

· 规范与共识 ·

经导管主动脉瓣置换术 CT 检查技术 中国专家共识

中国医师协会放射医师分会心血管学组 国家心血管病专业质控中心心血管影像质控
专家工作组 中国研究型医院学会心血管影像专业委员会

通信作者:徐磊,首都医科大学附属北京安贞医院医学影像科,北京 100029, Email:
leixu2001@aliyun.com;宋光远,首都医科大学附属北京安贞医院瓣膜介入中心,北京
100029, Email: songgy_anzhen@vip.163.com;吴永健,中国医学科学院 北京协和医学院
国家心血管病中心 阜外医院心内科,北京 100037, Email: Yongjianwu_nccd@163.com;
吕滨,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,北
京 100037, Email: blu@vip.sina.com

【摘要】 经导管主动脉瓣置换术(transcatheter aortic valve replacement, TAVR)已成为老年主动
脉瓣狭窄患者的一线治疗手段。准确的影像学评估是TAVR手术成功的基础与关键,CT影像已经成
为拟定手术策略参考的“金标准”。本共识总结了TAVR术前及术后CT检查的患者准备、数据采集与
图像重建、对比剂使用及图像质量评价,旨在规范TAVR相关CT检查方案,促进TAVR在我国规范、快
速发展。

【关键词】 体层摄影术,X线计算机; 经导管主动脉瓣置换术; 专家共识

基金项目:国家重点研发计划(2022YFE0209800、2020YFC2008100);国家自然科学基金
(82271986)

Chinese expert consensus on the CT examination for transcatheter aortic valve replacement

Cardiovascular Group of Chinese Association of Radiologists, Expert Group on Quality Control of
Cardiovascular Imaging of National Center for Cardiovascular Quality Improvement, Cardiovascular
Imaging Committee of Chinese Research Hospital Association

Corresponding author: Xu Lei, Department of Radiology, Beijing Anzhen Hospital, Capital Medical
University, Beijing 100029, China, Email: leixu2001@aliyun.com; Song Guangyuan, Interventional
Center of Valvular Heart Disease, Beijing Anzhen Hospital, Capital Medical University, Beijing 100029,
China, Email: songgy_anzhen@vip.163.com; Wu Yongjian, Department of Cardiology, Fuwai Hospital,
Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Beijing 100037, China, Email:
Yongjianwu_nccd@163.com; Lyu Bin, Department of Radiology, Fuwai Hospital, Chinese Academy of
Medical Sciences and Peking Union Medical College, Beijing 100037, China, Email: blu@vip.sina.com

经导管主动脉瓣置换术(transcatheter aortic
valve replacement, TAVR),或称经导管主动脉瓣置
入术(transcatheter aortic valve implantation, TAVI),

以下简称TAVR,自2002年首例成功实施以来^[1],
已成为老年主动脉瓣狭窄(aortic stenosis, AS)患者
的一线治疗手段。TAVR的安全性和有效性已通

DOI: 10.3760/cma.j.cn112149-20231205-00444

收稿日期 2023-12-05 本文编辑 张琳琳

引用本文:中国医师协会放射医师分会心血管学组,国家心血管病专业质控中心心血管影像质控专家工
作组,中国研究型医院学会心血管影像专业委员会.经导管主动脉瓣置换术CT检查技术中国专家共识
[J].中华放射学杂志,2024,58(4):365-374. DOI: 10.3760/cma.j.cn112149-20231205-00444.



过多个大型、多中心、前瞻性、随机对照研究以及临床注册研究证实^[2-7],其适应证已逐步拓展到外科手术中低危风险患者^[8-11]。随着器械的更新和操作技术的进步,TAVR 在治疗主动脉瓣反流方面也显示了良好的前景^[12]。目前,全球已有 150 余万例患者受益于该技术,我国 TAVR 技术正处于蓬勃发展时期,截至 2022 年,已有 400 余家医院成功开展超过 1.5 万例 TAVR 手术。预计将来会有更多的主动脉瓣疾病患者接受 TAVR 治疗。

准确的影像学评估是 TAVR 手术成功的基础与关键,CT 影像已经成为拟定手术策略参考的“金标准”^[7, 13]。精准的 CT 评估可以显著提高手术成功率,减少患者并发症^[11],除存在禁忌证外,所有拟行 TAVR 手术的患者均应该接受 CT 检查^[14]。除了术前评价,CT 在 TAVR 术后随访、手术效果评价方面也具有重要作用。目前,我国在 TAVR 相关 CT 检查及评估方面尚存在方法不统一、应用不规范等情况。为了 CT 应用的规范化,促进 TAVR 在我国规范、快速发展,综合国内影像及心内科、心外科专家意见,制定此项专家共识。

一、TAVR 术前 CT 检查技术

CTA 检查能够对 TAVR 术前所需的形态学信息实现全面、准确的评价^[15-16]。CTA 可大范围成像,并利用多种后处理图像重组方式,对主动脉及其分支动脉的走行、管腔及管壁特征进行准确评价,为手术的路径选择提供精确的评价信息^[17]。利用 CTA 检查对主动脉瓣周围结构进行动态立体观察及精确多维度测量,对选择支架瓣膜尺寸、提高介入手术效率和减少术后并发症具有重要意义^[18]。

因此,保证 TAVR 术前 CT 检查的图像质量至关重要。确保足够的扫描范围、合理应用心电门控技术、使用尽可能少的对比剂、针对不同设备类型选用合理的扫描策略,才能确保 CTA 检查安全、成功,并获得高质量的图像。

(一)患者准备

1.知情同意:接受检查前,需详细询问患者相关病史和检查禁忌证,签署 CT 检查及碘对比剂使用知情同意书^[19]。

2.TAVR 术前 CTA 检查相对禁忌证:(1)碘对比剂相关的相对禁忌证,参考《对比剂使用指南(第 1 版)》^[20]和《碘对比剂使用指南(第 2 版)》^[21]。(2)电离辐射相关的相对禁忌证,孕妇是 CTA 检查的相对禁忌证。(3)当患者存在以上情况时,需要临床医师与影像医师共同权衡检查可能带来的风险和患者

的获益。

3.TAVR 术前 CTA 检查前准备:(1)检查前 3~4 h 内避免进食,防止呕吐误吸。(2)非紧急情况下,检查前 12 h 内不摄入含咖啡因食物和饮料,包括咖啡、茶等,避免检查过程中出现心率过高或心律不齐造成运动伪影。(3)检查前结合患者心功能和肾功能情况,由病房医师决定是否进行适当水化(方法见后述),以保护肾脏,便于建立静脉通道,并避免检查后低血压情况。(4)对于肾功能正常的患者,检查前可服用当天所有的常规药物。(5)对于肾功能不全的患者,尤其是估算肾小球滤过率(estimated glomerular filtration rate, eGFR) < 30 ml⁻¹·min⁻¹·1.73 m⁻²,如正在服用二甲双胍类药物,需在注射对比剂前和注射后分别停药 48 h。(6)需对患者及陪护人进行健康宣教,告知检查过程及目的,以及检查可能发生的相关不良事件及处理原则。(7)建立静脉通路,在肘前静脉、肘正中静脉或贵要静脉预埋 18~22 G 静脉留置针。(8)扫描前,需对患者进行呼吸屏气配合训练,嘱患者吸气末屏气 10~15 s。(9)连接心电监控电极,关注患者屏气时心电图信号及心率,心电识别欠佳时要及时调整。(10)单纯重度 AS,CT 检查时不建议使用硝酸甘油^[14]。

