疾病具有相似

DOI: 10.3760/cma.j.cn112149-20241119-00687

收稿日期 2024-11-19 本文编辑 史晓娟

引用本文:中华医学会放射学分会对比剂使用和安全工作组,中华医学会放射学分会心胸学组,中华医学会放射学分会神经学组.脑心联合 CT 血管成像规范化应用专家共识[J].中华放射学杂志,2025,59(2):135-146. DOI: 10.3760/cma.j.cn112149-20241119-00687.



的危险因素、病理学改变,因此预防措施和诊治方法相同<sup>[3]</sup>。研究发现缺血性脑卒中患者约 66.8% 合并冠状动脉粥样硬化,冠心病患者约 20% 合并颈动脉粥样硬化<sup>[4-5]</sup>。脑心血管共患疾病患者预后不良,5 年死亡率显著高于单独缺血性脑卒中(25.3% 和 18.5%)或冠心病(13.1% 和 9.2%)患者<sup>[6-7]</sup>。

目前,CT 血管成像(CT angiography, CTA)具有无创、操作简便、血管显示清晰的优势,已成为诊断缺血性脑血管病和冠心病的主要技术手段,并可显著提升诊断准确度。临床上头颈动脉 CTA 与冠状动脉 CTA 检查通常需要分次扫描,不仅延长患者的检查与就诊时间,降低诊疗效率,并且增加了对比剂的总体使用量及辐射剂量,导致应用受限。随着 CT 设备的发展,机架旋转速度(由 1 s/圈提升至 0.23 s/圈)和探测器排数(覆盖范围由 4 cm 扩大至 16 cm)不断增加,X 线球管的性能提升,时间分辨率和扫描速度显著提高,单次注射对比剂即可完成脑心联合 CTA 检查,为临床提供了更全面、更高效、更精准的血管评估手段。然而,尽管脑心联合 CTA 检查已逐步应用于临床,但对于联合扫描的适应人群、扫描前准备、扫描方案等,尚无统一标准;脑心联合 CTA 的扫描质量、图像解读及报告书写亦存在明显差异<sup>[8-11]</sup>。因此,中华医学会放射学分会对比剂使用和安全工作组、神经学组、心胸学组组织影像科、神经内科、心脏科等领域的专家,基于临床实践经验及现有文献证据,遵循循证医学原则,进行深入研讨和论证,共同制定本专家共识,旨在为临床工作者提供更科学规范的指导,以优化脑心联合 CTA 检查的实施。

### 一、脑心联合 CTA 检查的优势和适应人群

#### (一)脑心联合 CTA 检查的优势

与临床常规头颈动脉和冠状动脉 CTA 分次检查相比,脑心联合 CTA 检查具有以下优势:

1. 检查效率高:脑心联合 CTA 检查流程简便快捷,尤其是采用双源 CT 大螺距扫描技术,可将成像时间缩短至亚秒级 $[(0.75\pm 0.06)\text{s}]$ ,显著提升检查效率,简化就诊流程,提高患者的依从性<sup>[12]</sup>。

2. 对比剂用量少:脑心联合 CTA 的对比剂用量为 45~75 ml,明显少于分次检查的 95~120 ml,既减轻肾脏负担,又降低了对比剂不良反应的风险<sup>[13-15]</sup>。

3. 辐射剂量低:脑心联合 CTA 检查相比分次检查能够大幅降低辐射剂量,如第三代双源 CT 脑心联合 CTA 的辐射剂量仅为 $(0.89\pm 0.06)\text{mSv}$ ,较分次

检查降低约 83.2%<sup>[12]</sup>。

#### (二)脑心联合 CTA 检查的适应证与禁忌证

1. 适应证:(1)患者同时存在冠状动脉及颈动脉缺血症状;(2)高度怀疑存在多血管床动脉粥样硬化,需明确诊断以指导干预措施;(3)可疑心源性脑卒中和血栓栓塞;(4)脑心血管疾病外科手术前的血管状况评估;(5)已知多血管床病变的定期随访、病变进展评估。

2. 禁忌证:(1)严重的碘对比剂不良反应史;(2)严重心、肝、肾功能不全;(3)未控制的活动性甲状腺功能亢进(游离三碘甲状腺原氨酸、游离四碘甲状腺原氨酸显著升高,促甲状腺激素降低,伴典型症状且药物无效);(4)一般状态差,无法配合扫描;(5)临床医师认为不适合进行检查的其他情况。

补充说明:有甲状腺功能亢进症病史的患者应用碘对比剂后可能发生甲状腺毒症,尽管此类并发症罕见。国内外指南(如美国放射学会)不推荐仅根据病史限制使用对比剂或进行预处理。然而,对于甲状腺危象患者,某些碘对比剂仍为禁忌。如果此类患者确需进行 CT 增强检查,建议选择具甲状腺功能亢进禁忌证的碘对比剂(如碘美普尔),以规避超适应证用药的合规风险。

**关键建议:**脑心联合 CTA 相较分次检查,具有检查效率高、对比剂用量少和辐射剂量低的显著优势,有助于简化流程、提高患者依从性并降低相关风险,尤其适用于存在心脑血管性疾病症状或多血管床病变患者。

### 二、检查前准备

脑心联合 CTA 检查前的准备工作需细致严谨,否则直接影响检查速度、质量和患者安全。具体包括:

#### (一)临床准备

1. 病史评估:详细采集患者病史,包括心脑血管病史、过敏史、肾功能状况、既往手术史和药物使用情况;评估临床症状和体征,以确定是否适合进行脑心联合 CTA 检查。

2. 确认适应证与禁忌证:根据患者具体情况确认检查适应证和禁忌证;对不适合 CTA 的患者建议采用替代诊断方法。

3. 患者沟通与知情同意:向患者及家属解释检查目的、流程、风险及注意事项,确保充分知情同意。

4. 用药管理:检查前确保患者继续服用必要的治疗药物(如抗血小板药、抗凝药等),以预防突发

心脑血管事件。

(二) 护理准备

1. 患者评估与准备: 查看患者信息, 核对病史和现用药, 确保重要药物(如β受体阻滞剂、抗血小板药等)的连续性和安全性; 患者应按照增强 CT 检查前的要求禁食<sup>[16]</sup>; 评估过敏及肾功能情况, 并签署知情同意书; 对于服用二甲双胍的糖尿病患者, 如估算的肾小球滤过率(estimated glomerular filtration rate, eGFR)≥30 ml/(min·1.73m<sup>2</sup>)可继续服用, eGFR<30 ml/(min·1.73 m<sup>2</sup>)的患者应从碘对比剂注射时开始停用二甲双胍, 注射后 48 h 内复查 eGFR, 若肾功能无显著变化则可重新用药<sup>[17]</sup>; 检查前测量患者体重, 根据体重计算对比剂剂量, 必要时用药调整心率; 首选右肘静脉或桡静脉, 选择 18~20 G 静脉留置针(可耐受最大压力 ≥ 2 068 kPa), 确保输注通畅。

2. 健康宣教: 尽量使用通俗易懂的语言, 解答患者疑惑, 缓解其紧张、焦虑情绪; 对无法配合者提供心理疏导或镇静药, 并告知注射时可能的正常反应。

3. 对比剂准备: 严格按照产品说明书要求存放碘对比剂, 一般应在 30 °C 以下避光保存, 避免冷冻。使用前需检查容器和密封未破损。建议将对对比剂加热至体温 37 °C 后使用, 以降低黏度, 便于推注, 提高患者耐受性<sup>[18]</sup>。

4. 急救准备: 配备应急设备和药物, 制定急救

预案应对突发情况。

(三) 扫描准备

1. 患者信息核查: 仔细阅读患者检查信息, 严格把握适应证与禁忌证, 特别关注碘对比剂不良反应史及心、肾、肝功能状态。

2. 患者配合指导: 评估并确认患者移除所有体外金属物品, 以避免伪影干扰; 向患者说明检查注意事项并强化配合呼吸训练, 保持体位稳定。

3. 检查方案确认: 根据检查要求、患者病情和体重, 制定个性化对比剂注射方案, 合理设置扫描参数, 确保最佳图像质量。

三、脑心联合 CTA 检查方案

目前, CT 硬件在扫描速度和探测器宽度方面取得了突破性进展, 显著提高了脑心联合 CTA 的检查成功率。为满足临床对图像质量、碘对比剂用量和辐射剂量的综合要求, 建议使用 128 排及以上的 CT 设备, 优先选择宽体探测器 CT 和双源 CT, 依据设备特性制定相应的扫描流程和方法(表 1)<sup>[19-20]</sup>。

