

心脏冠状动脉CT血管成像技术规范应用 中国指南

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

自2003年开始,国际公认的64排CT应用于心脏冠状动脉血管成像(coronary CT angiography, CCTA)已经超过10年,目前已经成为诊断冠状动脉疾病的主要无创影像学工具。近年来CT设备成像能力进一步提升,标志性的进步体现在CCTA图像质量进一步提高,而患者的辐射剂量大幅降低。在此领域,国内外专家积累了一定的应用经验和医学研究证据,并发布了多篇专家共识或指南^[1-9],但均缺乏详细的技术操作指南。

《中华放射学杂志》在2011年也率先牵头在国内发表了《心脏冠状动脉多排CT临床应用专家共识》^[8],对于CCTA技术的普及与推广起到了积极作用。然而,该专家共识发表超过5年,无论是CT设备平台,还是软件及临床技能,近些年均获得了快速发展^[10-13],需要重新梳理某些新技术的应用规范,标准化和规范化应用水平亟待提高。同时,对于许多期望尽快开展CCTA临床工作的医院,需要有详细、具体、可操作的规范化指南来指导工作。本指南力争实现在该领域有规范化操作标准可循,并进一步提高图像质量,降低辐射剂量,让患者获益。

一、开展心脏冠状动脉CT工作的基本要求

CCTA目前作为安全和准确的无创影像学技

术,已经获得临床广泛应用,成为实施经导管冠状动脉造影和经皮冠状动脉介入(PCI)治疗的“看门人”(door-keeper),对有胸痛症状、疑诊冠心病的患者,有重要的诊断价值^[4-6,9,14-16]。

(一)对设备等工作条件的要求

1. 设备成像和后处理能力:多部国际、国内指南和专家共识均已经明确,CCTA技术需要使用包括64排(非64层)以上的CT设备^[2,4-7]。为了弥补CT设备时间分辨力(图像的X和Y轴时间分辨力)的不足,需要控制患者心率和心律。在此指出,宽体探测器(目前最宽16 cm探测器)能够提高Z轴(沿身体长轴方向)时间分辨力,缩短整个心脏采集所需时间,减少或消除心率和心律变化产生的错层伪影,但并非改善X和Y轴时间分辨力。

心外膜下可视的冠状动脉血管树的管腔直径为0.50~5.00 mm,显示冠状动脉血管的斑块和狭窄,要求CT图像的空间分辨力小于被观察血管的直径,目前在17 cm重建视野(FOV)下,X-Y轴空间分辨力为0.33 mm×0.33 mm,Z轴的空间分辨力(层厚)为0.50~0.75 mm,尚显不足。看清斑块的大致病理成分,要求分辨力达到0.05 mm以下,目前CT设备还有相当差距。CCTA检查要求使用最薄层扫描和尽可能小的重建视野,用以增加图像的空间分辨力。

每例CCTA超过200幅横断面图像,加上近年采用了迭代重建技术,导致数据量极大,对图像后处理和图像存储与传输系统(PACS)的能力要求非常高。建议在购买CT设备时,购买配套数量的影像后处理工作站,以及考虑PACS存储空间。

2. 对其他工作条件的要求:CT室四周墙壁应设有固定电源插孔,需要配备相应的急救设备,如心电监护仪、血压计、除颤器,对于开展小儿先天性心脏病检查并需要麻醉的CT室,最好配备小型呼吸机。常规配备急救配套医疗用品,如氧气、负压设备、气管穿刺以及相应的抢救药品等。抢救药品

DOI:10.3760/ema.j.issn.1005-1201.2017.10.004

基金项目:国家“十一五”科技支撑计划项目(2007BAI05B02);
国家重大专项(2016YFC1300400);卫生公益性行业科研专项
(201402019)

通信作者:伍建林,116001 大连大学附属中山医院放射科, Email: cjr.wujianlin@vip.163.com;金征宇,100730 中国医学科学院北京协和医学院北京协和医院放射科, Email: cjr.jinzhengyu@vip.163.com

执笔者:吕滨,100037 中国医学科学院北京协和医学院国家心血管病中心阜外医院放射影像科, Email: blu@vip.sina.com;张佳胤,200233 上海交通大学附属第六人民医院放射科, Email: andrewssmu@msn.com;韩磊,100037 中国医学科学院北京协和医学院国家心血管病中心阜外医院放射影像科, Email: hanlei_301@163.com

包括肾上腺素、地塞米松、西咪替丁、苯海拉明、氨茶碱、呋塞米、升压药、呼吸兴奋剂、镇静剂、右旋糖酐、氯化钠注射液等。器械和药品要有专人负责保管,定期更换,工作人员具备使用这些设备或者医疗用品的能力及资质。另外,CT室具有抢救相关管理规定,明确上岗工作人员职责,配备具有熟练技术和指挥能力的值班医师,并有与急诊室、麻醉科等密切协作的工作流程,急救电话保持畅通。

(二)对操作者相关能力的要求

目前包括 64 排 CT 以上的设备均能够满足 CCTA 的要求。开展这项技术,2011 年专家共识提出的要求仍然适用^[8],相同之处不再赘述。在此需要强调的是,医师、护士及技师等工作人员需要积极配合,立足自己的设备条件,医师和技师都要积极使用低剂量扫描方案,掌握图像质量控制原则,确保患者检查安全和成功。

临床实践证明,CCTA 技术开展的好坏,与 CT 室管理者密切相关。因此,本指南首次增加了对管理者的要求:(1)管理者无论是医师还是技师,必须树立起规范化的低剂量理念,并为此担负起责任;(2)管理者对 CCTA 患者接受的平均辐射剂量和对比剂剂量进行定期评估,如果高出规范化操作的要求,必须进行技术指导和整改;(3)管理者对于 CCTA 图像质量进行定期随机抽样评估,并有技术指导和整改措施;(4)定期举办科室内部学术及继续教育活动,学习心血管病的基础知识,了解科研进展和指南内容,并付诸实践。

二、心脏冠状动脉 CT 技术操作规范

(一)CCTA 检查流程和预约环节

CCTA 的检查流程见图 1。每个步骤的规范化操作可改善患者的配合度、优化扫描方案,进而提高检查成功率,并降低辐射剂量和对比剂用量。对于非急诊患者,推荐采用预约检查方式。急诊患者的检查实施“绿色通道”,要求急诊科医师和患者家属在 CT 检查时全过程陪同,并对患者的监护和安全提供保障。

预约时,需要确定以下事项:(1)了解有无 CT 增强检查禁忌证,可参考原专家共识^[8];(2)确定患者预约检查时间;(3)告知患者检查时需要直系家属陪同,因为重症患者或者冠心病患者在检查过程中有可能出现风险,且存在注射对比剂的各种风险;(4)检查当日,无需空腹、禁饮食,除药品有特殊说明外(如治疗糖尿病双胍类药物,根据对比剂使用说明书需要在检查前后停药 48 h),无需停止正

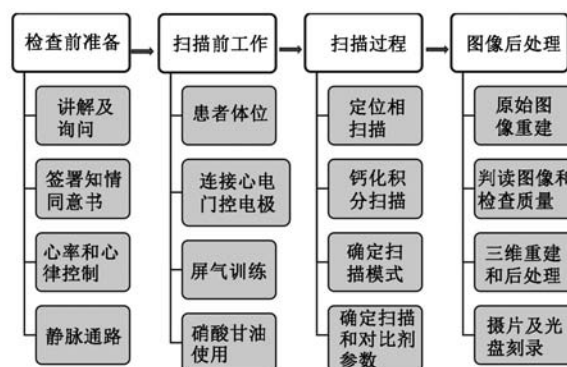


图1 心脏冠状动脉CT血管成像(CCTA)检查流程图

在服用的药物。检查前 12~24 h,避免服用提高心率的食品、饮料、药品等,如饮酒、咖啡类饮料、万艾可(伟哥)类药品;(5)询问患者的基础心率,如超过 80 次/min(bpm),有可能需要备用 β 受体阻滞剂,有无频发心律失常等情况,并给予解释;(6)根据每家医院的具体情况,向患者说明应做的检查前准备。