核心观点 1 TAVR 术前 CTA 检查需做好充分准备并签署知情同意书及排除相应禁忌证。

(二)数据采集与图像重建

1.TAVR 术前 CTA 检查设备的要求:进行 TAVR 术前 CTA 检查时,需要 64 排及以上 CT 扫描仪。准直器宽度在亚毫米以内。

2.TAVR 术前 CTA 检查扫描内容:TAVR 术前 CTA 检查应当包括以下 3 个方面内容(表 1)。

(1)心电门控非增强 CT 扫描:非增强 CT 扫描需在 CTA 扫描前进行,用于主动脉瓣钙化和冠状动脉钙化的定量评价。扫描范围需覆盖主动脉根部和冠状动脉区域,采用前瞻性心电门控心脏舒张期(60%~80%的 RR 间期)扫描。管电压 120 kV,管电流可根据患者体型进行调制或设备自动调制。按照冠状动脉钙化积分的方式进行图像重建,建议分别测量和标记出主动脉瓣钙化积分^[22]和冠状动脉钙化积分^[14, 23]。

与冠状动脉钙化积分扫描重建图像不同的是,主动脉根部重建层厚需在亚毫米级,并垂直于左心室流出道、主动脉窦、升主动脉连线的方向进行图像重组,从而清晰显示主动脉瓣结构及其与钙化的

表1 TAVR术前CT推荐扫描范围、扫描模式及重建参数

CT检查	推荐扫描范围	推荐扫描方式	推荐重建参数
心电门控非增强CT扫描	覆盖主动脉根部区域和全部心脏	舒张期前瞻性心电门控扫描	(1)舒张期重建;(2)小FOV重建;(3)层厚亚毫米级(计算冠状动脉钙化积分、主动脉瓣钙化时可用2.5 mm重建)
心电门控CTA扫描	上界:气管隆突处(包括升主动脉中段);下界:心脏下缘(全部心脏)	建议全心动周期回顾性心电门控扫描	(1)以10% R-R间期为间隔重建多期图像;(2)小FOV重建;(3)层厚亚毫米级
大范围非心电门控螺旋CTA扫描	上界:下颌角水平(包括部分颈总动脉);下界:股骨小转子水平(包括左右股动脉近段)	(1)非心电门控螺旋扫描;(2)双源CT建议行大螺距扫描	(1)大FOV重建;(2)层厚亚毫米级

注:TAVR为经导管主动脉瓣置换术;CTA为CT血管成像;FOV为视野

关系。

(2)心电门控全期相CTA扫描:为了保证主动脉瓣周结构数据测量的准确度,必须采用心电门控技术进行扫描,采集期相包括收缩期及舒张期,推荐使用心电门控进行全期相数据采集^[24]。Z轴范围应覆盖升主动脉中段、主动脉根部及整个心脏,即气管隆突处至心脏下缘,此扫描模式可同时用于评价冠状动脉^[25-26]。

(3)大范围非心电门控螺旋CTA扫描:该扫描模式的作用是术前评估和选择合适的导管入路。股动脉入路是TAVR的优选入路,90%以上患者可以选择股动脉入路^[27-28]。无法选用股动脉入路的常见原因包括血管管腔狭小、血管迂曲严重以及重度钙化等情况^[8, 29]。其次,颈动脉亦是可选择的入路^[30],其优点在于路径直接,便于操作,缺点在于对大脑供血的潜在影响,且需外科切开。在我国,颈动脉已成为仅次于股动脉路径之外的次选常用的外周血管入路。其他入路选择包括经心尖、经锁骨下动脉、经升主动脉以及下腔静脉入路等^[31-33],这些入路需要血管外科或心脏外科支持,并且在有经验且具备完善心脏团队的TAVR中心来完成。

因此,为了满足以上术前评估的需求,主动脉CTA扫描范围需要包括颈动脉、全主动脉、髂动脉及股动脉上段,即上自下颌角水平,下至股骨小转子水平。推荐采用大螺距的螺旋扫描模式,尽量缩短扫描时间,减少辐射剂量及对比剂用量。同时尽可能在1次对比剂注射后,完成上述心电门控和非心电门控CTA扫描,避免2次注射对比剂^[34]。

核心观点2 进行TAVR术前CTA检查需要64排及以上CT扫描仪。

核心观点3 TAVR术前CTA检查应包括3个方面内容:(1)心电门控非增强CT扫描;(2)心电门控全期相CTA扫描;(3)大范围非心电门控螺旋CTA扫描。

旋CTA扫描。

核心观点4 TAVR术前检查主动脉CTA扫描范围需要包括颈动脉、全主动脉、髂动脉及股动脉上段。

3.TAVR术前CTA检查推荐扫描原则:由于CT设备的差异,用于TAVR术前CTA检查的采集模式并不是唯一的,但需要遵循下面的扫描原则。

(1)受检者选择仰卧位,在扫描开始之前,应对患者进行屏气训练,尽可能在患者吸气末屏气后再进行扫描,从而减少呼吸运动伪影。如因患者病情重而难以完成屏气,则尽可能选用高端CT快速扫描模式。(2)定位像扫描在吸气末屏气时采集,定位像扫描范围包括自下颌角水平至股骨小转子水平。定位像扫描条件可根据各设备自动设置,仅需更改扫描范围即可,其余不做特殊修改。(3)主动脉根部的成像应采用全期相心电门控技术采集数据,以便消除运动伪影,实现形态及功能信息的精确测量^[14]。(4)为了进一步减少患者接受的电离辐射,在进行颈动脉、全主动脉、髂动脉及股动脉扫描时,建议采用螺旋扫描,无需心电门控^[13]。同时,大螺距扫描有利于减少碘对比剂用量和辐射剂量。(5)如果CT设备无法在1次增强过程中完成主动脉根部和心脏的心电门控扫描,以及全主动脉大范围螺旋扫描,可依次分别进行两次增强扫描^[35-36]。

4.不同CT设备推荐扫描策略(表2):使用第1代双源CT及64排CT设备进行TAVR术前评价时,建议通过分次扫描依次获得^[35-36]。(1)在完成前瞻性心电门控非增强CT扫描之后,行全期相回顾性心电门控CTA扫描,包括心脏及主动脉根部和升主动脉中段的数据;(2)非心电门控螺旋扫描CTA数据。这种情况下,由于对比剂用量较多,需谨慎评判患者肾功能,提前做好水化准备,必要时可以分2d进行检查。