(一) 宽体探测器快速切换模式脑心联合 CTA 检查方案

宽体探测器 CT 在 Z 轴方向的扫描覆盖范围可达 16 cm, 配合机架旋转速度(0.23~0.28 s/圈)及冠状动脉运动伪影矫正技术, 可有效减少心率快及心律不齐患者冠状动脉成像的血管搏动伪影<sup>[21]</sup>。宽体探测器 CT 可分别采用轴位扫描和螺旋扫描模式完成冠状动脉和头颈动脉 CTA 检查。根据不同 CT

表 1 脑心联合 CT 血管成像机型及参数

类型	CT 设备	时间分辨率 (ms)	最小探测器单元 (mm)	探测器 Z 轴覆盖范围 (cm)	扫描方式 (HNCTA+CCTA)	管电压 (kV) (HNCTA/CCTA)	螺距 (HNCTA/CCTA)	重建算法 (HNCTA/CCTA)	算法卷积核 (HNCTA/CCTA)
探测器宽度 16 cm	GE Revolution	140	0.625	16	螺旋+轴扫	80~120	0.992:1/NA	ASIRV50%	Standard
	GE Apex	140	0.625	16	螺旋+轴扫	80~120	0.992:1/NA	DLIR-H	Standard
	GE Expert	115	0.625	16	螺旋+轴扫	80~120	0.984:1/NA	DLIR-H	Standard
	Unite Imaging uCT960+	125	0.5	16	螺旋+轴扫	80~120	0.993:1/NA	KARL 3D	Soft
	Cannon Aquilion Genesis	137.5	0.5	16	螺旋(可变螺距)	80~120	0.555~1.5	AIDR/AiCE	FC43/Body-sharp
双源 CT	Definition Flash	75	0.6	3.84	螺旋	CARE kV	3.4	SAFIRE(3)	I26f
	SOMATOM Drive	75	0.6	3.84	螺旋	CARE kV	3.4	ADMIRE(3)	Bv40
	SOMATOM Force	66	0.6	5.76	螺旋	CARE kV	3.2	ADMIRE(3)	Bv40
	NAEOTOM Alpha	66	0.2/0.4	5.76	螺旋	CARE kV	3.2	QIR(3)	Bv44~48
探测器宽度 8 cm	Philips iCT	135	0.625	8	螺旋	80~120	0.2~0.3	iDose	Filter: B/Filter XCB
	Philips Hawk	135	0.625	8	螺旋	100 或 120	0.2~0.3	Spectral	Filter: B/Filter XCB

注: HNCTA 为头颈动脉 CT 血管成像; CCTA 为冠状动脉 CT 血管成像; CARE 为自动管电压调制技术; NA 为不适用

设备性能,采用最短切换时间完成 2 种扫描的转换,高效实现脑心联合 CTA 检查。宽体探测器脑心联合 CTA 检查方案的具体扫描流程及参数见图 1。

1.扫描体位:患者取仰卧位,头先进,连接心电图门控,双手上举,患者适度抬高上肢与水平面呈 45°。对于无法完成上述体位或以缺血性脑血管病为首发症状就诊的患者,可将双手置于躯体两侧。

2.扫描方法及参数:(1)定位像扫描。待患者心率稳定后进行正位及侧位定位像扫描,扫描范围从心脏膈面至颅顶。

(2)冠状动脉钙化积分扫描。扫描范围从气管隆突分叉处至横膈,左右各超出心缘两侧 1~2 cm。扫描参数:管电压 120 kV,采用管电流自动调制技术,根据患者的体型及体重指数进行调整。扫描层厚选择最小探测器宽度,重建层厚和层间距为 2.5 mm 或 3.0 mm。对于已接受经皮冠状动脉支架植入术以及冠状动脉旁路移植术后的患者,不推荐进行冠状动脉钙化积分扫描。

(3)头颈动脉平扫。采用螺旋扫描,扫描范围主动脉弓至颅顶。扫描参数:根据患者的体型及体

重指数确定管电压为 80~120 kV,管电流采用自动调制技术。准直宽度为探测器排数×最小探测器宽度(320×0.5 mm 或 256×0.625 mm),重建层厚和层间距为 0.5 mm 或 0.625 mm,根据不同设备选择重建算法(表 1),降低图像噪声。

(4)冠状动脉 CTA:采用前瞻性心电门控轴位扫描模式,依据 Auto-gating 推荐期相,扫描范围从气管隆突分叉处至横膈。建议在患者屏气状态下完成心脏数据采集,若无法配合可在自由呼吸状态下完成<sup>[22]</sup>。扫描参数:根据患者的体型及体重指数确定管电压为 80~120 kV,管电流采用自动调控模式。准直宽度为 320×0.5 mm 或 256×0.625 mm,重建层厚和层间距为 0.5 mm 或 0.625 mm,扫描范围为 160/140/120 mm(根据心脏大小选择),根据不同设备选择冠状动脉运动伪影矫正技术,推荐采用深度学习图像重建算法以降低图像噪声。