(二)检查前准备

1. 讲解及询问:正式检查前,由医师或者专业护士再次讲解 CCTA 检查过程,特别是再次询问患者的相对风险,并确定:(1)有无使用碘对比剂的历史,注意事项可参考国内相关指南^[17]。(2)目前心脏、肾脏、肝脏功能情况,对于有心、肝、肾功能不全病史者,需要进一步明确检查禁忌证。如有肾功能不全病史的患者,需要依据 1 个月内的肌酐水平评估肾小球滤过率(GFR)。如果 $GFR < 60\%$,则为相对禁忌证; $GFR < 30\%$,则为禁忌证。(3)对于急性主动脉夹层、慢性肺动脉高压、不稳定心绞痛和心肌梗死的患者,CCTA 检查存在风险,了解病情和知情同意十分重要。(4)询问患者症状、病史和本次检查目的,讲解相应的注意事项。(5)注射对比剂会产生全身热感,属正常情况;注射部位可能出现碘对比剂漏出等,参考附件知情同意书。(6)体内、外的金属物情况。

2. 签署知情同意书:该项检查要求患者及其家属必须签署知情同意书,推荐的知情同意书内容参考附件 1。

3. 心率和心律控制:对于 64 排 CT,要求将心率控制在 70 bpm 以下;对于后 64 排 CT,根据设备性能要求心率低于 90 bpm。高心率患者需服用降心率药物(β 受体阻滞剂),药物的禁忌证和不良反应,参考产品说明书。对于偶发期前收缩(早搏)患者,建议心率控制低于 70 bpm 后进行扫描,如出现早搏导致的图像伪影,可通过心电编辑技术进行调

整(详见后述)。对于频发早搏或房颤的患者,并非检查禁忌证,但是扫描失败或者部分图像难以评估的可能性加大,检查前需告知患者,并征得患者签字同意。

4. 静脉通路:建议有条件的单位,设置独立房间的准备室,在CT床下即完成静脉通路,以节省检查时间。临床常选用18或20 G的静脉套管针,由具备资质的护士操作,根据患者血管具体情况,选择右侧或者左侧肘前静脉。对于血管条件较差,或者护士担心高流率注射风险,需要对患者说明,并推荐在正式注射对比剂前先试注射20 ml生理盐水,确定套管针在血管腔内。

(三)扫描前工作

患者置于检查床后,在正式扫描采集前,需要做以下准备。

1. 患者体位:采用足先进体位,双臂上举过头、伸直,勿弯曲以免导致注射处血管破裂。

2. 连接心电门控电极:心电电极的放置可采用美国标准(白色导联:右锁骨中线、锁骨下;黑色导联:左锁骨中线、锁骨下;红色导联:左锁骨中线、第六或第七肋间;绿色导联:右锁骨中线、第六或第七肋间)或欧洲标准(红色导联:右锁骨中线、锁骨下;黄色导联:左锁骨中线、锁骨下;黑色导联:右锁骨中线,第六或第七肋间;绿色导联:左锁骨中线,第六或第七肋间)。对于心电信号不佳,QRS波形识别不好的患者,多由于电极片接触不良所致,可以用酒精棉球擦拭患者胸壁皮肤后重新粘贴电极片,或者检测其他干扰因素,确保心电信号良好。对于起搏器植入后患者,需要护士或者技师确定能否扫描。心电信号识别标准为:信号能被监测仪识别出R波,并且规律、无杂波干扰。

3. 屏气训练:屏气不好是检查失败最常见的原因之一。强调对患者进行实际呼吸屏气训练,而不是简单的告知。吸气末屏气(吸气幅度是最大吸气能力的50%~75%),并每次保持一致。观察并记录患者屏气后的心率变化和幅度。患者心率降低若超过10 bpm,采用回顾性心电门控,并需要手工选择合适的螺距,以避免因螺距与床速不一致产生条带状伪影。告知患者检查中需要屏气的时间和次数,缓解患者紧张不安情绪。

4. 硝酸甘油的使用:服用硝酸甘油能够使冠状动脉血管扩张,弥补CT设备对细小分支血管显示不足的缺陷,但是不做常规推荐使用。CT扫描开始前3~5 min舌下含服硝酸甘油0.5 mg或扫描前

1 min舌下喷服硝酸甘油1~2喷(0.5 mg)。硝酸甘油使用禁忌证和不良反应请参考产品说明书。

5. 碘过敏试验:根据2013年中华医学会放射学分会《对比剂使用指南第2版》^[17],不推荐进行碘过敏试验,其他注意事项请参考产品说明书。

6. 射线防护:扫描前由护士给患者佩戴好铅围脖和铅围裙,做好甲状腺、性腺等辐射敏感器官的防护工作。非必要情况下,禁止家属陪同。若病情需要,家属须穿戴好防辐射铅衣。

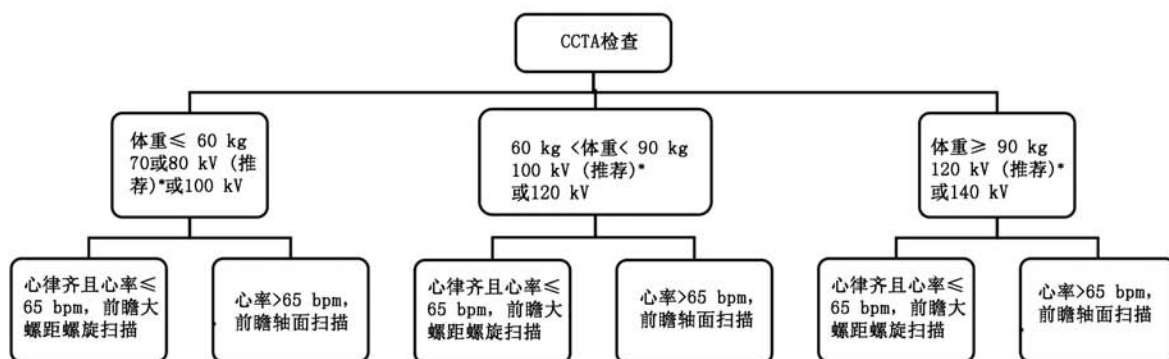
(四)扫描过程和推荐使用的规范化检查方案

1. CCTA扫描步骤和方案:(1)定位像扫描:自胸廓入口至心脏膈面屏气行定位像扫描(正位或正侧位,由具体设备型号决定)。定位像扫描条件由设备嵌入,不做特殊修改。CCTA采集范围:上界自气管隆嵴下1~2 cm水平(根据患者体型调整),下界达心脏膈面(注意部分患者膈面抬高,CT采集范围需低于膈肌),左右各大于心缘两侧10~20 mm。CCTA增强扫描时,可以根据钙化积分扫描观察到的冠状动脉开口和远端水平,确定扫描范围更加精准。对于冠状动脉搭桥术后的患者,上界自胸廓入口开始,以显示桥血管全程。

(2)冠状动脉钙化(CAC)扫描:推荐CCTA前进行钙化积分扫描。但是对于冠状动脉支架植入术后和搭桥术后患者,因为有金属物的植入,不推荐行钙化积分扫描。扫描参数的设置与钙化积分的计算结果有关,应使用各CT设备推荐的默认参数设置进行钙化积分扫描。