宽探测器CT扫描设备可以在1次对比剂注射

表2 不同CT设备的推荐扫描策略

CT设备	推荐扫描策略
第1代双源CT或64排CT	(1)可以分两次进行检查;(2)首先完成前瞻性心电门控非增强CT扫描,以及回顾性心电门控CTA扫描(第1次注射对比剂),范围自升主动脉中段至整个心脏;(3)再次检查时,行大范围螺旋CTA扫描(第2次注射对比剂)
宽探测器CT(64排以上)	(1)首先完成前瞻性心电门控非增强CT扫描;(2)注射对比剂后先进行心电门控全期相CTA轴位容积扫描;(3)随后即刻追加大范围螺旋CTA扫描,在1次对比剂注射过程中完成上述全部CTA数据采集
支持大螺距扫描的双源CT	(1)首先完成前瞻性心电门控非增强CT扫描;(2)注射对比剂后先进行回顾性心电门控全期相CT容积扫描;(3)随后即刻追加大范围大螺距CTA扫描,在1次对比剂注射过程中完成上述全部CTA数据采集

注:CTA为CT血管成像

后,完成上述所有检查^[37]。采用支持大螺距扫描的双源CT时,完成非增强CT扫描之后和全期相回顾性心电门控CTA扫描后,可采用大螺距的螺旋扫描进行全主动脉大范围CTA检查。这种扫描模式的优势在于能够缩短扫描时间,减少对比剂用量及降低辐射剂量。对于扫描后的图像重建,建议采用心脏收缩期约30%R-R间期的图像,此时主动脉根部内径为最大值,人工瓣膜的测量多基于该期图像完成。

核心观点5 尽可能使用高端CT设备,通过1次注射对比剂,序贯完成包括回顾性心电门控全期相数据的主动脉根部和心脏CTA检查,以及非心电门控的全主动脉螺旋CTA检查;如受CT设备条件限制,不能1次完成时,可分两次增强扫描完成检查。

5. 对比剂注射策略及扫描延迟触发时间:(1)对比剂注射流率及总量需综合考虑,并根据所使用对比剂浓度、设备扫描速度、受检者静脉血管条件、受检者体重、心肾功能状况等因素综合设定。但需保证增强后升主动脉内平均CT值高于250 HU。对于临床经常使用的含碘300~370 mg/ml浓度的碘对比剂,采用4.0~6.0 ml/s的流率,团注50~100 ml对比剂(根据设备及其扫描序列确定),即可产生足够的增强对比度。身高体重较大、心功能较差的患者,或扫描速度低的设备需要注射更多的对比剂。

有条件的CT设备建议应用迭代算法或人工智能(artificial intelligence, AI)等降噪技术进行图像重建,以降低图像噪声。

(2)扫描延迟触发时间:可以采用对比剂团注测试法(test-bolus)或对比剂团注追踪法(bolus-tracking)帮助确定扫描的延迟触发时间。①对比剂团注测试法:使用小剂量(15~20 ml)对比剂团注测试,并同时监测升主动脉管腔内CT值随时间变化曲线,根据CT值达到峰值时间及不同设

备的扫描模式确定延迟触发时间(通常为峰值时间后4~8 s)。对于主动脉瓣病变造成的左心排血受阻、左心功能不全的患者,小剂量团注测试法有助于获得更为精确的触发时间^[38],但会增加对比剂及生理盐水的用量,对于左心功能不全患者需综合考量,同时也会增加一定的辐射剂量。②对比剂团注追踪法:需根据不同设备类型在肺动脉或升主动脉管腔内设置ROI,并设定CT值的阈值(通常为100~150 HU)。对比剂注射后,监测ROI内CT值变化,到达阈值时启动扫描。由于患者AS及左心室功能减低程度不同,血流动力学状态在患者间存在比较明显的差异,按固定阈值触发扫描可能造成管腔内强化不足,甚至导致检查失败。因此有经验的作者可选用手动触发的方式,根据患者循环状态适当延迟触发。

核心观点6 对比剂注射流率及总量的确定,需综合考虑选用的对比剂浓度、管电压、设备扫描速度、患者静脉血管条件、患者体重、心肾功能状态等因素,但需保证增强后升主动脉内平均CT值高于250 HU。

核心观点7 扫描延迟触发时间的确定,可采用对比剂团注测试法或对比剂团注追踪法,但对于左心排血受阻、左心功能不全的患者,推荐应用对比剂团注测试法,有助于获得更为精确的触发时间。

6. 肾功能不全患者检查方案:拟行TAVR手术患者,大多是高龄患者,且常伴有慢性肾病及肾功能不全^[39-40],因此建议CTA检查前参考eGFR,而不是简单参考肌酐水平。尽管已有证据表明AS可能导致心肾综合征,而TAVR可以同时改善心脏及肾脏功能^[41-42],针对肾功能受损的患者在行CTA检查前,仍需详细评价对比剂的风险和获益。如获益大于风险,确需行CTA检查,建议遵循以下原则。

(1)对比剂使用方案:对于所有肾功能不全的患者,应尽量减少对比剂使用,建议采用低剂量扫

描方案,并尽量使用等渗对比剂,推荐使用 128 排及以上或者第 2 代双源 CT 及以上的 CT 扫描仪进行检查。推荐采用迭代算法或 AI 算法进行图像重建^[43-44],因此可以降低使用管电压,从而减少对比剂使用(根据患者身高、体重及不同机型,对比剂用量可控制在 80 ml 以下),流率 3~5 ml/s。如果条件限制,确实需要两次注射对比剂完成扫描,可考虑隔日分次扫描方案。

(2)检查前水化方案:①对于肾功能轻-中度降低的患者($\text{eGFR} \geq 30 \text{ ml}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73 \text{ m}^{-2}$),检查前无须常规水化^[14]。②当 $\text{eGFR} < 30 \text{ ml}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73 \text{ m}^{-2}$ 时,推荐检查前常规补液^[14, 45],补液方法如下:静脉输注 1.4% 碳酸氢钠溶液,在对比剂给药前以 $3 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 的速度输注 1 h,或静脉输注生理盐水,以 $1 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 的速度在给药前输注 3~4 h,以及给药后输注 4~6 h^[46-47]。③终末期肾衰竭患者($\text{eGFR} < 15 \text{ ml}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73 \text{ m}^{-2}$),应慎重进行 CTA 检查,如确有必要,主治医师应根据患者全身情况进行预防性补液。此类患者是否需要注射对比剂后立即进行血液透析,目前尚无循证医学证据,建议由临床医师团队根据患者具体情况决定。④患者如同时合并肾功能不全及左心功能不全,水化方案需由临床医师酌情考虑。

7. 心功能不全患者检查方案:(1)对于纽约心脏病学会(NYHA)心功能分级Ⅲ级及以下的拟行 TAVR 患者,可常规进行术前 CTA 检查^[48-50]。(2)对于 NYHA 心功能分级Ⅳ级的患者,或仍需静脉用利尿剂患者,或心力衰竭失代偿期患者,建议抗心力衰竭治疗稳定后再行 TAVR 术前 CTA 检查^[44];如确有必要立即行 TAVR 手术时,需临床医师与放射科医师共同权衡 CTA 检查的风险与获益,如确实需要 CTA 检查,须在临床医师严密监测下行 CTA 检查。此类患者行 CTA 检查,注射对比剂后,有诱发低血压、循环崩溃、心脏骤停的风险,需警惕且做好抢救准备。