(5)头颈动脉 CTA:扫描范围及参数同头颈动脉平扫。

(6)CTA 触发时间及对比剂注射:可采用对比剂团注追踪法或团注测试法 2 种方法确定触发时间。团注追踪法:选取降主动脉设置监测 ROI,注

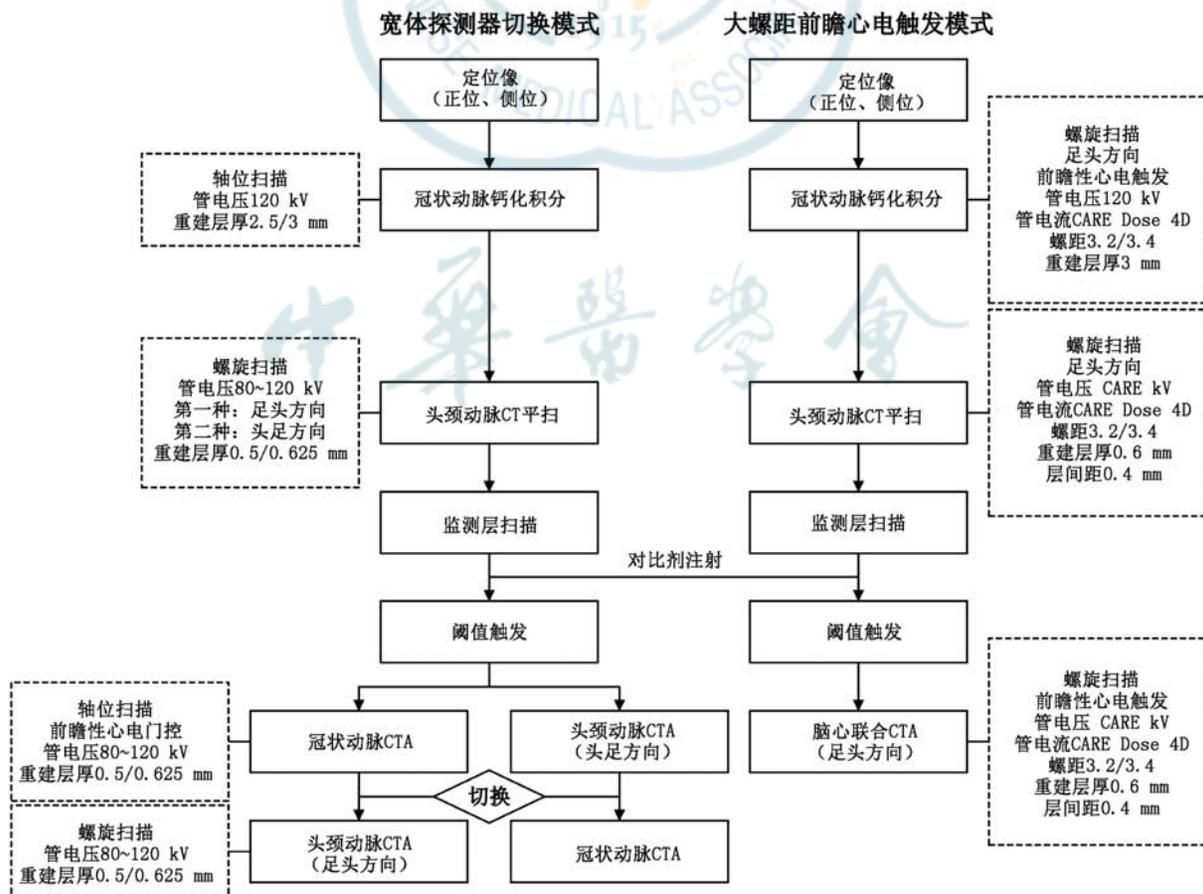


图 1 脑心联合 CT 血管成像(CTA)扫描流程及参数

射对比剂 8~10 s 后,启动同层动态扫描,阈值设定为 150~200 HU,达到阈值后 3~5 s 开始扫描,团注追踪技术对比剂用量相对较少,推荐作为常规方法。团注测试法:通过肘静脉或桡静脉注射小剂量(10~15 ml)对比剂,建议选择在右肺动脉干走行层面的升主动脉或降主动脉管腔内设置 ROI,进行同层动态扫描,获得时间-密度曲线,将曲线的最大峰值时间作为扫描的触发时间。对于左心室显著增大和左心功能不全(左心室射血分数<40%)患者,推荐采用对比剂团注测试法。

对比剂推荐使用碘浓度为 320~400 mg/ml,总注射持续时间控制在 10~15 s。碘对比剂全部注入后,以相同速率注入 30~70 ml 生理盐水<sup>[23]</sup>。256 排探测器 CT 完成轴位-螺旋扫描的切换时间为 2~3 s,推荐碘对比剂的具体注射方案见表 2。320 排宽体探测器 CT 完成切换时间为 3~4 s,建议适当延长对比剂注射时长 2~3 s。此外,128 排 8 cm 探测器 CT 进行脑心联合 CTA 检查采用螺旋扫描,螺距为 0.2~0.3,扫描时间约 10 s,建议延长对比剂注射时长 6 s,扫描流程参考大螺距扫描模式(图 1)。

表 2 不同体重患者脑心联合 CT 血管成像碘对比剂注射方案

体重(kg)	碘流率(g/s)	对比剂用量(ml)			
		碘含量 400 mg/ml	碘含量 370 mg/ml	碘含量 350 mg/ml	碘含量 320 mg/ml
<65	1.6	40~45	45~50	50~55	55~60
65~80	1.8	45~50	50~55	55~60	60~65
>80	2.0	50~55	55~60	60~65	65~70

注:碘流率是基于管电压为 100 kV 且应用迭代重建时推荐剂量,增加或降低管电压应适当调整碘流率;对比剂注射速率根据以下公式计算:对比剂注射速率(ml/s)=碘流率(g/s)/碘对比剂浓度(g/ml)

根据患者体重制定个性化对比剂注射方案至关重要,体重较重的患者行脑心联合 CTA 检查时,可参考表 2 提高碘流率。使用大包装对比剂,有助于精准剂量管理,提升检查效率<sup>[24]</sup>。

根据头颈动脉 CTA 和冠状动脉 CTA 的图像采集顺序,脑心联合 CTA 可分为两种扫描方案。第一种:触发扫描后先采集冠状动脉 CTA,经过切换时间后再采集头颈动脉 CTA(足头方向扫描),此方案优先保证冠状动脉的强化效果,但头颈动脉的扫描相对延后,可能导致静脉内强化,影响图像后处理和分析。第二种:触发扫描后先采集头颈动脉 CTA(头足方向扫描),经过切换时间再采集冠状动脉

CTA。此方案可有效减少头颈静脉显影,但头颈动脉 CTA 为逆流方向采集,颅内动脉末梢显影可能欠佳。建议根据患者病史选择扫描方案,以确保图像满足临床需求,具体扫描流程见图 1。

此外,佳能 320 排宽体探测器 CT 推荐采用可变螺距(vHP)扫描技术进行脑心联合 CTA,可自动匹配心脏和头颈部分的最佳螺距,优化扫描效率,并有助于降低对比剂用量和辐射剂量。

**关键建议:**(1)对于心率较快或心律不齐患者建议采用宽体探测器 CT 进行检查,提高脑心联合 CTA 中冠状动脉成像的成功率。(2)建议根据患者的临床情况选择扫描方案,常规检查推荐第一种方案;脑血管病患者推荐第二种方案;心血管病患者推荐第一种方案。

## (二)大螺距脑心联合 CTA 检查方案

双源 CT 配备两套球管-探测器系统,可弥补单源 CT 因螺距过大导致的扫描数据缺失,螺距最大可达 3.4,联合前瞻性心电触发技术,可在单个心动周期内一次性完成冠状动脉及头颈动脉 CTA 检查<sup>[25-26]</sup>。随着技术进步,第三代双源 CT 的单扇区最大时间分辨率已达 66 ms,单次对比剂注射,即可获得满足临床诊断需求的高质量冠状动脉及头颈动脉图像,并可显著降低辐射剂量<sup>[27-28]</sup>。大螺距脑心联合 CTA 检查方案的具体扫描流程及参数详见图 1。

1. 扫描体位:患者取仰卧位,足先进,连接心电图门控,使用低平头托,确保头颈部与心脏尽量处于同一水平面。嘱患者平静呼吸,扫描过程中保持不动;无法配合者,可使用压束带固定头颅,以减少运动伪影的影响。手臂位置同宽体探测器 CT 扫描体位,由于大螺距扫描模式检查床移速较快(73.7 cm/s),且移床范围较大,建议适当延长高压注射器连接管,避免进床时留置针拖拽。

2. 扫描方法及参数:(1)定位像扫描:同宽体探测器 CT 扫描。

(2)脑心联合 CTA 平扫:采用螺旋扫描模式,扫描方向为足头方向,连续采集冠状动脉及头颈动脉。采用 Turbo Flash 模式,螺距 3.2/3.4,机架转速为 0.25 s/圈或 0.28 s/圈,探测器准直设定为 2×64×0.6 mm 或 2×96×0.6 mm。冠状动脉钙化积分扫描其他参数同宽体探测器 CT 扫描。头颈动脉 CT 平扫管电流及管电压选择自动调节,并启用实时动态曝光剂量调节(CARE kV 和 CARE Dose4D)模式。重建层厚为 0.6 mm,重建层间距为 0.4 mm,重建卷积核选择 I26f/Bv40,迭代重建 SAFIRE/ADMIRE,

强度选择为 3。

(3) 脑心联合 CTA: 扫描范围及参数同头颈动脉 CT 平扫。采用前瞻性心电触发, 图像数据采集时间窗: 心率 < 75 次/min 时, 于舒张期触发扫描 (R-R 间期的 60%); 心率 ≥ 75 次/min 时, 于收缩期触发扫描 (R-R 间期的 30%)。

无特殊情况, 建议患者心率控制 ≤ 70 次/min, 尽管心率标准可适当放宽, 但心率增加会导致冠状动脉 CTA 检查失败率增高, 需谨慎评估<sup>[16, 29]</sup>。对心率较快的患者, 可考虑给予降心率药物 (如 β 受体阻滞剂), 用药前详细参考药品说明书, 充分了解药物的禁忌证和不良反应。通常检查前 3 d 口服降心率药物如美托洛尔缓释片, 每天 50 mg; 或检查前 1 h 服用美托洛尔 50~100 mg, 需要注意此用药方案不适用于缓释剂型。该扫描模式是基于前 10 个 R-R 间期计算扫描时机, 且后期进行心电编辑时无法灵活调整, 因此应在患者心律保持稳定的情况下使用, 心律不齐可导致扫描时机出现偏差, 降低扫描的成功率。如大螺距模式冠状动脉扫描失败, 可再次注射对比剂进行管电流调制模式的回顾性心电门控螺旋采集扫描方案。研究表明使用非离子型低渗对比剂 (碘美普尔 350 mg/ml) 对心率无显著影响<sup>[30]</sup>, 有助于患者脑心联合 CTA 检查中保持心率稳定, 保障良好图像质量。

