

· 综述 ·

MSCT 及 3D 打印技术在左心耳封堵术前评估的临床价值及研究进展

库雷志, 马小静

【摘要】 左心耳封堵术已成为治疗口服抗凝禁忌症患者卒中风险的一种替代方法,在技术上要求很高,要获得一个完整的左心耳封堵是具有挑战性的。在左心耳封堵术前,利用 MSCT 不仅可以客观评价左心耳大体形态、弯曲角度及位置、解剖及锚定区开口形状、内径及深度、房间隔及左心耳拐角到开口距离等重要参数指标,还可以较准确判断房间隔及穿刺送鞘管的位置,为封堵器的型号、种类、大小、锚定点的选择、释放部位估测提供重要参考。基于 MSCT 的 3D 打印技术可直观反映左心耳的解剖结构,为左心耳封堵术操作者术前提提供更真实的立体观感,对手术方案的设计、手术的安全性和有效性都具有重要价值;并具有缩短操作者学习时间等优点,在左心耳封堵术中亦将起到重要的指导作用。本文主要就目前 MSCT 及 3D 打印技术在左心耳封堵术前评估的临床价值及研究进展进行综述。

【关键词】 左心耳封堵术; 左心耳; 3D 打印技术; 体层摄影术, X 线计算机

【中图分类号】 R654.2; R814.42 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2021)09-1179-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2021.09.020

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



心房颤动是一种日益严重的健康问题,有研究预测 2030 年欧洲发病率将达到每年 21.5 万人^[1]。与房颤相关的血栓栓塞事件每年发生率达 5%,房颤相关卒中致病率明显高于非房颤患者^[2]。相关研究证实左心耳封堵(left atrial appendage occlusion, LAAO)术是一种新的非药物治疗房颤相关血栓栓塞的安全、有效方法,成为近年来的临床研究热点^[3]。左心耳(left atrial appendage, LAA)解剖形态学复杂,其大小、形态以及空间位置个体差异很大^[4]。LAAO 术前影像学检查最重要的任务是帮助术者合理选择封堵器种类与尺寸大小,制定个性化封堵策略。目前经食道超声心动图(transesophageal echocardiography, TEE)是 LAAO 最常用的影像学检查方法,但相关研究数据表明该方法也不完全精确,平均每位患者使用 1.4 个封堵设备,在一定程度增加了医疗成本^[5]。另外,在 TEE 测量 LAA 开口尺寸时也在许多方面存在潜在误差,且 TEE 需要在有创全身麻醉下进行,受操作经验及选择角度影响,对封堵术后残余漏的敏感性欠佳^[6-7]。MSCT 是无创性影像学检查方法,因能将采集的断层解剖进行 3D 重建,还原 LAA 的真实立体结构,使临床医生在术前可以充分理解 LAA 大体结构、分叶、旋转等形态特征及周围毗邻结构关系,还可用于 LAA 尺寸测量、封堵器的选择、术中引导以及术后的评估和

监测随访^[8]。基于 MSCT 的 3D 打印技术,能降低手术风险及术中并发症发生率,有效缩短手术时间,减少辐射剂量、封堵设备回缩数目及次数,提高封堵成功率^[9]。本文主要就 MSCT 在 LAAO 封堵术前评估的临床价值及研究进展进行综述。