核心观点 8 拟行 TAVR 术前 CTA 检查的患者需要常规检查肾功能;肾功能不全患者尽量减少对比剂用量,推荐使用等渗对比剂。轻中度肾功能不全可常规进行 CTA 检查,重度肾功能不全需临床医师评估患者的风险与获益后进行检查。

核心观点 9 心力衰竭失代偿期行 CTA 检查需慎重,非失代偿期患者可在严密观察下进行 CTA 检查。

8. 辐射剂量控制:由于 TAVR 术前测量精度及扫描范围的需求,患者需要接受较大 CT 辐射剂量

的扫描,因此要进行扫描参数优化,以尽量降低患者所接受的辐射剂量。

(1)根据患者体重指数(body mass index, BMI)及操作者既往经验,对患者实施个性化参数设定,尽量选择较低的管电压及管电流^[51]。推荐应用管电压及管电流自动调制功能,并给出相应扫描参考值^[36]。管电压建议设置为 70~120 kV,当患者体重低于 60 kg 或者胸廓直径小于 32 cm 时,可以根据不同设备,推荐采用低管电压,如 70 或者 80 kV;对于大多数体重低于 100 kg 且 BMI 低于 30 kg/m^2 的患者,推荐采用 100 kV;当患者 BMI 大于 30 kg/m^2 或者胸廓直径大于 38 cm 时,推荐采用 120 kV。并根据噪声指数的设定,采用自动调节技术设置管电流^[52]。

(2)应用图像迭代重建或 AI 重建技术,从而尽可能使用更低的管电压、管电流^[53],并减少对比剂用量。

(3)进行大范围扫描时,推荐使用尽量大的螺距进行扫描,从而降低辐射剂量^[54]。需要注意的是,大螺距意味着 Z 轴方向上更短的扫描时间,对于血流速度相对较慢的患者,需要更为精确的延迟触发扫描时间,避免主动脉远段管腔内对比剂充盈不良而导致检查失败。

核心观点 10 检查过程中需要尽量降低患者所接受的辐射剂量,尽量选择较低的管电压及管电流,应用迭代重建算法或 AI 重建技术;当大范围扫描时推荐增大螺距进行扫描。

9. TAVR 术前 CTA 图像重建:(1)重建图像时,为保证测量的准确度,主动脉根部及全主动脉重建均要求层厚为亚毫米级,层间距小于或等于层厚。矩阵选择 512×512 以保证空间分辨率。

(2)对于主动脉根部的重建期相选择,建议以 10%R-R 间期为间隔进行图像重建,获得 4D CTA 数据以观察瓣叶形态及运动特点,并进行主动脉瓣周结构的术前测量^[14]。如系统允许,可选择 50 ms 间隔的绝对时相进行图像重建。不论选择哪种重建方式,重建之前均需检查心电数据,确保系统正确识别心电图的 R 波峰,并根据需要进行手动校正。

(3)重建图像 Z 轴覆盖范围,主动脉根部及心脏重建,要求自气管隆突层面至心脏膈面。对于全主动脉重建,要求自下颌角水平至股骨小转子水平。

(4)FOV 设定:主动脉根部及心脏数据重建时

建议选择小 FOV (220 mm×220 mm), 以获得更高的空间分辨力图像, 有利于观察瓣叶及心脏结构。全主动脉数据重建, 建议选择大 FOV (320 mm×320 mm), 范围包括全主动脉及双侧股动脉上段、腋动脉, 以满足入路血管的术前评价。

(5) 重建算法的选择: 推荐采用迭代算法或 AI 算法进行 CT 图像重建, 减少图像噪声。如使用滤波反投影法 (filtered back projection, FBP) 进行图像重建, 主动脉根部及心脏数据重建时建议选择柔和的重建卷积核, 以提高图像密度分辨力, 降低噪声, 例如选用 30 以下的卷积核 (B26f 等)。

核心观点 11 TAVR 术前 CTA 图像重建要求 层厚为亚毫米级, 推荐采用迭代算法或 AI 算法进行图像重建, 主动脉根部和心脏要求全期相重建, 建议 10%R-R 间期或以 50 ms 为间隔进行图像重建。

10. CT 图像质量评价与质量控制: 检查过程中的每一步, 均需经过训练的放射科及临床医护人员进行监督和陪护, 以确保获得高质量检查结果。建议扫描结束后立即浏览 CT 图像, 评价图像质量是否能满足 TAVR 术前规划。(1) 扫描范围是否达到要求。(2) 主动脉根部和心脏的扫描期相是否满足要求。(3) 轴位观察左心室腔、主动脉各段及一级分支血管管腔内平均 CT 值是否达到 250 HU 以上, 并与周围组织间有良好的对比度。(4) 图像是否存在明显运动伪影, 是否影响主动脉瓣、冠状动脉、心腔及血管结构的观察和测量。(5) 图像重建是否完整。

如图像质量不能满足 TAVR 术前规划的相关评估要求, 则需要进行第 2 次检查。第 2 次扫描仅需重复之前失败的检查内容即可。扫描的时间需要根据患者心功能、肾功能及对比剂使用的情况, 由放射科医师及临床医师综合评估。

CT 图像质量评估标准如下^[11] (图 1~16)。1 级: 管腔增强效果不佳或图像运动伪影重, 管腔及瓣膜的密度对比度差, 影响管腔和瓣膜边界勾画, 无法对图像进行分析; 2 级: 管腔与周围组织存在一定的密度对比度, 但部分管腔和瓣膜边界勾画存在困难, 无法对图像进行精准分析; 3 级: 可以观察到主动脉根部管腔和瓣膜边界, 可进行大致分析, 但由于运动伪影或钙化伪影, 难以保证测量的准确度; 4 级: 主动脉根部管腔和瓣膜边界清晰锐利, 可进行精确分析。

1、2 级图像建议重新扫描, 3 级图像可视具体评价结果酌情补充扫描。部分患者因对比剂用量

过大, 导致管腔过度强化, 虽然可清晰分辨主动脉瓣形态结构, 但可能影响瓣膜钙化的评价。

核心观点 12 TAVR 术前 CTA 检查需立刻评价图像质量及扫描完整度, 如图像质量或完整度不足以满足 TAVR 术前规划的相关评估要求, 则需要进行第 2 次检查或补充扫描。

二、TAVR 术后 CT 检查

1. TAVR 术后 CT 检查方案: 术后 CT 评估是观察 TAVR 瓣膜功能及其手术并发症的重要检查, 相较于超声心动图, 术后 CT 检查在评价主动脉根部及其周围组织、瓣周结构、瓣架展开形态、植入深度和瓣叶血栓方面更具优势, 能够指导术后抗栓药物治疗和评估瓣膜耐久性。

对于有临床症状和 (或) 超声发现瓣膜流速压差异常患者, 建议及时进行主动脉根部全期相心电图门控 CTA 扫描, 对于无症状且超声无特殊异常患者, 建议根据临床具体情况于术后半年内行全期相心电图门控 CTA 扫描, 依据患者术后 CT 有无瓣叶增厚或血栓形成, 可以制定个体化抗凝、抗栓策略。