(4) CTA 触发时间及对比剂注射: 可通过对比剂团注追踪法或团注测试法确定扫描延时时间。团注追踪法: 选取降主动脉层面作为连续曝光层面, 当 ROI 的 CT 值达到预定阈值后 (推荐 100~150 HU) 自动触发, 延迟 8 s 开始扫描。团注测试法: 推荐 ROI 设置在右肺动脉干走行层面的升主动脉或降主动脉管腔内, 对比剂注射 (10~15 ml) 后 8 s 启动同层动态扫描, 球管旋转时间为 1 s, 采集频率为 1 次/2 s, 总采集次数 ≤ 15 次。扫描完成后, 将测得的 ROI 达峰时间作为平扫与增强扫描之间的延迟时间。常规推荐采用团注追踪法, 对于左心室显著增大和左心功能不全 (左心室射血分数 < 40%) 患者, 推荐采用对比剂团注测试法。

推荐使用对比剂的浓度及注射方法同前, 不同浓度碘对比剂的注射方案详见表 2。

**关键建议:** (1) 采用大螺距扫描模式时, 患者的心律必须保持稳定。尽管该扫描模式对心率无绝对要求, 但适当降低心率有助于提高检查的成功率, 理想状态下患者心率控制 ≤ 70 次/min。 (2) 采用大螺距扫描模式时, 扫描范围大且检查床移速较

快, 建议适当延长高压注射器连接管。

#### 四、针对特殊人群的扫描方案

##### (一) 急性心源性卒中患者

随着心源性卒中发病率的增加, 准确辨识卒中的潜在心脏病因, 对于优化治疗方案和改善预后至关重要。传统的心脏检查手段 (如经食道超声心动图) 因准备工作复杂, 在急诊应用受限。因此, 临床亟需快速、高效的脑心联合评估方法。脑心联合 CTA 需心电门控和呼吸配合, 从而获取高质量心脏影像, 在急诊有一定的局限性。对于急性心源性卒中患者, 本共识推荐使用第二代及以上双源 CT, 采用大螺距、自由呼吸、非心电门控的脑心联合 CTA 扫描模式。

非心电门控脑心联合 CTA 与心电门控检查相比, 头颈动脉、冠状动脉及心腔结构图像质量无显著差异, 且辐射剂量无显著增加。此外, 非心电门控脑心联合 CTA 可联合 CT 灌注成像 (CT perfusion, CTP), 单次检查即可实现对脑血管及脑血流灌注的综合评估, 为急性脑卒中的诊断, 尤其是心源性卒中的病因分析, 提供更准确的影像学依据<sup>[9]</sup>。

**扫描方法及参数:** 首先进行定位扫描, 然后依次进行头颅 CT 平扫和 CTP 扫描。扫描范围覆盖脑部; 准直为 2×96×0.6 mm, 管电压 80 kV, 管电流 50 mA, 机架旋转时间 0.25 s, 覆盖范围 114 mm, 重建层厚 5 mm。对比剂用量为 40~50 ml (推荐高浓度对比剂), 注射速率为 4~6 ml/s, 注射持续时间不超过 8 s。CTP 扫描结束后, 行大螺距、自由呼吸、非心电门控脑心联合 CTA 检查。

**脑心联合 CTA 检查相关参数:** 螺距 3.2, 管电压 90 kV, 管电流 90 mA, 采用实时动态曝光剂量调节 (CARE Dose4D) 模式。对比剂用量为 40~60 ml, 注射速率为 5 ml/s, 随后注射 40 ml 生理盐水进行冲洗。使用团注追踪法进行触发, 监测降主动脉层面, 触发阈值设定为 100 HU。

大螺距、自由呼吸、非心电门控的脑心联合 CTA 为急性缺血性卒中的早期诊断提供新型影像学检查方案, 适用于急诊患者的脑心联合评估, 但在急性心源性卒中的临床价值尚需进一步验证。

**关键建议:** (1) 对于高度怀疑急性心源性卒中患者, 推荐采用双源 CT 进行大螺距、自由呼吸、非心电门控的脑心联合 CTA 扫描模式。该模式可在急诊环境下快速评估头颈动脉、冠状动脉及心腔结构。 (2) 脑心联合 CTA 结合脑 CTP, 单次检查即可全面评估脑血管及脑血流灌注, 为诊断提供全

面的影像学依据,有助于提高急诊的救治效率。

## (二)心房颤动(房颤)患者

房颤是心律失常的常见类型,其中非瓣膜性房颤所致的心源性栓塞,约 90% 的血栓来源于左心耳,且常伴随左心耳结构和功能的异常改变<sup>[31]</sup>。左心耳的解剖结构复杂且高度变异,易导致血流缓慢,增加血液淤滞和血栓形成的风险。部分持续性房颤患者,左心耳内血流呈涡流状,流速较慢,使对比剂在短时间内难以完全充盈,此时若进行单期扫描,可能出现充盈缺损,而易误诊为血栓。据此,对于怀疑左心耳内血栓的房颤患者,本共识推荐采用脑心联合 CTA 双期扫描,从而全面评估左心耳的血流动态,提高鉴别左心耳内血栓与血液淤滞的准确性。

脑心联合 CTA 显示左心耳内低密度充盈缺损时,推荐注射对比剂后延迟 60 s 进行左心耳延迟扫描,并采用较低的管电压(70 kV 或 80 kV),以减少辐射剂量。同时,建议适当缩小扫描范围,上界设定于气管分叉水平,下界至二尖瓣水平,以确保覆盖左心耳的解剖结构<sup>[32]</sup>。如第一期左心耳内存在低密度充盈缺损,但延迟期对比剂充盈均匀,则该充盈缺损为左心耳内的血流淤滞;若延迟期仍可见充盈缺损,且未见明显强化,则高度怀疑左心耳内血栓形成。利用双期扫描技术可有效鉴别左心耳内血栓与血流淤滞,减少误诊。

**关键建议:**对于房颤患者,推荐采用脑心联合 CTA 双期扫描(延迟 60 s 进行左心耳延迟扫描),以鉴别左心耳内血栓与血液淤滞。

## (三)血管条件不佳患者

对于血管条件不佳的患者,如老年人、长期接受化疗或放疗、血液透析、长期使用抗凝药及糖尿病患者等,使用高压注射器注射对比剂时,因注射速率较快,可能导致对比剂外渗,引发软组织水肿甚至坏死,因此需特别注意降低对比剂外渗风险。

碘流率是决定动脉 CT 强化效果的关键因素。碘流率由对比剂浓度和注射速率共同决定,计算公式为:碘流率=碘对比剂浓度(mg/ml)×注射速率(ml/s)<sup>[33]</sup>。高浓度碘对比剂在降低注射速率的同时可以保证足够的碘流率,达到理想的增强效果,同时降低注射血管发生破裂风险<sup>[34]</sup>。在低管电压下物质对 X 线吸收增加,因此应用高浓度对比剂同时采用低管电压(如 80 kV),进而提高血管对比噪声比<sup>[35]</sup>。研究表明颈动脉 CTA 检查采用高浓度碘对比剂(碘美普尔 400 mg/ml)、联合低管电压、低对比剂用量、低

速率注射方案,可在保证图像质量的同时,有效降低辐射剂量和对比剂外渗风险<sup>[36]</sup>。脑心联合 CTA 扫描速度快,增强检查的时间窗相对较短,应用高浓度对比剂可以更好地与扫描方案匹配,减少碘总量,降低对比剂外渗风险。对于血管条件不佳的患者,本共识推荐使用高浓度对比剂(如 400 mg/ml),在满足诊断要求的同时,降低对比剂注射速率,同时配合低管电压扫描,减少对比剂外渗风险和辐射剂量。对比剂类型、用量与注射速率见表 2。对于合并高血压、糖尿病、高脂血症等基础性疾病的患者,建议经验丰富的医护人员评估血管的通畅性和耐压能力,选择合适的血管进行对比剂注射。一旦出现穿刺异常,应尽早干预,降低对比剂外渗风险<sup>[37]</sup>。