(3)测试触发扫描延迟时间(循环时间):目前有两种方法,①对比剂团注测试法(test-bolus):使用小剂量(15~20 ml)对比剂团注测定循环时间,即峰值时间加4~6 s的经验值设置为扫描延迟时间;②团注追踪法(bolus-tracking):推荐在降主动脉内设置一个ROI检测区,设定一个CT阈值(推荐100~150 HU,按照产品说明书推荐),ROI内的CT值到达该阈值时启动扫描^[18]。前者由于需要注射2次对比剂,而且增加辐射剂量和耗时,故推荐采用后者。但是,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,使用团注测试法可能更加准确。

(4)CCTA图像采集模式和参数:CCTA扫描参数设置需要依据患者体重、心率和心律以及前瞻性和回顾性心电门控等来设定(图2)^[4,6]。图2的采集模式选择,只是基本的推荐原则。由于不同CT设备具有不同成像能力和特点,需要根据具体情况选



*:建议常规使用的管电压,同时推荐使用迭代重建技术以降低图像噪声。bpm:心率的单位(次/min);前瞻:前瞻性心电图门控,本指南推荐前瞻性心电图门控并使用较宽采集时间窗(包括收缩末期和舒张中期),利于观察冠状动脉管腔在心动周期中的运动;不建议使用回顾性心电图门控

图2 基于患者体重和心率的个体化扫描模式的推荐流程图

择扫描采集模式和扫描参数。为了控制辐射剂量,以下重点推荐的内容为“强制性”实施措施,一般推荐的内容为“非强制性”但是尽可能使用的措施。

重点推荐:

(1)在所有心率 ≤ 65 bpm的患者中使用前瞻性心电图门控轴扫模式进行图像采集(时间分辨力 < 150 ms的CT设备,心率限制可放宽至80 bpm);心率 ≤ 65 bpm且心律齐整和体重 < 90 kg的患者,可以尝试前瞻性大螺距螺旋扫描模式,辐射剂量更低。

(2)对于高心率(> 90 bpm)和心律不齐患者,建议控制心率后再做CCTA检查。回顾性心电图门控螺旋采集模式,并不能提高检查成功率,且辐射剂量过高,建议摒弃使用(除非有评估心功能等其他适应证)。必须使用时,管电流调制模式控制全剂量曝光时间窗在40%~75%的R-R间期。

(3)推荐所有具有迭代重建功能的CT设备使用该功能进行图像重建,使用时可降低一档管电压(如从120 kV降低到100 kV)。

一般推荐:

(1)推荐具备70或者80 kV管电压输出的CT设备,在体重 ≤ 60 kg患者中选用该管电压进行扫描。

(2)推荐在体重 ≤ 90 kg的患者中,如具备迭代重建功能,均可使用100 kV管电压进行扫描。

(3)宽体CT设备(16 cm探测器)如辐射剂量足够低,可以考虑使用前瞻性心电图门控轴扫全期相模式扫描,用于有临床需求患者的心功能分析,其他设备不推荐常规使用。

2. 根据设备确定采集模式和扫描参数:需要根据所使用的CT设备,以及患者体重、心率和心律、心功能等情况,做出个体化的判断与选择。各厂家

CT设备的采集模式和扫描参数见表1,仅作参考。

3. 关于特殊技术的应用:(1)迭代重建(iterative reconstruction, IR)技术:迭代重建技术与传统的滤波反投影技术(filtered back projection, FBP)相比,可有效降低图像噪声,提高图像的信噪比(SNR)和对比噪声比(CNR),可以弥补由于选用低一档的管电压造成的噪声增加和图像质量下降,间接实现降低有效辐射剂量的目的^[10, 19-20]。但是,迭代权重过大,过度减少噪声会导致真实的解剖细节丢失(尤其当迭代重建权重达到80%和100%)。推荐常规使用该技术,且迭代重建权重的选择在40%~60%之间。(2)“双低”技术:应用迭代重建技术,可以降低管电压、降低对比剂用量,称为“双低”技术。该技术降低辐射剂量30%~50%,降低碘用量近30%,而获得的图像质量并没有降低^[10, 21-23]。因此,推荐具有迭代重建技术的医院常规使用“双低”技术。(3)运动校正算法:也称快速冻结技术(snapshot freeze, SSF)。该技术可在高心率患者中部分消除冠状动脉运动所导致的伪影^[24-25]。推荐在具有该技术的CT设备中常规使用。

4. 对比剂注射方案:(1)碘流率(iodine delivery rate, IDR)选择:碘流率为每秒所注射的对比剂碘量(g I/s),即碘流率=碘对比剂浓度(g I/ml) \times 对比剂注射流率(ml/s)^[26]。患者同等体重下,动脉血管的强化程度取决于碘流率,因此应根据受检者体重选择不同的碘流率,推荐方案见表2。

技师应该准确把握患者体重,以及预估的采集曝光时间,确定合理化的对比剂用量^[27]。理想的冠状动脉强化标准是300~450 HU,低于300 HU强化程度不足,高于450 HU显影密度过高,不利于管腔与管壁斑块(钙化)的分辨。需要注意冠状动脉

表1 基于不同CT设备推荐的冠状动脉CT血管成像采集模式和扫描参数

机型	扫描方式	管电压	管电流	旋转时间(s)	准直宽度	螺距	重建层厚/层间距(mm)	迭代重建	重建算法(卷积核)	重建时相
GE LightSpeed VCT(64排)	回顾性心电门控螺旋扫描(单扇区重建 HR<70 bpm, 双扇区重建 70 bpm<HR<80 bpm)	80 或 100 kV(体重 <60 kg); 100 或 120 kV(60 kg<体重 <90 kg); 120 或 140 kV(体重>90 kg)	100~750 mA 根据体质指数(BMI)个性化设置 , 心电流量调制, 全剂量区根置: HR≤65 bpm; 65%~80%; HR>70 bpm; 40%~80%	0.35	64 × 0.625 mm(40 mm/圈)	0.16~0.24/智能螺距(根据静息心率设置)	0.625/0.625	无	软组织/标准	预设心电时相; 若不满意进行手工重建
GE 能谱 CT (HD Discovery 750)	1. 回顾性心电门控螺旋扫描; 2. 前瞻触发心电门控扫描(SSA软件辅助进行曝光期相设定); 3. 特殊能谱扫描	同上	回顾模式管电流设置参考64排前轴扫描区域管电流设置数据噪声调整	同上	同上	回顾性心电门控模式同上	同上	有, 自适应统计迭代算法(ASiIR) 40%~60%	同上	同上; 另外有 SSF 软件进行冠状动脉运动的影像校正; 能谱成像常规诊断建议选用 70 keV 单能图像
GE Revolution CT (256排)	单心跳前轴扫描(Auto Gating 软件辅助进行曝光期相设定)	kV 辅助	智能管电流量厚(0.625 mm)层厚情况下, 噪声指数设置为 22~25)	0.28	256 × 0.625 mm(160 mm/圈)	无	同上	有, 自适应统计迭代算法第 2 代(ASiR-V) 40%~60%	软组织/标准	预设心电时相; smart phase 确定最佳期相; 若不满意进行手工重建; 有 SSF 后处理功能
西门子 Definition AS(64排)	1. 回顾性心电门控螺旋扫描; 2. 前瞻性心电触发自适应序列扫描。曝光时相和范围根据心率设置; HR<60 bpm, R-R 间期 70%~80%; HR>60 bpm 或 HR<60 bpm 但心律不齐; R-R 间期 35%~75%	80 或 100kV(体重 <60 kg); 100 或 120 kV(60 kg<体重 <90 kg); 120 或 140 kV(体重>90 kg)	Care Dose 4D 打开, 采用管电流调制技术; 全剂量区根据心率设置; HR<70 bpm, 70%~80%, HR>70 bpm, 40%~80%; 可采用 MiniDose 和 CareDose4D	0.30	64 × 0.6 mm(38.4 mm/圈)	回顾性心电门控; 螺距(根据静息心率设置)	0.75/0.50	有, SAFIRE 迭代等级选择 2 或 3	126f	机器自动选择最佳收缩末期(ES)和最佳舒张末期(ED)重建, 若不满意进行手工重建
西门子 Definition Edge(64排)	同上	同上	同上	0.28	同上	回顾性心电门控; 螺距(根据静息心率设置)	同上	同上	同上	同上

