

左心房及肺静脉结构和功能成像预测房颤消融术后复发的研究进展

陈玲, 祁荣兴, 刘君

【摘要】 导管消融治疗心房颤动(AF)的技术已经取得了重大进展,是目前治疗 AF 可靠有效的方法,但术后仍有较高的复发率。随着影像学的发展,其在评估心脏形态和功能方面取得了长足进步,可以预测房颤术后复发风险,有助于消融手术患者预后的评估,具有较高的临床应用价值。

【关键词】 心房颤动; 导管消融术; 左心房; 肺静脉; 体层摄影术, X 线计算机; 磁共振成像; 超声检查复发; 危险因素

【中图分类号】 R541.7; R445.2; R814.42 **【文献标志码】** A

【文章编号】 1000-0313(2022)05-0653-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2022.05.023

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



心房颤动(atrial fibrillation, AF)是临床上最常见的心律失常,与心力衰竭、脑卒中、肺动脉栓塞等多种常见心脑血管疾病的发生有关^[1],给社会带来了沉重的经济负担。导管消融肺静脉隔离术(pulmonary vein isolation, PVI)是公认的恢复和维持窦性心律的介入治疗方法,包括射频导管消融(radiofrequency catheter ablation, RFCA)或冷冻球囊消融(cryoballoon ablation, CBA)术等^[2]。近年来,导管消融治疗 AF 的技术取得了很大进展,但消融后仍有较高的复发率,最近的一篇综述显示阵发性房颤(paroxysmal atrial fibrillation, PAF)和持续性房颤(persistent atrial fibrillation, PeAF)单次消融的复发率从 30%~50% 不等^[3],因此,对接受导管消融的 AF 患者进行筛选具有重要的临床价值。很多临床指标被证实可以预测 AF 消融术后的复发,包括年龄、性别、左心室射血分数、高血压、糖尿病、阻塞性睡眠呼吸暂停等^[4],但效果并不理想。影像学评估左心房(left atrial, LA)与肺静脉(pulmonary vein, PV)的结构及功能可以对 AF 的治疗和预后判断提供重要信息^[5]。各种影像学方法及技术在评估心脏形态和功能方面各有优缺点。本文将围绕各种影像学方法评估 AF 患者 LA 和 PV 结构和功能预测房颤消融术后复发的研究进展进行综述,旨在提高临床医师对心脏结构和功能的影像学评估在 AF 诊疗过程中的认识。

AF 的发生及复发机制

AF 的发病机制复杂,主要电生理机制包括:①触发活动(早期和延迟后除极)引起的异常放电;②动作电位缩短引起的多次折返;③心房纤维化引起的脉冲传导异质性。心房纤维化的发生和发展是 LA 重构的标志,被认为是 AF 持续存在的基础^[6]。晚期 LA 纤维化与 AF 的频繁发作、阵发性心律失常转变为永久性心律失常以及抗心律失常药物治疗效果降低有关^[7]。也有研究认为 AF 复发与 PV 传导恢复有关^[8],且 PV 的解剖学参数可以预测传导重建的程度^[9]。AF 复发的机制尚不完全清楚,因此对 LA 及 PV 影像学的研究有助于进一步了解 AF 复发的机制,进而应用于临床诊疗。

PV 变异和大小与 AF 复发的关系

1. PV 变异与 AF 复发的关系

心脏 CT(cardiac computed tomography, CCT)对 PV 变异的识别具有很大优势,主要通过多样的后处理技术,包括容积再现(volume rendering, VR)、多平面重建(multi-planar reformation, MPR)、最大密度投影(maximal intensity projection, MIP)等技术。CCT 成像及其后处理可清晰显示 LA 及 PV 结构,了解房间隔穿刺的相关解剖,如解剖路径与脊柱的关系、与主动脉之间的距离等,同时也可了解 PV 开口大小、指导环状标测电极大小的选择,需要隔离的 PV 的位置及指导导管的走形与放置等,显著提高了手术的安全性和成功率,减少了并发症的发生^[10]。相关研究发现,70%的人群为标准型四支肺静脉,部分人群存在变异情况,其中以左侧肺静脉公干及右侧副肺静脉发生率

作者单位: 226001 江苏,南通大学第二附属医院影像科(陈玲,祁荣兴),心内科(刘君)

作者简介: 陈玲(1987—),女,江苏南通人,硕士研究生,主治医师,主要从事胸部影像诊断工作。

通讯作者: 祁荣兴, E-mail: ntdocqirongxing@sina.com

基金项目: 2021 年江苏省医学会伦琴影像科研专项基金项目(SYH-3201150-0010); 2021 年南通市基础科学研究项目(JC2021195)"