**关键建议:**对于血管条件不佳的患者,建议使用高浓度对比剂(如 400 mg/ml),降低注射速率,同时配合低管电压扫描,在保证相同碘流率和血管强化效果的同时,降低辐射剂量和对比剂外渗风险。

## (四)大体重患者

对于大体重患者,脑心联合 CTA 检查面临冠状动脉及头颈动脉强化程度不足、图像噪声较大、信噪比较低等问题,影响成像质量及诊断准确性。对于大体重患者,需要适当增加管电压及管电流,以增加入射光子数量,保证图像信噪比,但辐射剂量会相应增加。国内相关专家共识推荐体重>90 kg 或体重指数>30 kg/m<sup>2</sup>的患者选用 120 kV 管电压<sup>[38]</sup>。此外,由于大体重患者的血容量更大,体内对比剂的稀释效应显著,且高管电压会造成血管内强化程度减低,需适当增加碘对比剂用量及碘流率,可能导致对比剂肾病及对比剂过敏反应<sup>[39]</sup>。研究表明,通过优化扫描参数、调整对比剂注射方案,以及使用高级迭代重建算法或深度学习图像重建算法等,可在保证图像质量的前提下,降低辐射剂量并减少对比剂用量<sup>[33, 40]</sup>。文献报道大体重患者冠状动脉 CTA 检查使用高浓度对比剂(400 mg/ml)、低管电压(100 kV)和混合迭代重建算法,发现在保证图像质量的情况下,辐射剂量和对比剂用量较对照组(管电压 120 kV)分别降低 41% 和 32%<sup>[41]</sup>。大体重患者的对比剂注射方案见表 2。

**关键建议:**对于大体重患者,应适当调整管电压和碘流率,推荐使用高浓度对比剂(如 400 mg/ml),优化扫描参数,结合高级迭代重建算法或深度学习图像重建算法,有助于降低辐射剂量

及对对比剂用量。

#### 五、脑心联合 CTA 图像后处理及图像质量评估

脑心联合 CTA 图像的后处理和重组,分为头颈动脉 CTA 和冠状动脉 CTA 两部分,需由专业医师或技师完成。后处理方法包括容积再现(volume rendering, VR)、最大密度投影(maximum intensity projection, MIP)、曲面重组(curved planar reformation, CPR)、多平面重组(multi-planar reformation, MPR)等。头颈动脉 CTA 分析常用图像包括颈动脉、椎动脉和脑动脉的 VR、整体 MIP、薄层 MIP、CPR 等;冠状动脉 CTA 分析常用图像包括心脏和冠状动脉的 VR、冠状动脉树的 MIP、冠状动脉的 CPR 等。

VR 图像可立体观察血管与周围组织结构的空间解剖关系,便于整体评估血管走行及病变,但不建议用于评估狭窄程度。MIP 图像通过显示扫描范围内的高密度血管结构,为评估管腔狭窄程度提供依据,但评估结果依赖于操作者所设置的阈值,阈值的细微调整可能影响狭窄程度。CPR 图像以管腔中心线为轴,进行多角度旋转观察,可直观显示靶血管管腔内外的病变情况,如管腔狭窄程度、管壁斑块等,但中心线定位需要准确。CPR 常规重组血管包括双侧颈内动脉和椎动脉全段,以及冠状动脉的左主干、前降支(含较粗大的对角支)、回旋支(含较粗大的钝缘支)、右冠状动脉(含较粗大的后降支和左室后支)。MPR 图像基于原始横断面图像重组任意层面的图像,便于多角度观察血管,利于病变定位及空间关系分析,推荐在血管病变部位的横断面图像测量管腔狭窄程度。建议临床结合多种重组技术与横断面图像,综合评估血管及其周围组织。

脑心联合 CTA 图像要求:扫描范围覆盖颅顶至横膈,以满足临床诊断需求;动脉强化质量良好,以清晰显示血管的走行、结构、充盈缺损情况及与邻近器官的位置关系;避免金属伪影、运动伪影及静脉内高浓度对比剂的干扰。关于头颈动脉 CTA 和冠状动脉 CTA 的详细图像后处理及图像质量评估方法,可参考《头颈部 CT 血管成像扫描方案与注射方案专家共识》<sup>[23]</sup>和《心脏冠状动脉 CT 血管成像技术规范应用中国指南》<sup>[42]</sup>的相关论述。

目前,人工智能(artificial intelligence, AI)已广泛应用于医学图像采集、图像后处理、病变检出和辅助诊断的各个环节。AI 软件能够实现自动骨和血管分割与提取、斑块成分识别和狭窄分级诊断等

后处理功能,简化了后处理的操作流程,显著缩短了后处理和诊断的时间,极大提高了临床诊断效率<sup>[43-45]</sup>。在图像重建方面,AI 成像优化技术可降低 CTA 图像的背景噪声,提高对比噪声比,提升图像质量,显著降低了辐射剂量及对比剂用量<sup>[46]</sup>。此外,AI 可基于冠状动脉 CTA 的解剖学几何特征进行运算,获得定量功能学信息,实现冠状动脉 CT 血流储备分数(fractional flow reserve, FFR)的自动快速智能评估,将 CT-FFR 计算时间缩短至 < 4 min<sup>[47-48]</sup>。由于脑心联合 CTA 数据量大且处理耗时,有条件的医疗机构可优先采用 AI 软件进行图像后处理及辅助诊断,以提升工作效率、减轻医师负担。但需要注意 AI 辅助诊断易受血管解剖变异、静脉伪影等因素影响,性能仍需提升,必须进行人工审核<sup>[43]</sup>。

尽管 AI 在心脑血管影像学中潜力巨大,但在临床应用中仍面临诸多问题,如 AI 模型构建需要大量数据进行训练,样本量过小会导致数据偏移;图像采集、分析和标注存在异质性;多数模型缺乏外部验证,模型的泛用性有待提高;AI 模型具有“黑箱”特性,其决策过程可解释性差;高等级的循证医学证据不足;且在法律与伦理方面也面临挑战等<sup>[49-50]</sup>。未来需要关注图像规范采集、分析和标注流程;构建包括临床、影像和实验室检查等数据结构的多维度、多中心高质量数据库;提升 AI 算法的鲁棒性;开展多中心前瞻性临床研究,获得高质量循证医学证据;完善设备与数据监管机制、相关法律法规和伦理规范等<sup>[49-52]</sup>。

**关键建议:**(1)结合多种后处理技术全面评估血管结构和病变特征,提高诊断的全面性和准确性。(2)对具备条件的医疗机构,建议采用 AI 辅助脑心联合 CTA 图像后处理和诊断,以提高效率,但使用中需加强人工审核,以确保诊断准确性。

#### 六、脑心联合 CTA 诊断报告书写规范

建议将诊断报告分两个部分:第一部分描述头颈部动脉及主动脉弓,第二部分描述冠状动脉及心脏。

1. 头颈部动脉+主动脉弓:对于头颈部动脉,建议先描述颈动脉,再描述椎动脉,按照血流方向依次从近心端向远心端进行描述,要点包括以下。(1)动脉起源与走行:详细描述头颈部动脉起源和走行是否正常,注意是否有先天性变异或异常连接。(2)动脉管壁状况:评估头颈部动脉管壁有无异常;如有斑块需描述其位置、形态和性质。(3)动脉



管腔状况:描述头颈部动脉管腔有无狭窄或扩张,管腔如有狭窄,需描述其程度;如有动脉瘤,需描述其位置及大小。(4)邻近结构:观察头颈部动脉走行区域,是否存在对头颈部动脉造成压迫的正常或异常结构,例如茎突、骨赘、肿瘤等。

主动脉弓部分描述要点包括以下。(1)主动脉起源与走行:包括主动脉的起源和走行是否正常,注意是否有异常连接。(2)主动脉管壁状况:描述主动脉管壁是否存在异常,包括但不限于斑块形成。如有斑块,需描述其位置、形态及性质,是否存在夹层或动脉瘤。(3)主动脉管腔状况:描述主动脉管腔是否存在狭窄或扩张。如有狭窄,需描述狭窄程度;如有扩张,需测量最宽径线。