续表 1

机型	扫描方式	管电压	管电流	旋转时间(s)	准直宽度	螺距	重建层厚/层间距(mm)	迭代重建	重建算法(卷积核)	重建时相
西门子双源 SOMATOM Definition	同上	同上	同上	0.33	32 × 0.6 mm(19.2 mm/圈)	回顾性心电门控: 0.2~0.5/智能螺距(根据静息心率设置)	同上	无	B26f	同上
西门子双源 SOMATOM Definition Flash	同上; 另外具备前瞻性心电触发大螺距螺旋扫描	同上	同上	0.28	64×0.6 mm(38.4 mm/圈)	回顾性心电门控: 扫描时螺距同上, 大螺距螺旋扫描时螺距为 3.2~3.4	同上	有, SAFIRE 迭代等级选择2或3	126f	大螺距预设触发时相 R-R 间期 60%, 机器根据实际心率自动启动扫描
东芝 Aquilion CX (64排)	回顾性心电门控螺旋扫描(HR<70 bpm 单扇区重建, 70 bpm<HR<80 bpm 时双扇区重建)	80 或 100 kV(体重 <60 kg); 100 或 120 kV(60 kg<体重<90 kg); 120 或 140 kV(体重>90 kg)	100~550 mA(根据 BMI 个性化设置)/ECG 管电流调制, 全剂量; 根据心率设置: HR≤65 bpm, 65%~80%, HR>70 bpm, R-R 间期 40%~80%。	0.35	64×0.5 mm(32 mm/圈)	0.17~0.19/智能螺距(根据静息心率设置)	0.5/0.5	无	软组织/标准	预设心电时相, 若不满意进行手工重建
东芝 Aquilion VISION CT (320排)	单心电前轴扫描	同上	智能管电流 380~580(0.5 mm 层厚情况下)	0.275	320 × 0.5 mm(160 mm/圈)	无	同上	有, 自适应容积迭代降噪重建(AIDR-3D) 40%~60%	同上	选择 phase Xact 可自动重建最佳时相
飞利浦 Core 128/Ingenuity CT (64排)	1. 回顾性心电门控螺旋扫描 2. 前瞻性心电门控轴扫扫描 3. 曝光时相和采集范围根据心率设置: HR<70 bpm, R-R 间期 70%~80%, HR>70 bpm, R-R 间期 40%~50%	80 或 100 kV(体重 <60 kg); 100 或 120 kV(60 kg<体重<90 kg); 120 或 140 kV(体重>90 kg)	应用管电流调制技术, 剂量调制指数(DRI)范围 30~38	0.4	64 × 0.625 mm(40 mm/圈)	0.20/0.24	0.67/0.33	有, 双空间多模型迭代等级选择3或4	软组织/标准	预设心电时相, 若不满意进行手工重建
飞利浦 Brilliance iCT(128排)	同上	同上	同上	0.27	128 × 0.625 mm(80 mm/圈)	0.16/0.18/0.20	同上	有, Idose4 迭代等级选择3或4; 全模型迭代(IMIR)选择1	同上	同上

注: (1)64排螺旋CT: 其机架转速在 0.3~0.4 s/圈, 时间分辨率为 150~200 ms, 探测器覆盖范围约 4 cm。对于该类设备, 推荐给予口服美托洛尔控制心率(HR)≤65 次/min(bpm)。推荐采用前瞻性心电门控轴扫模式降低辐射剂量。可根据定位片所提示的患者体型, 采用设备使用说明书提供的自动管电压调节技术。(2)后 64排非双源CT: 其机架转速在 0.27~0.35 s/圈, 时间分辨率为 135~175 ms, 探测器覆盖范围 4~16 cm。推荐给予口服美托洛尔控制心率, 对于时间分辨率<150 ms 的CT设备, 推荐心率≤80 bpm, 均使用前瞻性心电门控轴扫模式。(3)后 64排双源CT: 其时间分辨率分别达到了 83、75 和 66 ms, 可提供前瞻性心电门控大螺距螺旋采集模式(螺距可 3.4)。对于该类设备, 推荐患者心率≤90 bpm。若患者心律不齐(波动小于 3 bpm)且心率≤65 bpm, 推荐采用前瞻性心电门控大螺距螺旋采集模式, 以达到亚毫西弗(≤1.0 mSv)的成像。对于心率在 65~90 bpm 之间的患者, 推荐采用前瞻性心电门控轴扫模式。可采用设备使用说明书提供的自动管电压技术

近心端与远心端显影密度一致。近年迭代重建技术的应用,因降低了管电压,血管的对比度(contrast)上升,故而碘流率下降30%左右即可达到同等强化效果。推荐使用办法可以参考表2推荐的碘流率 $\times 70\%$ 即可获得。

注射对比剂前注意排空导管和注射器内空气。有条件的单位,可以使用加温箱等装置保持对比剂的温度与体温相近,特别是在冬天患者感觉更加舒适。

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 (mg I/ml)	体重(kg)				
	<50	50~<60	60~<70	70~<80	>80
270	5.2	5.9	6.7	7.4	8.1
300	4.7	5.3	6.0	6.7	7.3
320	4.4	5.0	5.6	6.2	6.9
350	4.0	4.6	5.1	5.7	6.3
370	3.8	4.3	4.8	5.4	5.9
400	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5

注:本表中数值为在使用120 kV管电压情况下推荐的注射流率(ml/s),如果使用迭代重建的同时使用低一级别的管电压(例如100 kV),注射流率可以降低30%。不同体重对应的碘流率值分别为1.4、1.6、1.8、2.0、2.2 g I/s

(2)注射期相技术的选择:①双期相技术:I期,根据上述碘流率确定的注射流率,以及扫描时间(注射时间)确定注射对比剂总量(对比剂浓度和注射流率参考表2);II期,注射生理盐水20~30 ml;②三期相技术:I期,注射对比剂(总量取决于注射流率和扫描时间);II期,注射对比剂+生理盐水共30 ml,比例为30%:70%。多数高压注射器不能注射混合液,选用流率的方法为注射对比剂(2~3 ml/s)10 ml左右;III期注射20~30 ml生理盐水,对比剂浓度和注射流率参考表2。

(3)延迟扫描:对于心脏内占位(如左心房黏液瘤与血栓鉴别)或者心房颤动患者(左心房耳部动脉期充盈不良)动脉期成像后建议行延迟扫描(延迟时间>30 s)。通过延迟扫描图像,可以观察占位病变的血供情况,心房颤动患者鉴别左心耳部是否血栓(延迟扫描范围仅包括左房耳即可)。

(五)图像重建和后处理

1. 原始图像重建:建议使用最薄的层厚(0.500~0.625 mm)、尽可能小的重建视野(推荐使用17~20 cm,像素0.330~0.390 mm)重建图像,以保证在固定的512 \times 512图像矩阵中,获得尽可能高