较高。CCT 扫描心脏发现 PV 解剖结构可影响球囊与 PV 开口的充分接触,是建立 PVI 消融的重要因素^[11],副肺静脉等 PV 变异的存在可能会使 PVI 难度增大。有研究认为 PV 解剖变异与 AF 的复发有关^[12],也有研究认为 PV 变异并不是 AF 术后复发的独立危险因素^[13]。关于 PV 解剖学变异对 AF 复发的影响仍存在争议。研究结论不一致可能与实验入组的人群差异有关,需要进一步的研究来证实。

2. PV 大小与 AF 复发的关系

在接受消融治疗的 AF 患者中,关于 PV 的影像特征参数与 AF 复发的关系,目前尚未达成共识,影像学评估的参数包括 PV 的体积和直径。Shimamoto 等^[13]研究发现,PAF 患者在 RFCA 后,复发与总 PV 体积和 PV 口截面积有关,总 PV 体积用体表面积标准化,切点值为 $12.0 \text{ cm}^3/\text{m}^2$,这对 PAF 患者 RFCA 后能否维持窦性心律有很好的预测价值。Güler 等^[12]研究发现,右上肺静脉扩张是复发的预测因素,复发组右上肺静脉直径为 $(21.6 \pm 2.8) \text{ cm}$,明显高于非复发组。Tsyganov 等^[14]研究还发现左下肺静脉扩张与 AF 预后不良相关,但不是 PVI 后复发的主要危险因素。Li 等^[15]研究证实,右下肺静脉参数是 CBA 后 AF 长期复发的最强独立预测因子,尤其是右下肺静脉直径增大,可以预测 AF 复发,甚至优于 LA 直径,并提高了 AF 复发预测模型的准确性。在 RFCA 患者中,右下肺静脉大小的增加对预测 AF 复发的价值在所有肺静脉(pulmonary veins, PVs)中最显著。右下肺静脉的隔离通常比隔离其他 PV 更有难度,这主要是因为其位置靠近房间隔穿刺点^[15]。PVs 在 AF 的病理生理中起重要作用,特别是延伸到 PV 内的心肌袖,已被认为是引发房颤的异位起搏点。AF 复发通常归因于 PVI 后的电传导恢复^[16]。PVs 越大,其周围的心肌袖具有更明显的不连续性和纤维化,可能具有更高的电生理异常频率,因而难以分离而形成电连接,促进了 AF 的复发^[15]。

LA 大小、形态、功能与房颤复发的关系

经胸超声心动图(transthoracic echocardiography, TTE)是评估 LA 大小的首选非侵入性检查方法,具有无需注射造影剂、无电离辐射、比心脏磁共振(cardiac magnetic resonance, CMR)或 CCT 价格便宜等优势,已被广泛应用于临床^[5];但 TTE 的二维线性测量往往低估了 LA 的大小^[17],三维 TTE 对 LA 大小的测量较二维更加准确,可与 CMR 及 CCT 相媲美。CMR 是评估 LA 容积的金标准,其采用稳态自由进动技术,相较于 TTE 可以更好地描绘心内膜,进而对 LA 大小的评估更准确。当然, CCT 具有较高的空

间分辨率,也可精确测量 LA 的大小^[5]。双期 CCT 在评估左心耳自发显影(≥ 2 级)方面具有重要的临床排除和预警价值,当 CCT 首期左心耳部无充盈缺损时,可排除 2~4 级左心耳自发显影,可避免不必要的经食道超声检查^[18]。

在 AF 复发影像学预测指标中,基于 TTE 和 CCT 对 LA 径线测量的研究发现 LA 直径的增加是 AF 复发临床独立的危险因素^[19, 20]。两项 Meta 分析显示,LA 直径的增加与消融术后 AF 复发有关,LA 大小是 AF 消融手术成功与否的主要决定因素^[1, 21]。虽然这一测量已广泛应用于临床实践,但它不能准确地反映 LA 的真实大小。LA 扩大是不对称的,主要集中在内外侧轴和上下轴,因为前后径的扩张受到胸腔的限制^[1]。鉴于此,左房容积或左房容积指数的测量成为首选,因为它可以更准确地反映 LA 的不对称畸形,而且比线性测量能更准确地预测 AF 预后^[17]。Costa 等^[22]发现基于 CCT 容积测量的左房容积能更准确地预测 AF 复发,优于线性 LA 直径。另一项基于 CCT 扫描的研究发现,在 PeAF 中,左房容积指数(left atrial volume index, LAVI) $> 55 \text{ mL}/\text{m}^2$ 的患者的复发率更高^[23]。LA 扩大引起心房持续重构,导致心房折返的敏感性增加,破坏正常的传导途径,降低导管消融的疗效和手术的成功率。