在接受术后 CT 检查前, 需与临床医师沟通, 对患者进行相关检查前准备, 包括检查知情同意、相对禁忌证评价以及合理水化等, 减少检查相关并发症及过敏反应的发生。具体内容同术前检查。

TAVR 术后 CT 扫描优先推荐包括主动脉根部和心脏的心电门控 CTA 扫描。为了保证 TAVR 术后对瓣架、瓣叶、主动脉根部及冠状动脉的全面评估及其准确度, 必须使用心电门控进行扫描, 应包括全期相心电门控数据, 以便消除运动伪影, 对瓣架状况、瓣叶运动及血栓等方面进行准确评价^[24]。Z 轴范围应覆盖部分升主动脉、主动脉根部及整个心脏, 即气管隆突处至心脏下缘, 余扫描方案同术前主动脉根部评价扫描方案。

2. TAVR 术后 CT 图像质量评价与质量控制: TAVR 术后随访 CTA 成像, 同样需要在检查过程中进行相应的监督、护理与图像评价, 以确保检查的安全性及图像的准确度。CT 图像质量评估标准同术前图像评价。如图像质量无法满足术后评估的要求, 需要择期进行第 2 次检查。

核心观点 13 TAVR 术后 CTA 检查应根据临床具体情况、患者依从性于术后半年内行包括升主动脉、主动脉根部和心脏的全期相心电图门控 CTA 扫描。

综上所述, CTA 检查已经成为 TAVR 术前常规评估不可或缺的一部分。CTA 检查前, 应严格把握

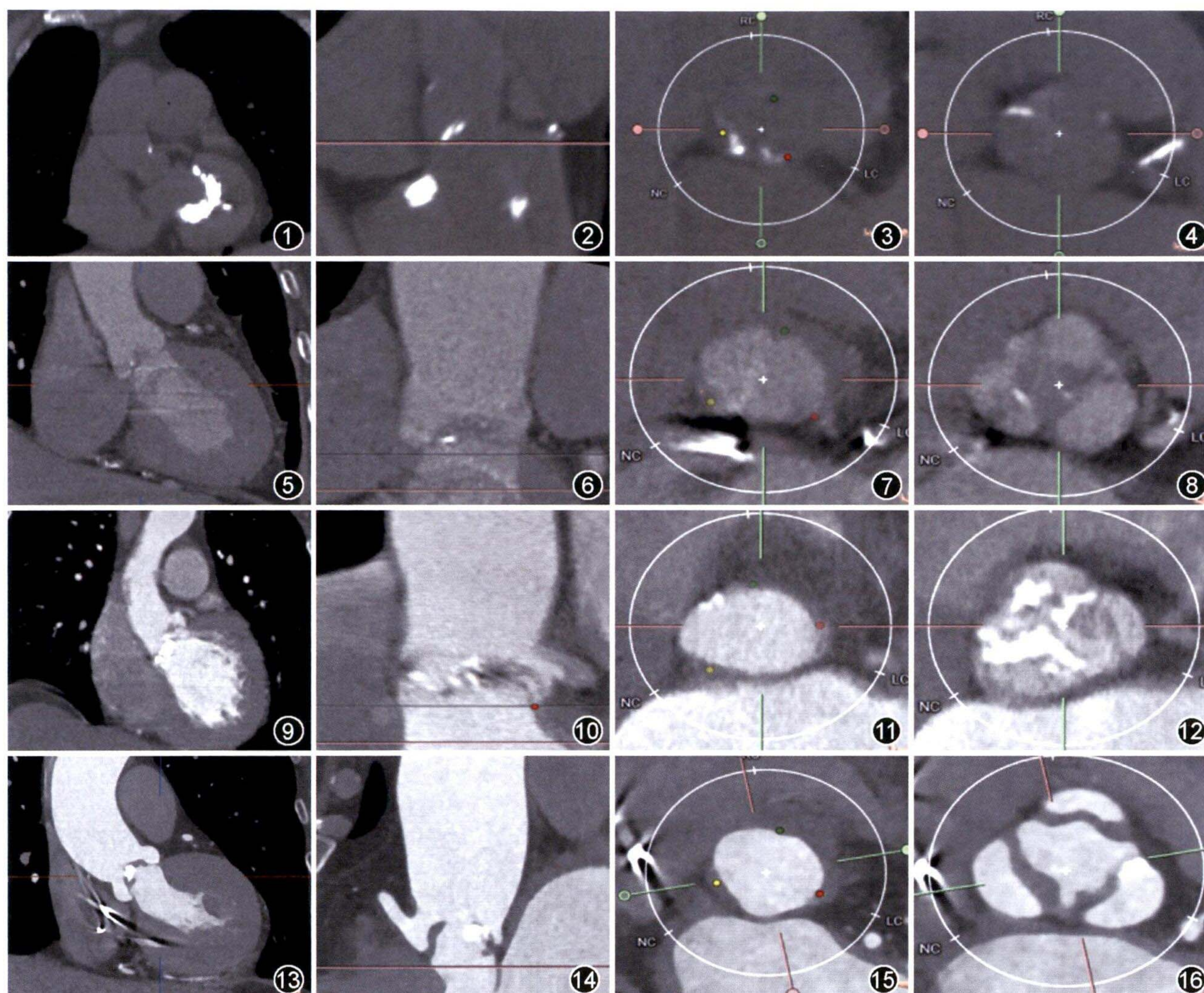


图 1~16 主动脉瓣膜 CT 图像质量评估示意图。图 1~4 为 1 级,分别为斜冠状位、斜矢状位、瓣环轴位、瓣口轴位,无增强对比效果,管腔和瓣膜边界不清晰,无法对图像进行分析,需重新扫描;图 5~8 为 2 级,分别为斜冠状位、斜矢状位、瓣环轴位、瓣口轴位,可看到部分管腔和瓣膜边界,但仍无法对图像进行分析,需重新扫描;图 9~12 为 3 级,分别为斜冠状位、斜矢状位、瓣环轴位、瓣口轴位,可看到管腔和瓣膜边界,可进行大致分析,但难以保证精准,建议补充扫描;图 13~16 为 4 级,分别为斜冠状位、斜矢状位、瓣环轴位、瓣口轴位,管腔和瓣膜边界清晰锐利,无伪影,可进行精确分析

适应证及禁忌证。检查中需合理确定扫描范围,并根据不同检查设备选用适合的扫描方案,结合设备扫描速度、受检者 BMI、对比剂浓度、受检者静脉血管条件及心肾功能状态等因素,制定最佳扫描方案,在满足主动脉根部及全主动脉评价的图像质量前提下,尽可能降低辐射剂量及对比剂用量。

除了能常规评估主动脉根部、冠状动脉斑块和狭窄、左心室形态及功能、手术路径外,无创的 CT 血流储备分数还能够提供冠状动脉狭窄的血流动力学信息,CT 心肌应变可以评价 3 个轴向的心肌收缩能力,CT 心肌细胞外容积量化指标可用以评价弥漫性心肌纤维化,这些新技术将为指导 TAVR 治疗提供更加完善而又精准的功能信息。