的图像空间分辨力。观察心外结构,如肺野和纵隔,选用重建视野为30~36 cm(像素0.580~0.700 mm)。对于重建卷积核(reconstruction kernel),常规选择平滑算法的卷积核;而在PCI支架术后,应同时采用平滑算法和锐利算法卷积核的2组数据^[27-28]。选择锐利卷积核重建可提高图像对比度,减少支架壁硬化线束伪影,但会同时增加图像噪声。具有高清成像模式的设备,推荐使用高清模式观察支架。

在原始图像重建后,技师或值机医师一定严格审核检查质量,包括图像质量、扫描部位是否正确等,初步判定能否达到检查目的、满足临床要求,确保在患者下床前检查成功,图像质量评价标准以及检查失败的标准见后述。

2. 图像重建时间窗:依据采集窗范围,选择冠状动脉运动最弱的区域重建图像。基本方法是,心率<70 bpm的患者,重建时间窗为舒张中期(大致位于70%~75%的R-R间期);心率>70 bpm时,重建时间窗为收缩末期(35%~45%的R-R间期)。采用多宽的时间窗采集图像没有具体规定,以包括心脏的收缩和舒张期为宜^[29]。技师既要了解冠状动脉生理运动特点,又要熟悉设备时间分辨力,在高时间分辨力的设备条件下,舒张期重建机会更大。

3. 心电编辑技术:该技术主要用于回顾性心电门控扫描中,出现的房性或室性期前收缩,可选择删除或忽略期前收缩的信号,然后再通过R波调整期前收缩前后的时相采集点,可获得较好效果,推荐使用绝对值时相进行心电编辑^[30]。对于干扰信号影响了重建,可使用心电编辑技术重新编辑心电图。

4. 三维重建和后处理:主要包括最大密度投影(maximum intensity projection, MIP)、容积再现(volume rendering, VR)、曲面重建(curved planner reformation, CPR)及多层面重组(multi-planar reformation, MPR)等技术。MIP和CPR图像利于显示管腔的狭窄程度,CPR重组图像经血管中心,直观显示管腔和斑块关系,但是中心线必须准确。VR图像立体观察心脏和冠状动脉外形或心外结构,但不建议用于评估狭窄程度。在病变部位获取截面图像(cross-sectional image),利于观察斑块内成分、斑块与管壁及管腔的关系^[31]。上述图像应该结合起来进行评估。

5. 摄片及光盘刻录:建议尽可能参照经导管CAG的投照体位,CAG的参考投照体位如下。左

冠状动脉采用:(1)左前斜位 60°;(2)左前斜位 60°+足位 20°;(3)左前斜位 60°+头位 20°;(4)右前斜位 30°;(5)右前斜位 30°+足位 20°;(6)右前斜位 30°+头位 20°。右冠状动脉采用:(1)左前斜位 60°;(2)前后位;(3)右前斜位 30°。但由于冠状动脉解剖走行存在个体差异,且狭窄病变多为偏心性,选择固定的投照体位可能无法准确地显示病变形态,因此 CAG 的投照体位可能因人而异。

CCTA 三维重建和摄片体位推荐参照 CAG 投照角度,但是 CCTA 图像不同于 CAG,以能最清晰显示病变的最佳角度为准,摄片序列如下(图 3~18)。建议按左主干、前降支(包括较粗大的对角支)、回旋支(包括较粗大的钝缘支)和右冠状动脉(包括较粗大的后降支和左室后支)顺序进行三维重建和摄片,并作出文字标记。推荐摄片的窗宽设置为 600~900 HU,窗位设置为 250~350 HU。对于 CT 对比度高、钙化多或有支架的患者,窗宽适当放宽,窗位适当提高。因横断面图像过多,建议仅对上述三维重组图像和有意义的垂直截面图像进行摄片(2~4 张胶片),推荐对所有横断和三维图像刻入光盘(标准 DICOM 3.0 图像),并给予患者,以便存储、会诊,减少不必要的重复检查。有 PACS 系统的单位,采用标准图像格式存储于 PACS 系统中。

三、图像质量和辐射剂量评价标准

(一)图像质量评价标准

作为质量控制标准,操作技师的核心职责是确保每一次检查成功,否则不能让患者离开而避免重复检查。检查失败的定义主要包括:(1)检查部位不符合申请单要求;(2)扫描覆盖范围不足;(3)注射对比剂失败(如只有少量对比剂注射到血管内);(4)图像质量难以诊断,如图像的呼吸、运动伪影;心率和心律失常伪影;图像噪声过大;冠状动脉开口处的错层伪影等^[31-33]。值班或值机医师有责任协助技师确定扫描是否成功,以及图像质量能否满足书写报告要求。

1. 图像质量的主观评价:(1)优秀:可诊断的冠状动脉(直径 ≥ 1.5 mm)节段中的 90%(15 个节段中的 13 个节段)没有伪影,能够诊断;(2)良好:可诊断的冠状动脉节段中的 80%(15 个节段中的 12 个节段)没有伪影,能够诊断;(3)中等:可诊断的冠状动脉节段中的 70%(15 个节段中的 11 个节段)没有伪影,能够诊断;(4)差:可诊断的冠状动脉节段中的 60%(15 个节段中的 9 个节段)没有伪影,能够诊

断。伪影是指冠状动脉运动、患者呼吸、心率不齐或心律失常等导致的图像不能诊断,不包括冠状动脉钙化。

2. 图像质量的客观评价:(1)确保冠状动脉和心脏扫描范围的完整性;(2)冠状动脉 CT 值最佳范围 300~450 HU,特别注意冠状动脉远端是否有满意的增强;(3)图像噪声:测量主动脉根部图像的 CT 值标准差(SD 值)作为图像噪声,<20 HU 为优秀,20~30 HU 为良好,>30 HU 为图像质量差,>40 HU 为检查失败(图像不能评估)。推荐目标控制在 20~30 HU 以下,推荐使用迭代重建降低图像噪声。

(二)辐射剂量评价标准

心脏 CT 辐射剂量相关的影响因素按影响力分为两个等级:扫描模式^[34-35]、管电压^[36]、管电流^[37]和螺距^[38](螺旋扫描模式)为一级,而扫描范围、扫描野及各种心脏专用前置或后置降噪过滤器^[39-40]的使用为二级。本指南强调图像质量与剂量的平衡,即在保证图像质量的前提下,选择个性化扫描方案降低辐射剂量和对对比剂用量,同时实现本指南规范化扫描趋向于均一化的图像质量。采用本指南推荐的前瞻性心电门控轴扫模式和低管电压技术,CCTA 辐射剂量应该控制在 2~5 mSv 以下,高端 CT 设备推荐采用前瞻性心电门控大螺距或单心跳轴扫模式,辐射剂量应该控制在 1~2 mSv 以下。

四、总结与志谢

我国高端 CT 设备应用于心脏和冠状动脉 CT 检查仍有较大发展空间,本指南会有广阔的规范化应用需求和临床指导意义。在冠心病的早诊早防治策略中,CT 已经成为重要的技术手段,该指南将会带动相应领域的技术普及与推广,以及心血管疾病临床知识和技能的提高。

本指南就心脏和冠状动脉 CT 血管成像的规范化操作内容进行了较为详尽的阐述,供国内同行参考。本指南写作专家组建议对各 CT 设备厂家的临床应用培训人员率先进行培训,更新他们的知识结构,规范他们的培训内容。专家组发布该指南,更寄希望于广大 CT 工作人员,主动地自觉践行本指南的相关内容。对指南中存在的问题给予及时的反馈,专家组将确保及时修正。