MSCT 在 LAAO 术前评价的标准化方案推荐

LAAO 术的成功实施首先需要详细评估 LAA 血栓情况、LAA 解剖学结构及相关参数、LAA 毗邻结构,同时需要了解房间隔(Atrial Septum, ASP)穿刺点及导管鞘输送位置,才能选择正确的设备和较好完成封堵过程^[10]。随着 MSCT 在 LAAO 术前应用越来越广泛,术前制定标准化心脏 MSCT 评估方案,可提高 LAAO 术的准确性、有效性和安全性,对完成高质量手术至关重要。Korsholm 等^[11]推荐 LAAO 术前 MSCT 标准化评价方案应包括以下方面:①LAA 血栓情况;②LAA 叶形态、数目,主要分叶深度与长度, LAA 解剖学开口与锚定区开口形状、大小;③ASP:是否存在房间隔膨出瘤、缺损或持续性卵圆孔;④左心房(left Atrium, LA):评估 LA 的绝对容积和指数容积;⑤肺静脉(pulmonary vein, PV):评估 PV 解剖、数目、直径和狭窄存在与否;⑥肺动脉(pulmonary artery, PA):预测锚定区与 PA 之间的距离;⑦心包结构:评估是否有心包积液;⑧选择性报告内容:(1)心脏瓣膜评估形态学、钙化和局灶性增厚是否存在;(2)评估冠状动脉解剖,钙化和狭窄是否存在;(3)扫描层面肺部情况的评估,包括可疑的肺结节、淋巴结以及肺、纵隔

作者单位: 430022 武汉,武汉亚洲心脏病医院放射科(库雷志),超声科(马小静)

作者简介: 库雷志(1985—),男,湖北武汉人,硕士研究生,主治医师,主要从心血管疾病影像诊断工作。

通讯作者: 马小静, E-mail: 47706718@qq.com

和胸壁的骨结构。

MSCT 在 LAA 封堵术前相关参数测量方法

1. LAA 解剖开口、锚定区开口及叶深度

将原始图像行多时相重建,并传至 Philips EBW4.5 后处理工作站上,选择 LA 舒张晚期 75% 时相,在多平面重建(multi planar reformation,MPR)图像上,调整横轴面、矢状面、冠状面为 90°;横轴面右前斜 30°,矢状面向头侧倾斜 10°,在冠状面上移动十字位置至 LAA 解剖口位置,转动十字线,出现回旋动脉(left circumflex coronary artery,LCX)和左上肺静脉(left superior pulmonary veins,LSPV),以 LCX 发出处为起点,到对侧 LSPV 嵴上 1~2 cm 横轴面处测量 LAA 锚定区开口长短径,在能辨别出 LAA 与 LA 壁界限位置的连线距离横轴面处测量 LAA 解剖学开口长短径,在锚定区中点至 LAA 尖部最远距离处测量 LAA 叶的深度。

2. LAA 与 LCX 的距离

在平行于 LCX 长轴平面进行 MPR 重组,再利用 MPR 重建图像做垂直于 LCX 的垂直线,得到 LCX 横轴面图像,沿 LCX 长轴移动测量与 LAA 基部的距离。

3. LAA 与 LSPV 之间的最短距离

在平行于 LSPV 主干长轴平面进行 MPR 重组,再利用 MPR 重建图像沿左上肺静脉主干做一条垂直线,得到 LSPV 主干横轴面图像,沿 LSPV 长轴移动图像测量 LSPV 与 LAA 的最短距离。

MSCT 成像 LAAO 术前相关参数评价

1. LAA 血栓判断

LAA 内血栓是 LAAO 的绝对禁忌症,在 LAAO 术前准确有效地诊断 LAA 血栓极为重要。目前,TEE 是检测 LAA 血栓的常用影像手段,但 TEE 并不能准确区分 LAA 血栓前状态与血栓,且直径小于 2mm 的血栓在 TEE 图像上易被忽略。此外,TEE 需要患者在镇静下完成,是相对侵入性的,而且耗时较长^[12]。MSCT 增强扫描是一种非侵入性和非常快速的成像方式,以往检查部分患者出现假阳性往往是因为房颤患者血流缓慢导致的血流瘀滞造成充盈缺损。Hur 等^[13]利用双源 MSCT 双期扫描技术,通过延迟期计算平均 LAA 与升主动脉比值(LAA/ascending aorta,LAA/AAO)对诊断血栓和发现血栓前状态(血流瘀滞)具有重要价值,对 LAA 血栓检测具有较高的敏感度和特异度(分别为 100% 和 98%)。