以上检查流程,需要由经验丰富的放射科技

师、放射科医师及 TAVR 手术医师组成的多学科团队共同完成。

执笔者:王辉(首都医科大学附属北京安贞医院医学影像科)、张楠(首都医科大学附属北京安贞医院医学影像科)、姚晶(首都医科大学附属北京安贞医院瓣膜介入中心)、韩磊(中国医学科学院阜外医院放射影像科)、任心爽(中国医学科学院阜外医院放射影像科)、王墨扬(中国医学科学院阜外医院心内科)、侯阳(中国医科大学附属盛京医院放射科)

指导专家:高润霖(中国医学科学院阜外医院心内科)、葛均波(复旦大学附属中山医院心内科)、韩雅玲(解放军北部战区总医院心内科)、刘士远(海军军医大学第二附属医院放射诊断科)、金征宇(中国医学科学院北京协和医院放射科)、陈敏(北京医院放射科)、周玉杰(首都医科大学附属北京安贞医院心内科)、黄连军(上海德达医院医学影像与介入科)、郑敏文(空军军医大学第一附属医院放射诊断科)

专家组成员(按姓氏拼音排序):陈良龙(福建医科大学附属协和医院心内科)、戴旭(中国医科大第一附属医院放射科)、窦勇(山西省心血管病医院CT室)、方臻飞(中南大学湘雅二医院心内科)、葛英辉(阜外华中心血管病医院放射科)、龚良庚(南昌大学第二附属医院医学影像中心)、郭应坤(四川大学华西第二医院放射科)、郭应强(四川大学华西医院心外科)、韩磊(中国医学科学院阜外医院放射影像科)、贺毅(首都医科大学附属北京友谊医院放射科)、侯阳(中国医科大学附属盛京医院放射科)、胡春洪(苏州大学附属第一医院放射科)、胡红杰(浙江大学医学院附属邵逸夫医院放射科)、姜楠(天津市胸科医院心外科)、李澄(南京医科大学附属明基医院放射科)、李东(天津医科大学总医院医学影像科)、刘辉(广东省人民医院放射科)、刘军(中南大学湘雅二医院放射科)、刘敏(中日友好医院放射诊断科)、刘先宝(浙江大学医学院附属第二医院心内科)、刘长福(解放军总医院第六医学中心心内科)、陆方林(上海市第一人民医院心外科)、罗建方(广东省人民医院心内科)、吕滨(中国医学科学院阜外医院放射影像科)、牡丹(南京鼓楼医院医学影像科)、潘文志(复旦大学附属中山医院心内科)、邱建星(北京大学第一医院医学影像科)、任心爽(中国医学科学院阜外医院放射影像科)、尚小珂(华中科技大学同济医学院附属协和医院心内科)、史河水(华中科技大学同济医学院附属协和医院放射科)、宋光远(首都医科大学附属北京安贞医院瓣膜介入中心)、苏晞(武汉亚洲心脏病医院心内科)、孙凯(深圳市龙岗区第三人民医院医学影像科)、王刚(兰州大学第一医院放射科)、王辉(首都医科大学附属北京安贞医院医学影像科)、王墨扬(中国医学科学院阜外医院心内科)、王焱(厦门大学附属心血管病医院心内科)、王怡宁(中国医学科学院北京协和医院放射科)、吴延庆(南昌大学第二附属医院心内科)、吴永健(中国医学科学院阜外医院心内科)、萧毅(海军军医大学第二附属医院放射诊断科)、肖喜刚(哈尔滨医科大学附属第一医院放射科)、徐凯(解放军北部战区总医院心内科)、徐磊(首都医科大学附属北京安贞医院医学影像科)、薛蕴菁(福建医科大学附属协和医院医学影像科)、杨本强(解放军北部战区总医院放射诊断科)、杨剑(空军军医大学第一附属医院心外科)、杨健(西安交通大学第一附属医院医学影像科)、杨旗(首都医科大学附属北京朝阳医院放射科)、姚晶(首都医科大学附属北京安贞医院瓣膜介入中心)、于波(哈尔滨医科大学附属第二医院心内科)、袁旭春(中国医学科学院阜外医院深圳医院放射科)、张海波(首都医科大学附属北京安贞医院心外科)、张佳胤(上海市第一人民医院放射科)、张俊杰(南京市第一医院心内科)、张龙江(解放军东部战区总医院放射诊断科)、张楠(首都医科大学附属北京安贞医院医学影像科)、张同(哈尔滨医科大学附属第四医院医学影像科)、张永高(郑州大学第一附属医院放射科)、周晖(中南大学湘雅医院放射科)、朱力(宁夏医科大学总医院放射科)

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

志谢 本篇专家共识的完成,凝聚了包括放射科、心内科、心外科等专家团队的临床经验、专业知识和辛勤汗水,在此表示深深的感谢!对于中国医师协会放射医师分会心血管学组、国家心血管病专业质控中心心血管影像质控专家工作组、中国研究型医院学会心血管影像专业委员会、中华医学会放射学分会心胸学组、中国医师协会心血管内科医师分会结构性心脏病专业委员会、亚太结构性心脏病俱乐部等学会的大力支持表示深深的感谢!本篇专家共识的完成,建立在完成国家重点研发计划项目基础上,通过完成大量TAVR手术及其CT影像评估,不断积累临床经验,对参与完成课