本指南参考引用了心脏冠状动脉 CT 研究领域的杰出成果,对完成这些研究的广大学者表示深深的敬意。本指南先后有 30 名国内专家对上述内容进行了 50 余处重大修改,确保了指南的权威性和

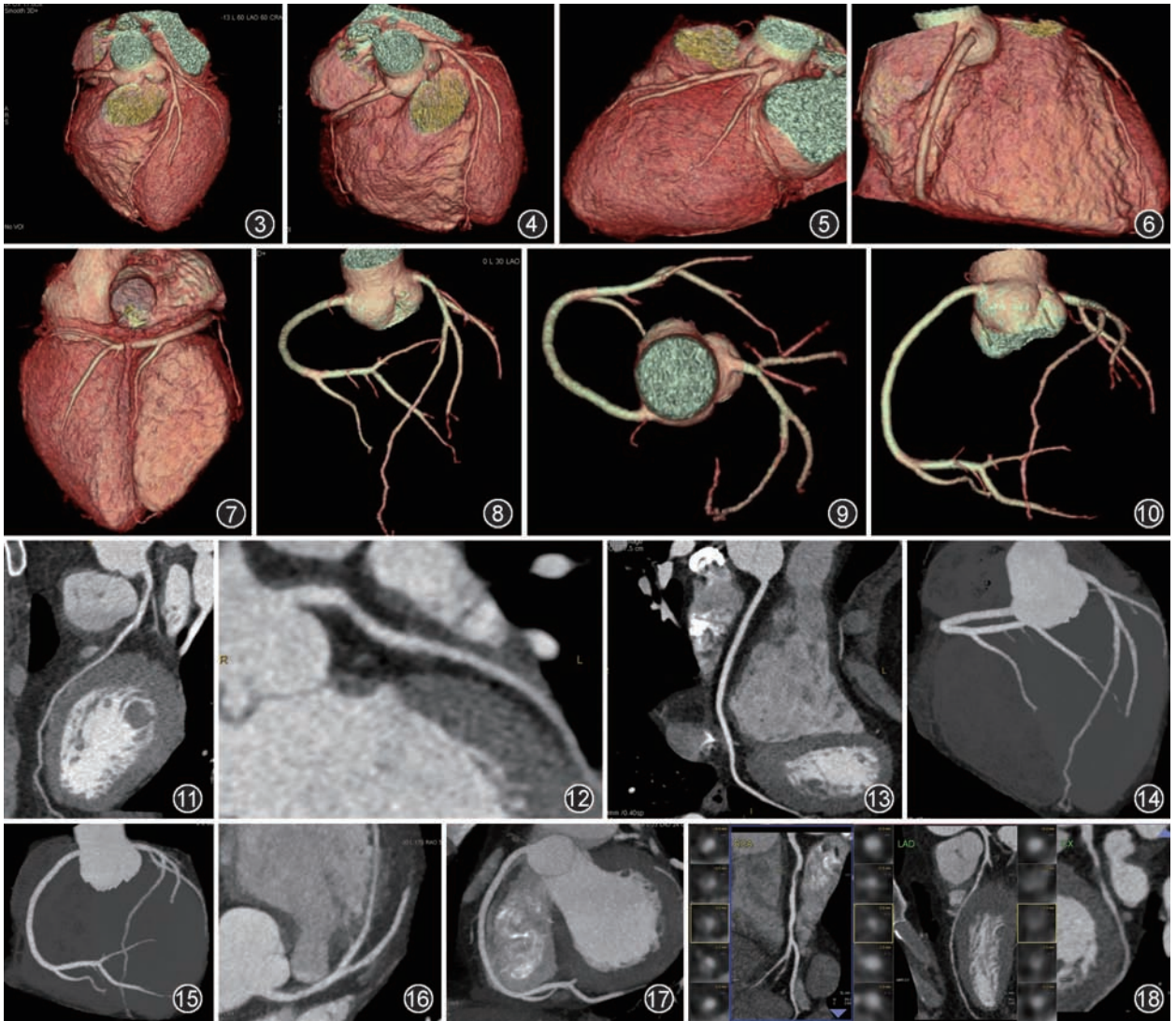


图3~7 容积再现(VR)图像。图3主要观察左主干、前降支和对角支,采用左前斜位60°+足头位60°(LAO 60°+CRA 60°)。图4主要观察左主干、前降支和右冠状动脉近段,采用左前斜位0°+足头位60°(LAO 0°+CRA 60°)。图5主要观察前降支近中段和回旋支,采用左前斜位130°+足头位30°(LAO 130°+CRA 30°)。图6主要观察右冠状动脉近中段,采用右前斜位30°+足头位0°(RAO 30°+CRA 0°)。图7主要观察右冠状动脉远段和后降支、左室后支,采用右前斜位120°+头足位60°(LAO 120°+CAU 60°) **图8~10** 仅保留冠状动脉的VR血管树图像。图8可以同时观察左、右冠状动脉及其部分分支血管,采用左前斜位30°+足头位40°(LAO 30°+CRA 40°)。图9类似CAG的“蜘蛛位”,可以同时观察左右冠状动脉及其部分分支血管,利于观察左主干、前降支和回旋支分叉,以及右冠状动脉开口和近段,采用左前斜位120°+足头位70°(LAO 120°+CRA 70°)。图10主要观察左前降支的中远段、右冠状动脉全程,采用左前斜位30°+头足位10°(LAO 30°+CAU 10°) **图11~13** 曲面重组(CPR)图像。图11为沿左冠状动脉开口至前降支末梢的中心线所做的CPR图像,主要观察左主干和前降支的全程,利于显示管腔狭窄和斑块的关系。图12为沿左冠状动脉开口至回旋支(或粗大钝缘支)末梢的中心线所做的CPR图像,主要观察左主干和回旋支的管腔情况。图13为沿右冠状动脉开口至后降支或左室后支末梢的中心线所做的CPR图像,主要观察右冠状动脉的全程 **图14~17** 最大密度投影(MIP)图像。图14为仅保留冠状动脉的MIP图像,该序列图像利于显示钙化斑块的存在,但钙化斑块容易遮挡管腔,利于观察非钙化斑块导致的管腔狭窄。本图主要用于观察左前降支的中远段和对角支、右冠状动脉近段和远段(包括后降支),采用左前斜位10°+足头位60°(LAO 10°+CRA 60°)。图15为仅保留冠状动脉的MIP图像,主要用于观察右前降支全程和后降支、左室后支,采用左前斜位30°+头足位0°(LAO 30°+CAU 0°)。图16采用薄层(10 mm)MIP技术,主要用于显示左主干和左前降支的近中段,以及对角支。图17采用薄层(10 mm)MIP技术,主要用于显示右冠状动脉 **图18** 血管轴面图像(cross-sectional images)。对于有病变的冠状动脉血管,CPR图像用于展示血管腔及其狭窄所在的斑块,斑块局部采用垂直长轴的横断面图像,利于显示斑块与管腔和管壁的关系,甚至对斑块导致的“血管重构”,以及依据斑块内部强化是否均匀等情况判定“餐巾环征”(一种易损斑块的CT征象)十分必要。从左至右,依次显示右冠状动脉(RCA)、前降支(LAD)和回旋支(CX)的血管狭窄和斑块及其横断面图像(多个小图)

科学指导价值,对大家的辛勤付出表示深深的感谢!中华医学会放射学分会候任主任委员金征宇

教授、心胸专业委员会主任委员伍建林教授和《中华放射学杂志》编辑部高宏主任等领导 and 专家们,

积极倡导与推动了本指南的组织和写作,在此一并表示深深的感谢!各 CT 设备厂家和对比剂公司对本指南的编写给予了大力支持,在此一并表示感谢!