2. 冠状动脉+心脏:冠状动脉的描述参考国际心血管 CT 协会于 2022 年发布的 CAD-RADS 2.0 版<sup>[53]</sup>及国内《冠状动脉 CT 血管成像的适用标准及诊断报告书写规范》<sup>[54]</sup>,要点包括以下。(1)钙化积分:建议采用 Agatston 钙化积分方法,分别列出左主干、前降支、回旋支和右冠状动脉的钙化积分,并给出总积分。(2)冠状动脉解剖分型:包括右优势型、左优势型、均衡型。(3)冠状动脉的起源、走行和终止异常:描述冠状动脉的起源是否正常,是否存在终止异常、心肌桥和重复冠状动脉等。(4)冠状动脉管壁及管腔状况:包括冠状动脉管壁斑块的位置、形态、性质及管腔狭窄程度,推荐使用 2014 年国际心血管 CT 协发布的 18 段冠状动脉分段体系。(5)心肌:包括心肌厚度及密度。(6)心腔:包括心腔大小、心腔内密度及异常沟通,需特别注意观察与心源性卒中相关的病变,如心腔附壁血栓、左心房黏液瘤、房间隔缺损、卵圆孔未闭及左心耳血栓等。(7)瓣膜和心包:重点观察二尖瓣及主动脉瓣是否存在畸形、增厚、钙化或瓣膜赘生物;评估心包有无增厚、钙化及积液。

诊断意见:存在多个诊断的情况下,应与患者本次就诊症状最为相关的诊断作为第一诊断,其余诊断则根据严重程度及与临床症状的相关性依次列出。如各诊断与症状的相关性均不明显,则按照描述的解剖顺序列出诊断意见。

补充说明:冠状动脉斑块性质的描述主要包括非钙化斑块和钙化斑块。对于易损斑块或高危斑块的特点要单独描述。易损斑块或高危斑块的 CT 特征表现包括:(1)正性重构,定义为病变段的最大血管直径(包含斑块和管腔)与近端参考血管直径的比值 $>1.1$ ;(2)低密度斑块,定义为斑块内存在任

何 CT 值 $<30$  HU 的成分;(3)点状钙化,定义为斑块内部出现的直径 $<3$  mm 钙化,且分布 $<90^\circ$ 管壁周径;(4)“餐巾环”征,定义为低密度斑块核心及其周围环绕高密度环状影。

颈动脉易损斑块或相对高危斑块的 CT 特征表现包括:(1)软斑块,内含出血、脂质坏死区及纤维成分,CT 值中位数在 40~50 HU;(2)斑块厚度,易损性较高的斑块厚度为 2.5~3 mm;(3)斑块表面形态,溃疡型斑块表现为对比剂外显影,凹陷深度至少为 1 mm<sup>[55]</sup>。

根据冠状动脉管腔缩小程度将冠状动脉狭窄程度分为 5 级:轻微狭窄(管腔狭窄 $<25\%$ ),轻度狭窄(管腔狭窄 25%~49%),中度狭窄(管腔狭窄 50%~69%),重度狭窄(管腔狭窄 70%~99%),完全闭塞(管腔狭窄 100%)。颈动脉狭窄程度分为 4 级:轻度狭窄(管腔狭窄 $<30\%$ ),中度狭窄(管腔狭窄 30%~69%),重度狭窄(管腔狭窄 70%~99%),完全闭塞(管腔狭窄 100%)<sup>[56]</sup>。颅内动脉狭窄程度分为 4 级:轻度狭窄(管腔狭窄 $<50\%$ ),中度狭窄(管腔狭窄 50%~69%),重度狭窄(管腔狭窄 70%~99%),完全闭塞(管腔狭窄 100%)<sup>[57]</sup>。

狭窄程度诊断方法采用“目测直径法”,狭窄率 $\%=(\text{参考管腔直径}-\text{狭窄处管腔直径})/\text{参考管腔直径}\times 100\%$ ,其中狭窄处管腔直径为病变段最窄处管腔直径。

对于有条件的医疗机构,推荐对冠状动脉管径 $>2$  mm 且狭窄程度为 30%~90% 的血管病变进行 CT-FFR 分析,用于评估血流动力学情况。CT-FFR 报告应包括靶血管病变近端正常区域的 CT-FFR 值、病变远端(距病变 1 cm)CT-FFR 值,以及跨病变 CT-FFR 差值( $\Delta$ CT-FFR),以评估狭窄对血流的影响。若病变远端 CT-FFR 值 $\leq 0.80$ ,提示可能导致心肌缺血,这是 CT-FFR 主要诊断阈值,与有创 FFR 的参考标准一致。跨病变 CT-FFR 差值( $\Delta$ CT-FFR)为辅助参数,较大的差值(如 $>0.15$ 或 0.20)提示狭窄对血流有显著影响,但具体诊断仍需结合远端 CT-FFR 值及其他影像表现综合分析。CT-FFR 并非诊断心肌缺血的“金标准”,其测量结果应结合患者临床症状和冠状动脉 CTA 形态学改变综合解读。存在严重钙化病变、显著运动伪影等情况,CT-FFR 可能存在误差,必要时可进一步参考有创 FFR 或其他功能性检查(如核素显像)确诊<sup>[58]</sup>。

关键建议:(1)诊断报告建议分为两部分:第一部分描述头颈部动脉及主动脉弓,第二部分描述冠

状动脉及心脏。(2)头颈部动脉+主动脉弓:建议先描述颈动脉,再描述椎动脉,按照血流方向从近心端向远心端依次进行。描述内容包括:血管起源、走行、管壁情况、管腔情况及周围结构对血管的影响。冠状动脉+心脏:建议描述钙化积分、冠状动脉血管情况、心肌、心腔、瓣膜及心包情况。(3)诊断意见:当存在多个诊断时,将与患者本次就诊症状最为相关的诊断作为第一诊断,其余诊断根据严重程度及与临床症状的相关性依次列出。

## 七、总结与展望

脑心联合CTA技术的快速发展,改变了以往需分次扫描及对比剂注射的检查模式,减少了患者的检查次数,并降低对比剂使用量、辐射剂量及检查成本等。随着脑心联合CTA技术的普及,促进了跨学科协作,显著提升了脑心共患血管疾病的诊断和治疗水平。临床实际应用中应严格把握适应证,优化扫描方案,合理使用对比剂,以确保图像质量达到诊断要求。未来该技术结合AI有望进一步提升图像自动化分析能力,提高诊断准确度和效率,并拓展其在疾病预防、早期诊断和随访管理的应用价值。本共识基于最新研究和专业指南,经过多次讨论和审阅形成,旨在为脑心联合CTA的操作及图像解读提供规范指导。尽管在临床实践中仍面临挑战,期待通过进一步深入研究,脑心联合CTA能够为患者带来更大临床获益。

**执笔者:**张苗(首都医科大学宣武医院放射与核医学科)、周振(首都医科大学附属北京安贞医院医学影像科)

**共识专家组成员(按姓氏拼音排序):**陈伟(陆军军医大学第一附属医院放射科)、成官迅(北京大学深圳医院影像科)、崔恩铭(江门市中心医院放射科)、戴旭(辽宁中医药大学放射科)、丁忠祥(西湖大学医学院附属杭州市第一人民医院放射科)、窦勇(山西省心血管病医院CT影像科)、贺毅(首都医科大学附属北京友谊医院放射科)、胡红杰(浙江大学医学院附属邵逸夫医院放射科)、解学乾(上海市第十人民医院放射科)、鞠蓉晖(辽宁省人民医院放射科)、李静(首都医科大学宣武医院老年医学科)、李梅芳(莆田学院附属医院医学影像科)、李小虎(安徽医科大学第一附属医院医学影像科)、李新春(广州医科大学附属第一医院放射科)、李雪(重庆医科大学附属第三医院放射科)、刘晶哲(清华大学第一附属医院放射影像科)、马欣(首都医科大学宣武医院神经内科)、宋彬(复旦大学附属闵行医院放射科)、孙丛(山东第一医科大学附属省立医院医学影像科)、王梅云(河南省人民医院医学影像科)、王琦(河北医科大学第四医院CT磁共振科)、王锡明(山东第一医科大学附属省立医院医学影像科)、王艳(新疆维吾尔自治区人民医院放射影像中心)、王怡宁(北京协和医院放射科)、王勇(河北医科大学第一医院放射与核医学科)、魏娜(吉林大学第一医院放射科)、萧毅(海军军医大学第二附属医院放射诊断科)、徐俊卿(广东医科大学附属医院放射影像中心)、徐磊(首都医科大学附属北京安贞医院医学影