题任务的所有参加单位和专家表示深深的感谢

参 考 文 献

- [1] Eltchaninoff H, Zajarias A, Tron C, et al. Transcatheter aortic valve implantation: technical aspects, results and indications[J]. Arch Cardiovasc Dis, 2008, 101(2): 126-132. DOI: 10.1016/s1875-2136(08)70270-5.
- [2] Hahn RT, Pibarot P, Stewart WJ, et al. Comparison of transcatheter and surgical aortic valve replacement in severe aortic stenosis: a longitudinal study of echocardiography parameters in cohort a of the PARTNER trial (placement of aortic transcatheter valves) [J]. J Am Coll Cardiol, 2013, 61(25): 2514-2521. DOI: 10.1016/j.jacc.2013.02.087.
- [3] Makkar RR, Fontana GP, Jilaihawi H, et al. Transcatheter aortic-valve replacement for inoperable severe aortic stenosis[J]. N Engl J Med, 2012, 366(18):1696-1704. DOI: 10.1056/NEJMoa1202277.
- [4] Reardon MJ, Van Mieghem NM, Popma JJ, et al. Surgical or transcatheter aortic-valve replacement in intermediate-risk patients[J]. N Engl J Med, 2017, 376(14):1321-1331. DOI: 10.1056/NEJMoa1700456.
- [5] Popma JJ, Deeb GM, Yakubov SJ, et al. Transcatheter aortic-valve replacement with a self-expanding valve in low-risk patients[J]. N Engl J Med, 2019, 380(18): 1706-1715. DOI: 10.1056/NEJMoa1816885.
- [6] Pibarot P, Salaun E, Dahou A, et al. Echocardiographic results of transcatheter versus surgical aortic valve replacement in low-risk patients: the partner 3 trial[J]. Circulation, 2020, 141(19): 1527-1537. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.119.044574.
- [7] Bonow RO, Brown AS, Gillam LD, et al. ACC/AATS/AHA/ASE/EACTS/HVS/SCA/SCAI/SCCT/SCMR/STS 2017 appropriate use criteria for the treatment of patients with severe aortic stenosis: a report of the American College of Cardiology appropriate use criteria task force, American Association for Thoracic Surgery, American Heart Association, American Society of Echocardiography, European Association for Cardio-thoracic Surgery, Heart Valve Society, Society of Cardiovascular Anesthesiologists, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Society of Cardiovascular Computed Tomography, Society for Cardiovascular Magnetic Resonance, and Society of Thoracic Surgeons[J]. J Am Soc Echocardiogr, 2018, 31(2): 117-147. DOI: 10.1016/j.echo.2017.10.020.
- [8] Otto CM, Kumbhani DJ, Alexander KP, et al. 2017 ACC expert consensus decision pathway for transcatheter aortic valve replacement in the management of adults with aortic stenosis: a report of the American College of Cardiology task force on clinical expert consensus documents[J]. J Am Coll Cardiol, 2017, 69(10):1313-1346. DOI: 10.1016/j.jacc.2016.12.006.
- [9] Otto CM, Nishimura RA, Bonow RO, et al. 2020 ACC/AHA guideline for the management of patients with valvular heart disease: executive summary: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association joint committee on clinical practice guidelines [J]. Circulation, 2021, 143(5): e35-71. DOI: 10.1161/

CIR.00000000000000932.

- [10] Vahanian A, Beyersdorf F, Praz F, et al. 2021 ESC/EACTS guidelines for the management of valvular heart disease [J]. *Eur Heart J*, 2022, 43(7): 561-632. DOI: 10.1093/eurheartj/ehab395.
- [11] 中国医师协会心血管内科医师分会结构性心脏病专业委员会. 中国经导管主动脉瓣置换术临床路径专家共识 (2021 版) [J]. *中国循环杂志*, 2022, 37(1): 12-23. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3614.2022.01.003.
- [12] Saijo Y, Kusunose K, Takahashi T, et al. Impact of transcatheter aortic valve replacement on cardiac reverse remodeling and prognosis in mixed aortic valve disease [J]. *J Am Heart Assoc*, 2024, 16: e033289. DOI: 10.1161/JAHA.123.033289.
- [13] Achenbach S, Delgado V, Hausleiter J, et al. SCCT expert consensus document on computed tomography imaging before transcatheter aortic valve implantation (TAVI)/transcatheter aortic valve replacement (TAVR) [J]. *J Cardiovasc Comput Tomogr*, 2012, 6(6): 366-380. DOI: 10.1016/j.jcct.2012.11.002.
- [14] Blanke P, Weir-McCall JR, Achenbach S, et al. Computed tomography imaging in the context of transcatheter aortic valve implantation (TAVI)/transcatheter aortic valve replacement (TAVR): an expert consensus document of the Society of Cardiovascular Computed Tomography [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2019, 12(1): 1-24. DOI: 10.1016/j.jcmg.2018.12.003.
- [15] Salemi A, Worku BM. Standard imaging techniques in transcatheter aortic valve replacement [J]. *J Thorac Dis*, 2017, 9: 289-298. DOI: 10.21037/jtd.2017.03.114.
- [16] Yucel-Finn A, Nicol E, Leipsic JA, et al. CT in planning transcatheter aortic valve implantation procedures and risk assessment [J]. *Clin Radiol*, 2021, 76(1): e1-19. DOI: 10.1016/j.crad.2019.11.015.
- [17] Hameed I, Oakley CT, Hameed N, et al. Peripheral access size evaluation in transfemoral transcatheter aortic valve replacement [J]. *J Card Surg*, 2022, 37(4): 801-807. DOI: 10.1111/jocs.16293.
- [18] Qureshi WT, Malhotra R, Schmidlin EJ, et al. Evaluation of ECG-gated and fast low-angle shot (FLASH) dual source computed tomography scanning protocols for transcatheter aortic valve replacement [J]. *Acad Radiol*, 2021, 28(12): 1669-1674. DOI: 10.1016/j.acra.2020.08.027.
- [19] 北京市医学影像质量控制与改进中心专家组. 北京市“对比剂使用知情同意书”推荐模板 [J]. *中国医学影像技术*, 2016, 32(7): 1143-1145.
- [20] 中华医学会放射学分会, 中国医师协会放射医师分会. 对比剂使用指南 (第 1 版) [J]. *中华放射学杂志*, 2008, 42(3): 320-325. DOI: 10.3321/j.issn:1005-1201.2008.03.021.
- [21] 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.
- [22] Pawade T, Sheth T, Guzzetti E, et al. Why and how to measure aortic valve calcification in patients with aortic stenosis [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2019, 12(9): 1835-1848. DOI: 10.1016/j.jcmg.2019.01.045.
- [23] Faroux L, Guimaraes L, Wintzer-Wehekind J, et al. Coronary artery disease and transcatheter aortic valve replacement: JACC state-of-the-art review [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2019, 74(3): 362-372. DOI: 10.1016/j.jacc.2019.06.012.
- [24] Elattar MA, Vink LW, van Mourik MS, et al. Dynamics of the aortic annulus in 4D CT angiography for transcatheter aortic valve implantation patients [J]. *PLoS One*, 2017, 12(9): e0184133. DOI: 10.1371/journal.pone.0184133.
- [25] Tipograf Y, McLaren T, Savoie B, et al. The role of coronary CTA and CT-fractional flow reserve evaluating coronary artery disease in transcatheter aortic valve replacement [J]. *J Card Surg*, 2022, 37(12): 4133-4137. DOI: 10.1111/jocs.16967.
- [26] van den Boogert T, Claessen B, Opolski MP, et al. Detection of proximal coronary stenosis in the work-up for transcatheter aortic valve implantation using CTA (from the DEPICT CTA collaboration) [J]. *Eur Radiol*, 2022, 32(1): 143-151. DOI: 10.1007/s00330-021-08095-2.
- [27] Junquera L, Urena M, Latib A, et al. Comparison of transfemoral versus transradial secondary access in transcatheter aortic valve replacement [J]. *Circ Cardiovasc Interv*, 2020, 13(3): e008609. DOI: 10.1161/CIRCINTERVENTIONS.119.008609.
- [28] Veulemans V, Hellhammer K, Borhan A, et al. Short and mid-term outcomes in patients deemed inoperable undergoing transapical and transfemoral TAVR with an STS-PROM below four percent [J]. *J Clin Med*, 2021, 10(13): 2993. DOI: 10.3390/jcm10132993.
- [29] Block PC, Mack M. If TAVR cannot be transfemoral, then what? [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2016, 9(22): 2326-2328. DOI: 10.1016/j.jcin.2016.09.021.
- [30] Kirker EB, Hodson RW, Spinelli KJ, et al. The carotid artery as a preferred alternative access route for transcatheter aortic valve replacement [J]. *Ann Thorac Surg*, 2017, 104(2): 621-629. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2016.12.030.
- [31] Panchal HB, Ladia V, Amin P, et al. A meta-analysis of mortality and major adverse cardiovascular and cerebrovascular events in patients undergoing transfemoral versus transapical transcatheter aortic valve implantation using edwards valve for severe aortic stenosis [J]. *Am J Cardiol*, 2014, 114(12): 1882-1890. DOI: 10.1016/j.amjcard.2014.09.029.
- [32] Yousef S, Brown JA, Kliner D, et al. Transfemoral versus subclavian access for transcatheter aortic valve replacement [J]. *Innovations (Phila)*, 2022, 17(2): 95-101. DOI: 10.1177/15569845221079623.
- [33] Ramlawi B, Anaya-Ayala JE, Reardon MJ. Transcatheter aortic valve replacement (TAVR): access planning and strategies [J]. *Methodist DeBakey Cardiovasc J*, 2012, 8(2): 22-25. DOI: 10.14797/mdcj-8-2-22.
- [34] Shuai T, Li W, You Y, et al. Combined coronary CT angiography and evaluation of access vessels for tavr patients in free-breathing with single contrast medium injection using a 16-cm-wide detector CT [J]. *Acad Radiol*, 2021, 28(12): 1662-1668. DOI: 10.1016/j.acra.2020.08.003.
- [35] Felmlly LM, De Cecco CN, Schoepf UJ, et al. Low contrast medium-volume third-generation dual-source computed tomography angiography for transcatheter aortic valve replacement planning [J]. *Eur Radiol*, 2017, 27(5): 1944-1953. DOI: 10.1007/s00330-016-4537-6.
- [36] Mangold S, De Cecco CN, Schoepf UJ, et al. CT angiography for planning transcatheter aortic valve replacement using