专家组成员(按姓氏拼音排序) 范占明(首都医科大学附属北京安贞医院放射科)、高宏(中华放射学杂志编辑部)、韩磊(中国医学科学院北京协和医学院阜外医院放射影像科)、侯阳(中国医科大学附属盛京医院放射科)、金征宇(中国医学科学院北京协和医学院北京协和医院放射科)、李东(天津医科大学总医院放射科)、李真林(四川大学华西医院放射科)、刘辉(广东省人民医院放射科)、刘杰(郑州大学第一附属医院放射科)、刘文亚(新疆医科大学附属第一医院放射科)、龙莉玲(广西医科大学第一附属医院放射科)、罗天友(重庆医科大学附属第一医院放射科)、吕滨(中国医学科学院北京协和医学院阜外医院放射影像科)、史河水(华中科技大学同济医学院附属协和医院放射科)、孙凯(内蒙古包头中心医院影像科)、王锡明(山东省医学影像学研究所)、王怡宁(中国医学科学院北京协和医学院北京协和医院放射科)、伍建林(大连大学附属中山医院放射科)、徐磊(首都医科大学附属北京安贞医院放射科)、杨立(解放军总医院放射科)、叶剑定(上海交通大学医学院上海胸科医院放射科)、余建群(四川大学华西医院放射科)、赵雁鸣(哈尔滨医科大学附属第二医院放射科)、张佳胤(上海交通大学附属上海第六人民医院放射科)、张琳琳(中华放射学杂志编辑部)、张龙江(南京军区南京总医院放射科)、郑敏文(第四军医大学附属西京医院放射科)、周旭辉(中山医科大学附属第一医院放射科)

参 考 文 献

- [1] Kramer CM, Budoff MJ, Fayad ZA, et al. ACCF/AHA 2007 clinical competence statement on vascular imaging with computed tomography and magnetic resonance. A report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association/American College of Physicians Task Force on Clinical Competence and Training[J]. J Am Coll Cardiol, 2007, 50(11):1097-1114. DOI: 10.1016/j.jacc.2007.07.006.
- [2] Thomas JD, Zoghbi WA, Beller GA, et al. ACCF 2008 training statement on multimodality noninvasive cardiovascular imaging. A Report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association/American College of Physicians Task Force on Clinical Competence and Training Developed in Collaboration With the American Society of Echocardiography, the American Society of Nuclear Cardiology, the Society of Cardiovascular Computed Tomography, the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance, and the Society for Vascular Medicine[J]. J Am Coll Cardiol, 2009,53(1):125-146. DOI: 10.1016/j.jacc.2008.10.004.
- [3] Jacobs JE, Boxer LM, Desjardins B, et al. ACR practice guideline for the performance and interpretation of cardiac computed tomography (CT)[J]. J Am Coll Radiol, 2006,3(9): 677-685. DOI: 10.1016/j.jacr.2006.06.006.
- [4] Abbara S, Arbab-Zadeh A, Callister TQ, et al. SCCT guidelines for performance of coronary computed tomographic angiography: a report of the Society of Cardiovascular Computed Tomography Guidelines Committee[J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2009,3(3):190-204. DOI: 10.1016/j.jcct.2009.03.004.
- [5] Mark DB, Berman DS, Budoff MJ, et al. ACCF/ACR/AHA/NASCI/SAIP/SCAI/SCCT 2010 expert consensus document on coronary computed tomographic angiography: a report of the American College of Cardiology Foundation Task Force on Expert Consensus Documents[J]. Circulation, 2010,121(22): 2509-2543. DOI: 10.1161/CIR.0b013e3181d4b618.
- [6] 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.
- [7] 吕滨,张兆琪,张立仁,等.解读美国《冠状动脉 CT 血管成像专家共识》,客观评价冠状动脉 CT 血管成像的临床价值[J].中华放射学杂志,2011,45(10):903-907.DOI:10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2011.10.002.
- [8] 中华放射学杂志心脏冠状动脉多排 CT 临床应用协作组.心脏冠状动脉多排 CT 临床应用专家共识[J].中华放射学杂志,2011,45(1):9-17. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2011.01.003.
- [9] Liu K, Hsieh C, Zhuang N, et al. Current utilization of cardiac computed tomography in mainland China: A national survey [J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2016,10(1):76-81. DOI: 10.1016/j.jcct.2015.11.004.
- [10] Yin WH, Lu B, Gao JB, et al. Effect of reduced X-ray tube voltage, low iodine concentration contrast medium, and sinogram-affirmed iterative reconstruction on image quality and radiation dose at coronary CT angiography: results of the prospective multicenter REALISE trial[J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2015,9(3):215-224. DOI: 10.1016/j.jcct.2015.01.010.
- [11] 孙明利,吕滨,吴润泽,等.双源 CT 前瞻性心电门控对较高心率患者冠状动脉成像的准确性研究[J].中华放射学杂志,2011,45(5):436-440. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2011.05.004.
- [12] Yin WH, Lu B, Hou ZH, et al. Detection of coronary artery stenosis with sub-milliSievert radiation dose by prospectively ECG-triggered high-pitch spiral CT angiography and iterative reconstruction[J]. Eur Radiol, 2013,23(11):2927-2933. DOI: 10.1007/s00330-013-2920-0.
- [13] Miller JM, Rochitte CE, Dewey M, et al. Diagnostic performance of coronary angiography by 64-row CT[J]. N Engl J Med, 2008, 359(22):2324-2336. DOI: 10.1056/NEJMoa0806576.
- [14] Budoff MJ, Dowe D, Jollis JG, et al. Diagnostic performance of 64-multidetector row coronary computed tomographic angiography for evaluation of coronary artery stenosis in individuals without known coronary artery disease: results from the prospective multicenter ACCURACY (Assessment by Coronary Computed Tomographic Angiography of Individuals Undergoing Invasive Coronary Angiography) trial[J]. J Am Coll Cardiol, 2008,52(21):1724-1732. DOI: 10.1016/j.jacc.2008.07.031.
- [15] Machida H, Tanaka I, Fukui R, et al. Current and novel imaging techniques in coronary CT[J]. Radiographics, 2015,35(4):991-1010. DOI: 10.1148/rg.2015140181.
- [16] Eisentopf J, Achenbach S, Ulzheimer S, et al. Low-dose dual-source CT angiography with iterative reconstruction for coronary artery stent evaluation[J]. JACC Cardiovasc Imaging,