2. LAA 的外形结构评价

LAA 形态学解剖分型的种类复杂,在 LAAO 术

中封堵器能否成功封堵不同类型 LAA 腔隙结构是手术能否成功的关键所在,若在 LAAO 术后存在残余腔隙,并发血栓形成并造成危害的可能性更大^[14]。Beigel 等^[15]和 Kimura 等^[16]通过 MSCT 研究将 LAA 形态学分成以下 4 种类型:①风向标型(Windsock):主叶 1 个,副叶 2~3 个或更多,总长度超过 4 cm,弯曲角度大于 100°;②鸡翅型(chicken win):仅有 1 叶,总长度大于 4 cm,弯曲角度小于 100°;③仙人掌型(cactus):有 1 个主要中心叶,1 个或多个小叶,总长度小于 4 cm;④菜花型(cauliflower):有 1 个总长度小于 4 cm 的主叶,内部结构复杂。鸡翅型的主要特点为主叶上 LAA 开口下段有锐利弯曲;菜花型的主要特点为深度较浅,但内部结构复杂;风向标型的主要特点为主叶深大;仙人掌型的主要特点为主叶上右多叶副叶。Di Biase 等^[17]应用 MSCT 对房颤患者的 LAA 大体形态进行分析,认为风向标型最适宜 LAAO 术,鸡翅型、菜花型是导致 LAAO 困难、效果不佳的 LAA 形态类型。鸡翅型 LAA 往往有效支撑长度不足,导致封堵器操作困难,有时需要利用特殊操作技巧,如输送鞘逆时针旋转前送或封堵伞的预释放等,以创造支撑长度。如果利用翅尖作为支撑长度,将导致器械封堵平面的倾斜,影响封堵效果,尤其是 LAA 口部有梳状肌分布花型 LAA,一方面其内梳状肌数量较多且形态粗大,会影响封堵伞的膨胀,导致径向支撑力下降和倒钩固定不完全,另一方面分叶近 LAA 开口,易形成分叶未封堵或封堵装置周围残余漏及封堵失败。

3. LAA 角度及位置评价

LAA 角定义为在 MSCT 矢状面图像上 LAA 长轴与水平轴之间的夹角,>60° 定义为大 LAA 角度,50°~60° 定义为中等 LAA 角度,<50° 定义为小 LAA 角度。LAA 低位:LAA 开口上缘低于 LSPV 开口;中位:LAA 开口上缘位于 LSPV 开口上下缘之间;高位:LAA 开口上缘高于 LSPV 开口^[18]。LAA 角度及开口在不同的患者中有很大差异。在 LAAO 术中最佳 ASP 穿刺位置的选择由 LAA 的角度和位置类型决定,一般来说,左心房后壁中下 2/3 部位可以做为 ASP 穿刺点最佳位置^[19]。然而,对于大的 LAA 角度,首选相对较高的穿刺部位可以同 LAA 水平开口位置对齐。对于低位开口型的 LAA,首选相对较低穿刺部位与其开口对齐。因此在 LAAO 封堵术前,利用 MSCT 图像准确判断 LAA 的角度和位置类型,可以确定最佳的经 ASP 穿刺部位,为术者在 LAAO 封堵过程导丝及鞘管走形提供有力帮助,从而提高介入封堵成功率及减少术后并发症的发生。

4. LAA 叶形态特征评价

LAA 叶在解剖上定义为从主要管状 LAA 发出,

位于不同解剖平面,可见形态各异“突出”,通常其外部可见折痕标记,并且内部可深入 2 mm 探针^[20]。Kocyigit 等^[21]研究认为 LAA 分叶形态通常包括单叶、双叶、多叶等 3 种类型。LAA 分叶数 ≥ 3 被认为是 LAA 血栓形成的临床独立危险因素。LAA 分叶的走形和开口部位也是影响封堵成败的相关因素,如目标封堵叶、LAA 颈部和口部的角度会影响房间隔穿刺点和输送鞘走形;LAA 近左心房侧有分叶时会导致主叶封堵后近端的分叶仍与左心房之间相通,导致 LAAO 术后残余漏发生,因此术前通过 MSCT 准确评价 LAA 分叶数目、大小、位置等对 LAAO 术具有重要价值。