像科)、许茂盛(浙江中医药大学附属第一医院医学影像科)、薛蕴菁(福建医科大学附属协和医院放射科)、杨海庆(河北医科大学第二医院医学影像科)、杨旗(首都医科大学附属北京朝阳医院放射科)、杨运俊(温州医科大学附属第一医院放射影像中心)、殷小平(河北大学附属医院放射科)、于德新(山东大学齐鲁医院放射科)、曾献军(南昌大学第一附属医院影像中心)、查云飞(武汉大学人民医院放射科)、张洪(天津市胸科医院影像科)、张龙江(解放军东部战区总医院放射诊断科)、张同(哈尔滨医科大学附属第四医院影像科)、赵振华(绍兴市妇幼保健院放射科)、郑敏文(空军军医大学西京医院放射诊断科)、周俊林(兰州大学第二医院放射影像科)、周滢(上海交通大学医学院附属仁济医院放射科)

**利益冲突** 所有作者声明无利益冲突

## 参 考 文 献

- [1] 刘明波,何新叶,杨晓红,等.《中国心血管健康与疾病报告2023》要点解读[J].中国心血管杂志,2024,29(4):305-324. DOI: 10.3969/j.issn.1007-5410.2024.04.002.
- [2] Liu Q, Zhao J, Wang S. From cerebrovascular diseases to neuro-co-cardiological diseases: a challenge in the new epoch[J]. Sci Bull (Beijing), 2022, 67(18):1830-1832. DOI: 10.1016/j.scib.2022.08.013.
- [3] 赵继宗.我国脑心血管共患疾病现状与临床研究[J].首都医科大学学报,2022,43(5):671-673. DOI: 10.3969/j.issn.1006-7795.2022.05.001.
- [4] Muthalaly RG, Abrahams TB, Nerlekar N, et al. Asymptomatic coronary artery disease in ischaemic stroke survivors: a systematic review and meta-analysis[J]. Eur Stroke J, 2024, 9(3): 540-554. DOI: 10.1177/23969873241231702.
- [5] Suzuki M, Okawa M, Okuno Y, et al. Prevalence of carotid artery stenosis with coronary artery disease in Japanese patients: a single-center study[J]. J Neurol Sci, 2022, 443: 120492. DOI: 10.1016/j.jns.2022.120492.
- [6] Buckley B, Harrison SL, Hill A, et al. Stroke-heart syndrome: incidence and clinical outcomes of cardiac complications following stroke[J]. Stroke, 2022, 53(5): 1759-1763. DOI: 10.1161/STROKEAHA.121.037316.
- [7] Nakai M, Iwanaga Y, Sumita Y, et al. Associations among cardiovascular and cerebrovascular diseases: analysis of the nationwide claims-based JROAD-DPC dataset[J]. PLoS One, 2022, 17(3): e0264390. DOI: 10.1371/journal.pone.0264390.
- [8] Zheng C, Yan S, Fu F, et al. Cervicocephalic spotty calcium for the prediction of coronary atherosclerosis in patients with acute ischemic stroke[J]. Front Neurol, 2021, 12: 659156. DOI: 10.3389/fneur.2021.659156.
- [9] Liu J, Wang C, Li Q, et al. Free-breathing, non-gated heart-to-brain CTA in acute ischemic stroke: a feasibility study on dual-source CT[J]. Front Neurol, 2022, 13: 616964. DOI: 10.3389/fneur.2022.616964.
- [10] Ma X, Kong Q, Wang C, et al. Predicting asymptomatic coronary artery stenosis by aortic arch plaque in acute ischemic cerebrovascular disease: beyond the cervicocephalic atherosclerosis? [J]. Chin Med J (Engl), 2019, 132(8): 905-913. DOI: 10.1097/CM9.000000000000174.
- [11] Wang C, Zheng C, Bao J, et al. Predicting asymptomatic

- coronary artery disease in first-ever acute ischemic stroke patients: a cross-sectional study[J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2024, 14(3): 2441-2454. DOI: 10.21037/qims-23-1405.
- [12] 张小勇,唐滢,曾宪春,等. Force CT 超大螺距一站式头颈心血管联合扫描的可行性[J]. *实用放射学杂志*, 2018, 34(7): 1103-1106, 1109. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1671.2018.07.031.
- [13] Guo R, Deng J, Rong P, et al. One-stop combined CT angiography of coronary and craniocervical arteries: recommended as the first examination for patients suspected of coronary or craniocervical artery disease[J]. *Eur Radiol*, 2023, 33(10): 7034-7043. DOI: 10.1007/s00330-023-09528-w.
- [14] 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. DOI: 10.1007/s00330-021-08505-5.
- [15] Liu S, Zhang Z, Liu B, et al. One-step integrated coronary-carotid-cerebral computed tomography angiography to evaluate cardiovascular and cerebrovascular atherosclerosis[J]. *BMC Cardiovasc Disord*, 2023, 23(1): 367. DOI: 10.1186/s12872-023-03343-3.
- [16] 中华医学会放射学分会护理学组,重庆市护理学会影像护理专业委员会,刘士远,等. CT 增强检查前的饮食准备管理规范中国专家共识[J]. *放射学实践*, 2024, 39(5):563-568. DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2024.05.001.
- [17] 中华医学会放射学分会质量控制与安全管理专业委员会. 肾病患者静脉注射碘对比剂应用专家共识[J]. *中华放射学杂志*, 2021, 55(6): 580-590. DOI: 10.3760/cma.j.cn112149-20201111-01226.
- [18] Zhang B, Liu J, Dong Y, et al. Extrinsic warming of low-osmolality iodinated contrast media to 37 °C reduced the rate of allergic-like reaction[J]. *Allergy Asthma Proc*, 2018, 39(6):e55-e63. DOI: 10.2500/aap.2018.39.4160.
- [19] Kay FU. Dual-energy CT and coronary imaging[J]. *Cardiovasc Diagn Ther*, 2020, 10(4): 1090-1107. DOI: 10.21037/cdt.2020.04.04.
- [20] Kang EJ. Clinical applications of wide-detector CT scanners for cardiothoracic imaging: an update[J]. *Korean J Radiol*, 2019, 20(12): 1583-1596. DOI: 10.3348/kjr.2019.0327.
- [21] Abdelkarim A, Roy SK, Kinninger A, et al. Evaluation of image quality for high heart rates for coronary computed tomographic angiography with advancement in CT technology: the CONVERGE registry[J]. *J Cardiovasc Dev Dis*, 2023, 10(9):404. DOI: 10.3390/jcdd10090404.
- [22] Shen W, Chen Y, Qian W, et al. Impact of respiratory motion artifact on coronary image quality of one beat coronary CT angiography[J]. *J Xray Sci Technol*, 2021, 29(2):287-296. DOI: 10.3233/XST-200812.
- [23] 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. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2019.02.001.
- [24] Zhang C, Fan Z, Ma F, et al. Comparative effect of multi-dose contrast median on contrast-enhanced computed tomography workflow of nurses and hospital efficiency: a Multi-Center-Real-World Prospective observational study in China[J]. *Emerg Med Int*, 2022, 2022:1168973. DOI: 10.1155/2022/1168973.
- [25] Schmidt B, Flohr T. Principles and applications of dual source CT[J]. *Phys Med*, 2020, 79:36-46. DOI: 10.1016/j.ejomp.2020.10.014.
- [26] Tognolini A, Arellano CS, Marfori W, et al. Comprehensive low-dose imaging of carotid and coronary arteries with a single-injection dual-source CT angiography protocol[J]. *Clin Radiol*, 2014, 69(3): 246-253. DOI: 10.1016/j.crad.2013.10.004.
- [27] Wang Z, Chen Y, Wang Y, et al. Feasibility of low-dose contrast medium high pitch CT angiography for the combined evaluation of coronary, head and neck arteries [J]. *PLoS One*, 2014, 9(3):e90268. DOI: 10.1371/journal.pone.0090268.
- [28] Zhao L, Bao J, Guo Y, et al. Ultra-low dose one-step CT angiography for coronary, carotid and cerebral arteries using 128-slice dual-source CT: a feasibility study[J]. *Exp Ther Med*, 2019, 17(5): 4167-4175. DOI: 10.3892/etm.2019.7420.
- [29] Abbara S, Blanke P, Maroules CD, et al. SCCT guidelines for the performance and acquisition of coronary computed tomographic angiography: a report of the society of Cardiovascular Computed Tomography Guidelines Committee: endorsed by the North American Society for Cardiovascular Imaging (NASCI) [J]. *J Cardiovasc Comput Tomogr*, 2016, 10(6): 435-449. DOI: 10.1016/j.jcct.2016.10.002.
- [30] Schmid I, Didier D, Pfammatter T, et al. Effects of non-ionic iodinated contrast media on patient heart rate and pressures during intra-cardiac or intra-arterial injection[J]. *Int J Cardiol*, 2007, 118(3): 389-396. DOI: 10.1016/j.ijcard.2006.12.011.
- [31] Collado F, Lama von Buchwald CM, Anderson CK, et al. Left atrial appendage occlusion for stroke prevention in nonvalvular atrial fibrillation[J]. *J Am Heart Assoc*, 2021, 10(21):e022274. DOI: 10.1161/JAHA.121.022274.
- [32] Korsholm K, Berti S, Iriart X, et al. Expert recommendations on cardiac computed tomography for planning transcatheter left atria appendage occlusion[J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2020, 13(3): 277-292. DOI: 10.1016/j.jcin.2019.08.054.
- [33] Eijvoogel NG, Hendriks B, Nelemans P, et al. Personalization of CM injection protocols in coronary computed tomographic angiography (People CT Trial) [J]. *Contrast Media Mol Imaging*, 2020, 2020:5407936. DOI: 10.1155/2020/5407936.
- [34] 胡茂清,梁长虹. 规范碘对比剂在 CT 增强扫描中的应用[J]. *中华放射学杂志*, 2014, 48(10):793-794. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2014.10.001.
- [35] Yoshida M, Nakaura T, Oda S, et al. Effects of tube voltage and iodine contrast medium on radiation dose of whole-body CT[J]. *Acta Radiol*, 2022, 63(4):458-466. DOI: 10.1177/02841851211001539.
- [36] Zhang Q, Mi H, Shi X, et al. Higher iodine concentration enables radiation dose reduction in coronary CT angiography[J]. *Acad Radiol*, 2021, 28(8): 1072-1080. DOI: 10.1016/j.acra.2020.05.012.
- [37] Roditi G, Khan N, van der Molen AJ, et al. Intravenous contrast medium extravasation: systematic review and updated ESUR Contrast Media Safety Committee Guidelines[J]. *Eur Radiol*, 2022, 32(5): 3056-3066. DOI:



- 10.1007/s00330-021-08433-4.
- [38] 中华医学会放射学分会质量控制与安全管理专业委员会. 心血管 CT 成像辐射剂量优化中国专家共识[J]. 中华医学杂志, 2016, 96(7): 510-516. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2016.07.004.
- [39] Li Y, Wang J. Contrast-induced acute kidney injury: a review of definition, pathogenesis, risk factors, prevention and treatment[J]. BMC Nephrol, 2024, 25(1): 140. DOI: 10.1186/s12882-024-03570-6.
- [40] Li W, Huang W, Li P, et al. Application of deep learning image reconstruction-high algorithm in one-stop coronary and carotid-cerebrovascular CT angiography with low radiation and contrast doses[J]. Quant Imaging Med Surg, 2024, 14(2): 1860-1872. DOI: 10.21037/qims-23-864.
- [41] 狄爱辉, 宁春芳, 王莹, 等. 低辐射剂量与低对比剂剂量在肥胖患者冠状动脉 CT 血管成像中的应用研究[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2024, 44(1):41-46. DOI: 10.3760/cma.j.cn112271-20230609-00188.
- [42] 吕滨, 张佳胤, 韩磊. 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. DOI: 10.3760/j.issn.1005-1201.2017.10.004.
- [43] Fu F, Wei J, Zhang M, et al. Rapid vessel segmentation and reconstruction of head and neck angiograms using 3D convolutional neural network[J]. Nat Commun, 2020, 11(1):4829. DOI: 10.1038/s41467-020-18606-2.
- [44] Fu F, Shan Y, Yang G, et al. Deep learning for head and neck CT angiography: stenosis and plaque classification[J]. Radiology, 2023, 307(3): e220996. DOI: 10.1148/radiol.220996.
- [45] Han D, Liu J, Sun Z, et al. Deep learning analysis in coronary computed tomographic angiography imaging for the assessment of patients with coronary artery stenosis[J]. Comput Methods Programs Biomed, 2020, 196:105651. DOI: 10.1016/j.cmpb.2020.105651.
- [46] 王曼, 王怡宁, 于敏, 等. 人工智能成像优化技术在冠状动脉 CT 血管成像的初步应用研究[J]. 中华放射学杂志, 2020, 54(5):460-466. DOI: 10.3760/cma.j.cn112149-20191219-00990.
- [47] Guo B, Jiang M, Guo X, et al. Diagnostic and prognostic performance of artificial intelligence-based fully-automated on-site CT-FFR in patients with CAD[J]. Sci Bull (Beijing), 2024, 69(10):1472-1485. DOI: 10.1016/j.scib.2024.03.053.
- [48] Guo B, Xing W, Hu C, et al. Clinical effectiveness of automated coronary CT-derived fractional flow reserve: a Chinese randomized controlled trial[J]. Radiology, 2024, 313(1):e233354. DOI: 10.1148/radiol.233354.
- [49] 施昭, 张龙江. 人工智能在脑血管病影像学中的应用[J]. 中华放射学杂志, 2021, 55(8):793-798. DOI: 10.3760/cma.j.cn112149-20210616-00564.
- [50] 胡春洪, 张龙江, 陈灿. 人工智能在冠状动脉 CT 成像中的应用及展望[J]. 中华放射学杂志, 2023, 57(5):453-456. DOI: 10.3760/cma.j.cn112149-20230309-00172.
- [51] 中华医学会放射学分会医学影像人工智能工作组, 北京医学会放射学分会人工智能学组, 中国食品药品检定研究院. 头颈动脉 CT 血管成像数据标注与质量控制专家共识[J]. 中华放射学杂志, 2024, 58(2):150-157. DOI: 10.3760/cma.j.cn112149-20230522-00358.
- [52] 中华医学会放射学分会心胸学组, 中国医师协会放射医师分会心血管学组, 中国食品药品检定研究院. 冠状动脉 CT 血管成像数据标注和质量控制专家共识[J]. 中华放射学杂志, 2024, 58(1): 25-33. DOI: 10.3760/cma.j.cn112149-20231108-00359.
- [53] Cury RC, Leipsic J, Abbara S, et al. CAD-RADS™ 2.0-2022 coronary artery disease-reporting and data system: an expert consensus document of the Society of Cardiovascular Computed Tomography (SCCT), the American College of Cardiology (ACC), the American College of Radiology (ACR), and the North America Society of Cardiovascular Imaging (NASCI) [J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2022, 16(6): 536-557. DOI: 10.1016/j.jcct.2022.07.002.
- [54] 国家心血管病专业质控中心心血管影像质控专家工作组, 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. 冠状动脉 CT 血管成像的适用标准及诊断报告书写规范[J]. 中华放射学杂志, 2020, 54(11): 1044-1055. DOI: 10.3760/cma.j.cn112149-20200413-00544.
- [55] Baradaran H, Gupta A. Carotid vessel wall imaging on CTA [J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2020, 41(3): 380-386. DOI: 10.3174/ajnr.A6403.
- [56] North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial Collaborators, Barnett HJM, Taylor DW, et al. Beneficial effect of carotid endarterectomy in symptomatic patients with high-grade carotid stenosis[J]. N Engl J Med, 1991, 325(7): 445-453. DOI: 10.1056/NEJM199108153250701.
- [57] 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. 中国头颈部动脉粥样硬化诊治共识[J]. 中华神经科杂志, 2017, 50(8): 572-578. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1006-7876.2017.08.003.
- [58] 中华医学会放射学分会心胸学组, 中国医师协会放射医师分会心血管学组, 北京医学会放射学分会心血管学组. CT 血流储备分数操作规范及临床应用中国专家共识[J]. 中华放射学杂志, 2023, 57(7):711-722. DOI: 10.3760/cma.j.cn112149-20221215-01005.