- 2013,6(4):458-465. DOI: 10.1016/j.jcmg.2012.10.023.
- [17] 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]. 中华放射学杂志, 2013,47(10):869-872. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2013.10.001.
- [18] 韩宇欣, 王辉, 汤漪凡, 等. 双源CT冠状动脉血管成像中降低团注追踪触发监测频率的可行性研究[J]. 中华放射学杂志, 2016,50(4):280-283. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2016.04.010.
- [19] Schindler A, Vliegthart R, Schoepf UJ, et al. Iterative image reconstruction techniques for CT coronary artery calcium quantification: comparison with traditional filtered back projection in vitro and in vivo[J]. Radiology, 2014,270(2):387-393. DOI: 10.1148/radiol.13130233.
- [20] 蒋骏, 黄美萍, 雷益, 等. 全模型迭代重建技术在心脏CT成像中应用的实验研究[J]. 中华放射学杂志, 2015,49(6):473-477. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2015.06.017.
- [21] Suh YJ, Kim YJ, Hong SR, et al. Combined use of automatic tube potential selection with tube current modulation and iterative reconstruction technique in coronary CT angiography[J]. Radiology, 2013,269(3):722-729. DOI: 10.1148/radiol.13130408.
- [22] Zheng M, Liu Y, Wei M, et al. Low concentration contrast medium for dual-source computed tomography coronary angiography by a combination of iterative reconstruction and low-tube-voltage technique: feasibility study[J]. Eur J Radiol, 2014,83(2):e92-99. DOI: 10.1016/j.ejrad.2013.11.006.
- [23] Schuhbaeck A, Achenbach S, Layritz C, et al. Image quality of ultra-low radiation exposure coronary CT angiography with an effective dose < 0.1 mSv using high-pitch spiral acquisition and raw data-based iterative reconstruction[J]. Eur Radiol, 2013,23(3):597-606. DOI: 10.1007/s00330-012-2656-2.
- [24] Andreini D, Pontone G, Mushtaq S, et al. Low-dose CT coronary angiography with a novel intracycle motion-correction algorithm in patients with high heart rate or heart rate variability[J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2015, 16(10):1093-1100. DOI: 10.1093/ehjci/jev033.
- [25] Lee H, Kim JA, Lee JS, et al. Impact of a vendor-specific motion-correction algorithm on image quality, interpretability, and diagnostic performance of daily routine coronary CT angiography: influence of heart rate on the effect of motion-correction[J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2014,30(8):1603-1612. DOI: 10.1007/s10554-014-0499-4.
- [26] 余美, 马跃, 王玉科, 等. 不同低对比剂注射方案对冠状动脉CTA图像质量影响的初步研究[J]. 中国临床医学影像杂志, 2015,26(11):779-783.
- [27] 邢艳, 潘存雪, 古丽娜·阿扎提, 等. 冠状动脉CT成像中个体化对比剂注射方案提高不同浓度对比剂强化均一性的价值[J]. 中华放射学杂志, 2015,49(11):853-857. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2015.11.011.
- [28] Zhou Q, Jiang B, Dong F, et al. Computed tomography coronary stent imaging with iterative reconstruction: a trade-off study between medium kernel and sharp kernel[J]. J Comput Assist Tomogr, 2014,38(4):604-612. DOI: 10.1097/RCT.0000000000000080.
- [29] Seifarth H, Poesken M, Wienbeck S, et al. Automatic selection of optimal systolic and diastolic reconstruction windows for dual-source CT coronary angiography[J]. Eur Radiol, 2009,19(7):1645-1652. DOI: 10.1007/s00330-009-1329-2.
- [30] 徐同江, 刘建新. 比较不同心电图编辑技术改善期前收缩患者冠状动脉CT血管成像图像质量的特点[J]. 中华放射学杂志, 2016,50(1):60-61. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2016.01.014.
- [31] Kim HR, Yoo SM, Rho JY, et al. MDCT evaluation of atherosclerotic coronary artery disease: what should radiologists know?[J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2014,30 Suppl 1:1-11. DOI: 10.1007/s10554-014-0411-2.
- [32] Kondo T, Takamura K, Fujimoto S, et al. Motion artifacts on coronary CT angiography images in patients with a pericardial effusion[J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2014,8(1):19-25. DOI: 10.1016/j.jcct.2013.09.005.
- [33] Hirai N, Horiguchi J, Fujioka C, et al. Prospective versus retrospective ECG-gated 64-detector coronary CT angiography: assessment of image quality, stenosis, and radiation dose[J]. Radiology, 2008,248(2):424-430. DOI: 10.1148/radiol.2482071804.
- [34] Shmilovich H, Cheng VY, Dey D, et al. Optimizing image contrast display improves quantitative stenosis measurement in heavily calcified coronary arterial segments on coronary CT angiography: a proof-of-concept and comparison to quantitative invasive coronary angiography[J]. Acad Radiol, 2014,21(6):797-804. DOI: 10.1016/j.acra.2014.02.016.
- [35] Sun ML, Lu B, Wu RZ, et al. Diagnostic accuracy of dual-source CT coronary angiography with prospective ECG-triggering on different heart rate patients[J]. Eur Radiol, 2011,21(8):1635-1642. DOI: 10.1007/s00330-011-2107-5.
- [36] Hausleiter J, Martinoff S, Hadamitzky M, et al. Image quality and radiation exposure with a low tube voltage protocol for coronary CT angiography results of the PROTECTION II Trial[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2010,3(11):1113-1123. DOI: 10.1016/j.jcmg.2010.08.016.
- [37] 张俊, 韩丹, 何波, 等. 智能最佳管电压扫描技术在双源CT冠状动脉成像中的应用价值[J]. 中华放射学杂志, 2015,49(4):288-292. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2015.04.012.
- [38] Park CK, Choo KS, Jeon UB, et al. Image quality and radiation dose of 128-slice dual-source CT venography using low kilovoltage combined with high-pitch scanning and automatic tube current modulation[J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2013,29 Suppl 1:47-51. DOI: 10.1007/s10554-013-0252-4.
- [39] 高建华, 孙宪昶, 李剑颖, 等. 不同前置滤线器对64层螺旋CT冠状动脉成像质量及放射剂量影响的对照研究[J]. 中华放射学杂志, 2007,41(8):858-861. DOI: 10.3760/j.issn:1005-1201.2007.08.020.
- [40] 高建华, 戴汝平, 郑静晨, 等. 应用后过滤重组降低64层螺旋CT心脏检查X线剂量的初步研究[J]. 中华放射学杂志, 2007,41(10):1014-1018. DOI: 10.3760/j.issn:1005-1201.2007.10.003.

(收稿日期:2017-03-13)

(本文编辑:张琳琳)

附件1 心脏冠状动脉CT血管成像患者知情同意书(仅供参考)

心脏和冠状动脉CT血管成像(CCTA)是一项无创的影像学检查,主要用于冠状动脉等疾病的排查。该检查由临床医师开具申请单,影像科负责完成该项检查和诊断。由于患者个体差异,以及病情程度不同,该项检查存在以下相对禁忌证或风险,检查前需要患者及其直系亲属认真阅读以下告知内容,并签署该知情同意书。

1. 既往使用碘对比剂没有发生严重不良反应的病史,如严重过敏或过敏样反应甚至休克。

2. 使用碘对比剂,可能出现不同程度的急性不良反应,或迟发性不良反应(1 h 至 1 周内可能出现),详情参见药品说明书。

3. 没有正在发作的甲状腺功能亢进、严重肾功能不全、哮喘等病史。有这些病史,需要临床医师进一步评估,并与患者及其家属共同认可。

4. 该检查由于使用高压注射器注射对比剂,流率较快,注射部位可能出现碘对比剂漏出,造成皮下组织肿胀、疼痛、麻木感,甚至溃烂、坏死等。

5. 该检查存在一定剂量的 X 射线辐射,对身体的损伤在安全范围内。孕妇特别是怀孕 3 个月内的妇女为相对禁忌,需要医师和患者及亲属达成共识。

6. 某些患者因病情严重,如严重的肺动脉高压、不稳定心绞痛或者心肌梗死、严重的心功能不全、急性主动脉夹层等,CT 检查过程中可能出现病情的突然发展甚至出现死亡等严重不良事件。

7. 检查过程中,患者呼吸、心率的变化或者各种原因的心律失常,均可能导致检查失败。

8. 可能出现的其他意外情况。

9. 我已详细阅读以上告知内容,对医护人员的解释已经清楚和理解,经慎重考虑,同意做此项检查。

10. 签署人:患者或其监护人;如果是监护人:监护人与患者关系;谈话医护人员。

签署时间:年月日。