- automated tube voltage selection: image quality and radiation exposure[J]. *Eur J Radiol*, 2017, 86: 276-283. DOI: 10.1016/j.ejrad.2016.11.023.
- [37] Mata-Mbemba D, Labani A, El Ghannudi S, et al. 320-row CT transcatheter aortic valve replacement planning with a single reduced contrast media bolus injection[J]. *PLoS One*, 2018, 13(9): e0204145. DOI: 10.1371/journal.pone.0204145.
- [38] Kok M, Turek J, Muhl C, et al. Low contrast media volume in pre-TAVI CT examinations[J]. *Eur Radiol*, 2016, 26(8): 2426-2435. DOI: 10.1007/s00330-015-4080-x.
- [39] Leon MB, Smith CR, Mack M, et al. Transcatheter aortic-valve implantation for aortic stenosis in patients who cannot undergo surgery[J]. *N Engl J Med*, 2010, 363(17):1597-1607. DOI: 10.1056/NEJMoa1008232.
- [40] Faggiano P, Frattini S, Zilioli V, et al. Prevalence of comorbidities and associated cardiac diseases in patients with valve aortic stenosis. potential implications for the decision-making process[J]. *Int J Cardiol*, 2012, 159(2): 94-99. DOI: 10.1016/j.ijcard.2011.02.026.
- [41] Witberg G, Steinmetz T, Landes U, et al. Change in kidney function and 2-year mortality after transcatheter aortic valve replacement[J]. *JAMA Netw Open*, 2021, 4(3): e213296. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2021.3296.
- [42] Cubeddu RJ, Asher CR, Lowry AM, et al. Impact of transcatheter aortic valve replacement on severity of chronic kidney disease[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2020, 76(12): 1410-1421. DOI: 10.1016/j.jacc.2020.07.048.
- [43] Lacy SC, Benjamin MM, Osman M, et al. Low contrast and low kV CTA before transcatheter aortic valve replacement: a systematic review[J]. *J Cardiovasc Imaging*, 2023, 31(2): 108-115. DOI: 10.4250/jcvi.2022.0108.
- [44] Abbata 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.
- [45] van Mourik MS, van Kesteren F, Planken RN, et al. Short versus conventional hydration for prevention of kidney injury during pre-TAVI computed tomography angiography[J]. *Neth Heart J*, 2018, 26(9):425-432. DOI: 10.1007/s12471-018-1133-1.
- [46] Kodzwa R. ACR manual on contrast media: 2018 updates [J]. *Radiol Technol*, 2019, 91(1):97-100.
- [47] Merten GJ, Burgess WP, Gray LV, et al. Prevention of contrast-induced nephropathy with sodium bicarbonate: a randomized controlled trial[J]. *JAMA*, 2004, 291(19): 2328-2334. DOI: 10.1001/jama.291.19.2328.
- [48] Chow B, Coyle D, Hossain A, et al. Computed tomography coronary angiography for patients with heart failure (CTA-HF): a randomized controlled trial (IMAGE-HF 1C) [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2021, 22(9): 1083-1090. DOI: 10.1093/ehjci/jeaa109.
- [49] White RD, Kirsch J, Bolen MA, et al. ACR appropriateness criteria® suspected new-onset and known nonacute heart failure[J]. *J Am Coll Radiol*, 2018, 15(11):S418-431. DOI: 10.1016/j.jacr.2018.09.031.
- [50] Meinel FG, Bayer RR, Zwerner PL, et al. Coronary computed tomographic angiography in clinical practice: state of the art[J]. *Radiol Clin North Am*, 2015, 53(2): 287-296. DOI: 10.1016/j.rcl.2014.11.012.
- [51] Onoda H, Ueno H, Hashimoto M, et al. Clinical advantages of using low tube voltage in third-generation 192-slice dual-source computed tomographic angiography before transcatheter aortic valve implantation[J]. *Int Heart J*, 2019, 60(5):1091-1097. DOI: 10.1536/ihj.18-693.
- [52] Maroules CD, Rybicki FJ, Ghoshhajra BB, et al. 2022 use of coronary computed tomographic angiography for patients presenting with acute chest pain to the emergency department: an expert consensus document of the Society of Cardiovascular Computed Tomography (SCCT): endorsed by the American College of Radiology (ACR) and North American Society for Cardiovascular Imaging (NASCI) [J]. *J Cardiovasc Comput Tomogr*, 2023, 17(2):146-163. DOI: 10.1016/j.jcct.2022.09.003.
- [53] Talei Franzesi CR, Ippolito D, Riva L, et al. Diagnostic value of iterative reconstruction algorithm in low kV CT angiography (CTA) with low contrast medium volume for transcatheter aortic valve implantation (TAVI) planning: image quality and radiation dose exposure[J]. *Br J Radiol*, 2018, 91(1092):20170802. DOI: 10.1259/bjr.20170802.
- [54] Capilli F, Benndorf M, Soschynski M, et al. Assessment of aortic annulus dimensions for transcatheter aortic valve replacement (TAVR) with high-pitch dual-source CT: comparison of systolic high-pitch vs. multiphasic data acquisition[J]. *Eur J Radiol*, 2020, 133: 109366. DOI: 10.1016/j.ejrad.2020.109366.