5. LAA 嵴的形态评价

LAA 嵴(LAA ridge, LAAR)是一条位于 LAA 和 LSPV 之间的条状束带,是左心房心内膜侧突出的结构,实际上是由于心房侧脊向内折入左心房表面心内膜下形成的峰或脊,是 LAAO 过程中重要的解剖影响因素^[22]。Wongcharoen 等^[23]和李嫣等^[24]根据其起止点不同,将 LAAR 分为以下 3 型:A 型,界嵴自 LSPV 至左下肺静脉(left inferior pulmonary vein, LIPV),其中根据 LAAR 与 LSPV 之间连接部位的关系亦存在差异,可分为 I 型和 II 型;B 型,界嵴自 LSPV 至 LSPV 与 LIPV 交界处;C 型,LSPV 与 LIPV 共干,LAAR 自肺静脉干上缘至下缘。术前准确测量 LAAR 的宽度对 LAAO 至关重要,当 LAAR 较窄时,封堵器的膨胀容易压迫左侧肺静脉,与此同时 LAA 开口多呈敞口,开口的界定与测量困难,使得对封堵器的选择和手术方案的设计也会产生一定影响。另外,左侧肺静脉嵴通常呈上部宽厚、下部狭窄,封堵设备选择双盘结构时,应注意锚定区的尺寸,避免封堵术后影响肺静脉和二尖瓣的结构功能。

6. LAA 开口形态评价

LAA 开口通常呈椭圆形、类圆形、水滴型等 3 种形态。研究表明房颤发生率越高,LAA 开口呈圆形的概率也越高,LAA 开口越大。杨延坤等^[25]将其开口进一步分为椭圆、鞋形、三角形、水滴型、圆形等 5 种类型。O'Brien 等^[26]利用 MSCT 计算 LAA 开口几何形态参数离心率($1 - \text{短轴}/\text{长轴}$),发现房颤患者的平均离心率指数约为 0.4,偏心率越大,开口形态越接近椭圆,术后封堵残余漏概率越大;偏心率越小,开口形态越接近圆形,术后封堵残余漏概率越小。

MSCT 成像评价 LAAO 术前周围毗邻结构

LAA 的周围毗邻结构(neighboring structures, NBS)包括二尖瓣环(mitral valve annulus, MVA)、左肺动脉(left pulmonary artery, LPA)、LSPV 和 LCX

等。Lindner 等^[27]研究发现 LAA 本身解剖与 NBS 变异性较大,术前通过 MSCT 准确描述 LAA 与 NBS 的关系,可以明显降低手术风险及术后并发症发生风险。

1. LAA 与 LSPV 的关系

LAA 与 LSPV 位置关系通常分成 3 型^[23]:① LAA 口与 LSPV 同一水平;② LAA 口位置高于 LSPV;③ LAA 口位置低于 LSPV。当 LAA 开口过低时,在 LAAO 术中如果采取常规房间隔穿刺部位,封堵器输送导丝及鞘管难与 LAA 开口保持同轴连续性,使得术者操作困难或封堵失败。当 LAA 开口平坦且紧贴 LSPV 时,放置 LAA 封堵器过程中易伤及肺静脉。另外 LAA 和 LSPV 之间可以见到永存左上腔静脉和 Marshall 静脉,也是在左心耳封堵术操作过程中容易受损的血管。所以术前评估 LAA 与左上肺静脉位置,对 LAAO 是否成功有重要作用。

2. LAA 与 LPA 的关系

评价 LAA 与 LPA 之间的解剖关系在 LAAO 术中尤为重要,两者距离较近可能会增加患者肺动脉穿孔和心包积血的发生风险^[28]。Halkin 等^[29]根据 MSCT 图像,基于 LAA 右侧壁与主肺动脉和/或分肺动脉支左侧壁之间有无接触、接触部位及长度,将 PA 与 LAA 之间相互关系分为 3 型:① Type I,无接触;② Type II, LAA 近端接触,定义为近段 15 mm 延升至 LAA 开口或 LAA 近端至第一主要弯曲开口 < 15 mm;③ Type III, LAA 远端局限性接触。MSCT 成像能作为一种无创性检查方法可提供 LAA 及 LPA 解剖位置关系,预测 LAA 封堵术后并发肺动脉穿孔及心包积血的风险。