PAF 的 LA 重构处于早期阶段,在 LA 扩大之前可能发生不对称畸形^[24]。因此,LA 的大小可能不够灵敏,无法反映解剖重构的早期阶段。最近的一项研究显示,LA 不对称畸形是 AF 复发的预测因子^[25]。房顶线距(两上肺静脉之间的最短直线距离)/LA 最大横径比值可反映不对称畸形;在这项研究中,所有患者在消融手术前均行 MSCT 扫描,结果显示房顶线距离/LA 最大横径的比值是 AF 消融后复发的一个强有力的预测因子。这种无创性、简单易行的方法可用于更好地规划 PAF 的消融策略^[24]。Nedios 等^[26]研究结果支持使用 LA 不对称性作为左房容积的替代指标,以更好地选择晚期行手术的 AF 患者。对于 PeAF 患者,尽管左房容积较大,但不对称指数较小,仍主张消融治疗,而对于那些具有较高不对称指数的患者,应谨慎考虑替代治疗。

先前的研究表明 LA 形态特征可以评估 LA 重构,并与疾病的进展和结局相关。Bisbal 等^[25]基于 CMR 图像提出一种称为球形度的形状度量标准,可衡量患者 LA 与球体的相似程度,作为 LA 重构的标志,并且可以预测 AF 预后。相关研究认为 LA 球形度越高,复发的可能性越大。从机械角度来看,球体是最佳的能承受静水压力的几何形状。因此,当心房肌壁不能通过主动收缩来承受这种压力时,与房颤同时发生

的球形重构是一种自然而合理的反应。Knecht 等^[23]的研究表明,来自 CMR 或 CCT 的精确而复杂的介入前参数(例如球形度)与房颤负荷存在较弱关联,但无法将球形度确定为心律失常复发的独立预测因子。Bieging 等^[27]研究在 CMR 的基础上,使用了一种基于粒子的建模,用以量化 LA 的形状重构,而不仅仅是 LA 球形度的变化,最终证实 LA 形态可独立于临床因素预测 AF 预后。

最近,二维斑点跟踪超声心动图被应用于评估 LA 功能,具有很高的可行性和重复性^[28]。LA 应变成像已成为一种新的生物标志物,用于检测 LA 储备能力或收缩功能的细微异常。一项针对普通人群的前瞻性研究发现,在 65 岁以下的参与者中,左心房最大纵向应变(peak atrial longitudinal strain, PALS)是房颤和缺血性卒中的一个重要和独立的预测因子。此外, PALS 在预测房颤和缺血性卒中方面比 LAVI 提供了更多的预后信息^[29]。AF 在心力衰竭中很重要,因为它增加了发病率和死亡率,使心力衰竭的病程复杂化。由于许多心力衰竭患者在随访期间会发生房颤,因此预测新发房颤(new-onset atrial fibrillation, NOAF)具有重要临床意义。一项研究发现,急性心力衰竭出院患者中 16.1% 发生了 NOAF, PALS 是 NOAF 的重要预测因子,且无论 LA 大小如何, PALS 都可以识别出 NOAF 风险增加的患者,这是一个重要的预测指标^[30]。Deferm 等^[31]的研究结果显示 PALS 预测隐匿性卒中未来发生房颤的敏感度为 75%, 特异度为 69%。CMR 成像对 LA 功能也可以进行较好地评估。Habibi 等^[32]研究发现,基于 CMR 对 LA 功能的评估, PALS、左心房总排空率和被动排空率与 NOAF 独立相关。LA 重构在早期阶段是可逆的,使用 CMR 或二维斑点跟踪超声心动图等非侵入性方法可以检测到该重塑,通过建立包括 LA 功能变量和其他已知的房颤危险因素在内的更强的预测模型来识别房颤风险人群,从而启动更早的有针对性的干预,具有重大意义。

影像学在 LA 与 PV 特征性参数的显示与评估中发挥着至关重要的作用,从径线到容积测量,再到计算机模型的建立,影像学技术发生了质的飞跃,在临床实践中为医生的决策提供了重要支持。此外,在临床工作中, AF 患者检查方法的选择也要进行综合考虑,以达到最佳评估效果。

心外膜脂肪组织含量与 AF 复发的关系

心外膜脂肪组织(epicardial adipose tissue, EAT)是位于心外膜和脏层心包之间的脂肪组织,是一种特殊的具有内分泌功能的脂肪库,能分泌多种炎症因子。