3. LAA 与 LCX、心大静脉开口及窦房结动脉的关系

LAA 开口紧邻 LCX 和心大静脉(great cardiac vein, GCV)及其分支。在进行 LAAO 术时,封堵器尺寸选择过大,可能会造成 LCX 受压损伤,引起心肌缺血,压迫 GCV,引起冠状静脉回流受阻;有约 8% 的窦房结动脉(sinoatrial node artery, SNA)起源于 LA 外侧的 LCX 近中部,在 LAA 和 LSPV 之间呈“S”形走行达上腔静脉周围;在 LAAO 操作过程中,有导致 SNA 损伤的风险。因此,在进行 LAAO 封堵术前,通过 MSCT 术前准确判断 LAA 与其周围冠状动、静脉的关系,对避免发生术后严重并发症具有重要价值。

基于 MSCT 成像的 3D 打印技术在 LAAO 术中的临床价值及局限性

近年来,基于 MSCT 成像技术的 3D 打印技术已被引入心血管介入和手术领域。3D 打印模型能直观显示 LAA 分叶形态、数目、走形、弯曲角度、梳状肌结

构等,对于非典型 LAA 患者,术前 3D 打印技术有利于评价手术难度;另外,在 LAA 的 3D 打印模型上可进行预手术,评估封堵压缩比及突出 LAA 部分比例、残余漏,对术后并发症发生具有一定预测价值^[30]。Oliveira-Santos 等^[31]研究认为 3D 打印技术可以真正个体化为患者术前准确提供封堵设备尺寸及选择 ASP 穿刺点,显著减少 LAAO 术过程中设备操作时间及降低瓣周漏发生概率。Obasare 等^[32]研究认为 3D 打印技术可减少 LAAO 术中介入导管在 LA 的停留时间(降低卒中的潜在风险和术中抗凝需要),减少不必要设备和使用的设备总数量,减轻患者经济负担;且术前 3D 模型可提高介入操作的方便性、设备尺寸选择和放置的准确性,总体缩短封堵术中时间。Hell 等^[33]认为 3D 打印已经成为一种潜在有用的工具,用于辅助介入操作者在 LAAO 封堵术前设备大小调整并顺利完成封堵及减少并发症发生,成为未来心脏介入常规治疗流程的一部分。Iriart 等^[34]认为 3D 打印的独特之处在于它可以在 LAAO 封堵术前进行多种合理设计,帮助每个病例个性化选择最佳形状和尺寸,这一点特别重要,因为目前没有基于图像的指导原则来帮助选择基于解剖的特定指征的植入装置。另外,3D 打印模型模拟手术也可以使新介入医生学习 LAAO 曲线更加平滑。但该技术也存在一定局限性,3D 模型打印的精准度取决于成像数据集的质量,而且 3D 打印模型在一定程度上模拟 LAA 的机械性能是有限制的;同时,3D 打印增加了医疗成本,加重了患者经济负担;最后,3D 打印技术是否是临床 LAAO 的必要操作,是否能提高患者预后及生活质量还需要进一步行多中心研究和大数据统计,以更好地指导临床医生治疗及个性化方案制定。

总结及展望

综上所述,在 LAAO 术前进行 MSCT 成像不仅可客观、详细评价 LAA 大体形态、弯曲角度及位置、解剖及锚定区开口形状、内径及深度、房间隔及 LAA 拐角到开口距离等重要参数指标,还可以较准确判断 ASP 及穿刺送鞘管的位置,指导介入医生合理选择封堵器种类、型号及锚定点定位、释放部位估测,从而降低手术并发症发生;同时也能为 LAAO 术者提供更真实、可靠的测量数据,对手术方案设计,手术安全性及有效性都具有重要临床价值。3D 打印技术为 LAAO 术提供了一个新的方法,可能会对医生的培训和技术优化产生重大影响。

然而,由于缺乏标准化的成像及评价方案,影像信息提取及后处理软件不同,导致测量数据无法精准一致,为封堵器选择及术中操作带来一定困惑,使得

MSCT 在 LAAO 封堵术前评估中的临床应用进展缓慢。相信随着 MSCT 应用更加广泛,LAAO 封堵术前 MSCT 成像标准化方案和专家共识的制定,MSCT 有潜力成为 LAAO 术前规划新的金标准。

参考文献:

- [1] Zoni-Berisso M, Lercari F, Carazza T, et al. Epidemiology of atrial fibrillation: European perspective [J]. Clin Epidemiol, 2014, 16(6):213-220.
- [2] Marini C, De Santis F, Sacco S, et al. Contribution of atrial fibrillation to incidence and outcome of ischemic stroke: results from a population Based study[J]. Stroke, 2005, 36(6):1115-1119.
- [3] Kirchhof P, Benussi S, Kotecha D, et al. ESC scientific document group. 2016 ESC guidelines for the management of atrial fibrillation developed in collaboration with EACTS [J]. Eur Heart J, 2016, 37(38):2893-2962.
- [4] Lupercio F, Ruiz JC, Briceno DF, et al. Left atrial appendage morphology assessment for risk stratification of embolic stroke in patients with atrial fibrillation: a meta-analysis [J]. Heart Rhythm, 2016, 13(7):1402-1409.
- [5] Reddy VY, Gibson DN, Kar SO, et al. Post-approval U. S. experience with left atrial appendage closure for stroke prevention in atrial fibrillation [J]. J Am Coll Cardiol, 2017, 69(3):253-261.
- [6] 任继来, 王学成, 仲程豪, 等. 经食管超声心动图、双源 CT 及左心耳造影对左心耳封堵器型号选择的价值 [J]. 中华心律失常学杂志, 2019, 23(5):430-435.
- [7] Holmes DR, Alkhouli M. Comparison of cardiac computed tomography angiography and transoesophageal echocardiography for device surveillance after left atrial appendage closure. What we see depends on where we are looking from and what we are looking for [J]. Eur Intervention, 2019, 15(8):650-651.
- [8] 苗雨桐, 何奔. 影像学在左心耳封堵中的意义 [J]. 心血管病学进展, 2019, 40(4):497-501.
- [9] Pellegrino PL, Fassini G, Di Biase M, et al. Left atrial appendage closure guided by 3D printed cardiac reconstruction: emerging directions and future trends [J]. J Cardiovasc Electrophysiol, 2016, 27(6):768-771.
- [10] Khaled Abdulbaqi Baggash Nasr, Amgad Qaid Abdu Al-gaobahi, 彭健. 左心耳封堵手术术中影像学引导技术研究进展 [J]. 心血管病学进展, 2019, 40(1):13-15.
- [11] Korsholm K, Berti S, Iriart X, et al. Expert recommendations on cardiac computed tomography for planning transcatheter left atrial appendage occlusion [J]. JACC Cardiovasc Interv, 2020, 13(3):277-292.
- [12] Kantarci M, Ogul H, Sade R, et al. Circulatory stasis or thrombus in left atrial appendage, an easy diagnostic solution [J]. J Comput Assist Tomogr, 2019, 43(3):406-409.
- [13] Hur J, Kim YJ, Lee HJ, et al. Left atrial appendage thrombi in stroke patients: detection with two-phase cardiac CT angiography versus transesophageal echocardiography [J]. Radiology, 2009, 251(3):683-690.
- [14] 卓利勇, 李彩英, 寇晨光, 等. 采用 256iCT 对房颤患者左心耳形态学的探讨 [J]. 医学影像学杂志, 2019, 29(4):565-569.
- [15] Beigel R, Wunderlich NC, Ho SY, et al. The left atrial append-

- age; anatomy, function, and noninvasive evaluation[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2014, 7(12):1251-1265.
- [16] Kimura T, Takatsuki S, Inagawa K, et al. Anatomical characteristics of the left atrial appendage in cardiogenic stroke with low CHADS2 scores[J]. Heart Rhythm, 2013, 10(6):921-925.
- [17] Di Biase L, Santangeli P, Anselmino M, et al. Does the left atrial appendage morphology correlate with the risk of stroke in patients with atrial fibrillation? Results from a multicenter study[J]. J Am Coll Cardiol, 2012, 60(6):531-538.
- [18] Mo BF, Wan Y, Alimu A, et al. Image fusion of integrating fluoroscopy into 3D computed tomography in guidance of left atrial appendage closure[J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2021, 22(1):92-101.
- [19] Meier B, Blaauw Y, Khattab AA, et al. EHRA/EAPCI expert consensus statement on catheter-based left atrial appendage occlusion[J]. EuroIntervention, 2014, 10(9):1109-1125.
- [20] 苏锦文, 李新明. 与经皮左心耳封堵术相关的左心耳解剖学研究现状[J]. 中华胸心血管外科杂志, 2015, 31(8):502-504.
- [21] Kocyigit D, Yalcin MU, Gurses KM, et al. Impact of anatomical features of the left atrial appendage on outcomes after cryoablation for atrial fibrillation[J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2019, 13(2):105-112.
- [22] 王岑, 李彩英, 寇晨光, 等. 计算机断层摄影术心脏成像对心房颤动患者左心耳与毗邻结构的定量研究[J]. 中国循环志, 2019, 34(3):261-266.
- [23] Wongcharoen W, Tsao HM, Wu MH, et al. Morphologic characteristics of the left atrial appendage, roof, and septum; implications for the ablation of atrial fibrillation[J]. J Cardiovasc Electrophysiol, 2006, 17(9):951-956.
- [24] 李嫣, 夏黎明, 管汉雄, 等. 64 层螺旋 CT 三维重组对左心房及肺静脉的形态学评价[J]. 放射学实践, 2012, 27(1):52-56.
- [25] 杨延坤, 郑宏, 孙鑫, 等. 64 排螺旋 CT 心脏增强扫描在左心耳解剖形态评价中的应用[J]. 实用放射学杂志, 2014, 30(4):584-587.
- [26] O'Brien J, Al-Hassan D, Ng J, et al. Three-dimensional assessment of left atrial appendage orifice geometry and potential implications for device closure[J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2014, 30(4):819-823.
- [27] Lindner S, Behnes M, Wenke A, et al. Relation of left atrial appendage closure devices to topographic neighboring structures using standardized imaging by cardiac computed tomography angiography[J]. Clin Cardiol, 2019, 42(2):264-269.
- [28] Rat N, Muntean I, Opincariu D, et al. Cardiovascular imaging for guiding interventional therapy in structural heart diseases[J]. Curr Med Imaging Rev, 2020, 16(2):111-122.
- [29] Halkin A, Cohen C, Rosso R, et al. Left atrial appendage and pulmonary artery anatomic relationship by cardiac-gated computed tomography; implications for late pulmonary artery perforation by left atrial appendage closure devices[J]. Heart Rhythm, 2016, 13(10):2064-2069.
- [30] 朱世杰, 郑慕晗, 张建武, 等. 心脏 CT 在左心耳封堵术中的应用价值[J]. 心血管病学进展, 2020, 41(1):11-14.
- [31] Oliveira-Santos M, Oliveira-Santos E, Gonçalves L, et al. Cardiovascular three-dimensional printing in non-congenital percutaneous interventions[J]. Heart Lung Circ, 2019, 28(10):1525-1534.
- [32] Obasare E, Mainigi SK, Morris DL, et al. CT based 3D printing is superior to transesophageal echocardiography for pre-procedure planning in left atrial appendage device closure[J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2018, 34(5):821-831.
- [33] Hell MM, Achenbach S, Yoo IS, et al. 3D printing for sizing left atrial appendage closure device; head-to-head comparison with computed tomography and transoesophageal echocardiography[J]. Euro Intervention, 2017, 13(10):1234-1241.
- [34] Iriart X, Ciobotaru V, Martin C, et al. Role of cardiac imaging and three-dimensional printing in percutaneous appendage closure[J]. Arch Cardiovasc Dis, 2018, 111(6):411-420.

(收稿日期:2020-04-22 修回日期:2020-07-03)