因 EAT 与心肌之间无类似筋膜组织隔开,可通过旁分泌作用直接作用于心肌,在 AF 的发生发展过程中具有重要作用^[33]。TTE、CCT 和 CMR 成像已经被用来评估 EAT 的量, TTE 可以快速准确地评估 EAT 的厚度。Chao 等^[34]研究发现 TTE 评估的 EAT 厚度与 CCT 测量的总 EAT 和 LA 周围 EAT 的体积显著相关。此外, CCT 还可以准确地量化和评估 EAT 的分布^[35],最近关于 EAT 的研究以 CCT 成像为主^[35,36]。多项研究证明 AF 患者的 EAT 含量显著增加, PeAF 患者 EAT 的含量大于 PAF, 并且它是消融后 AF 复发的独立预测因子^[34,36]。EAT 通过旁分泌的相互作用,使心房肌有效不应期缩短而过早除极,可能通过影响电流和阻抗动力学,共同参与房颤的发生、发展过程,进而对消融结局产生影响^[36]。EAT 可预测房颤发生及复发的风险,并有望成为房颤治疗的新靶点。目前的研究仍局限于 EAT 厚度或体积的测量,未来还可以通过 EAT 密度的测量来探讨 AF 与非 AF、PeAF 与 PAF、AF 复发组与非复发组之间的区别,从影像学角度对 AF 复发机制进一步认识。

CMR 评估 LA 纤维化与 AF 复发的关系

LA 纤维化是心房重构的标志。在过去的十年中,有研究已经证实了 CMR 显示和量化 LA 纤维化的潜力,现已被用作消融前评估的一部分。随后的研究发现,磁共振延迟钆强化(magnetic resonance late gadolinium enhancement, MR-LGE)所代表的心房重构是 AF 复发的强有力的独立预后指标^[37]。美国犹他州的一项研究采用 MR-LGE 技术评估左心房纤维化程度,并根据纤维化比例进行分级(犹他分级), I 级为 $<10\%$, II 级为 $10\% \sim <20\%$, III 级为 $20\% \sim <30\%$, IV 级为 $\geq 30\%$ ^[38]。DE-CMR 能够量化 AF 患者左心房纤维化程度,更好地评估患者的病情进展,为之后制定个体化治疗方案和预测 AF 复发提供支持。在多中心 DECAFF 研究中发现 LA 纤维化程度与 AF 复发独立相关。具体而言, LA 纤维化面积越大,则 AF 复发率越高^[5]。对于犹他等级较高(即 III、IV 级弥漫性和广泛性纤维化)的患者,应考虑采用传统的无创治疗方法。因此, MR-LGE 评估的 LA 纤维化程度为 AF 消融手术适应症提供了一种无创且有效的参考方法^[39]。大多数 PeAF 患者的 LA 重构已经形成且存在传导异质性,简单的 PVI 通常是不够的^[40]。因此 AF 消融前 LA 纤维化的空间分布越来越受到关注,因其可以帮助确定消融的额外靶点。Lee 等^[41]评估了 AF 患者 MR-LGE 的位置和范围,结果表明无论 LGE 的范围如何, LGE 的共同部位是 LA 后壁的下段和左下肺静脉窦部。Higuchi 等^[42]研究显示, LGE 在 LA

内分布不均,直方图显示 LGE 出现频率最高的部位是左下肺静脉窦附近的后壁,PeAF 较 PAF 更易出现 LGE。另一项研究也证实,LGE 在左下肺静脉口周围后壁发现了纤维化的优先分布,且年龄 >60 岁与纤维化程度唯一相关^[43]。有研究认为 LGE 在 LA 区域的非均匀分布源于 LA 周围的外部结构。由于机械压力或与主动脉、食管和椎体的摩擦,LA 可能会发生更多的重构^[44]。这一发现解释了左肺静脉口(尤其是左下肺静脉开口周围)的纤维化比右侧多的现象。LA 重构指的是心肌细胞为对抗外界“应激源”而维持内稳态的时间依赖性适应性调节。LA 重构的类型、程度和可逆性取决于暴露于应激源的强度和持续时间。心房肌细胞最常见的应激源包括容量、压力负荷等。它们不是相互排斥的,通常可以在同一患者的不同时间共存^[17]。

导管消融术是目前根治 AF 的最主要手段,但其术后复发率高仍是困扰临床治疗 AF 的难题,LA、PV 结构和功能特征在 AF 复发的预测指标方面已经取得了长足进步,但仍存在局限,PV 变异及大小、LA 形状特征等预测 AF 复发尚未达成共识,MR-LGE 技术仍存在难点,需要大样本的队列研究来验证。近年来人工智能技术飞速发展,未来还可以将其运用到临床诊疗过程中,从而为 AF 患者提供有益、合理及个体化的治疗方案。

参考文献:

- [1] Njoku A, Kannabhiran M, Arora R, et al. Left atrial volume predicts atrial fibrillation recurrence after radiofrequency ablation: a meta-analysis[J]. *Europace*, 2018, 20(1): 33-42.
- [2] Habibi M, Lima J, Gucuk Ipek E, et al. The association of baseline left atrial structure and function measured with cardiac magnetic resonance and pulmonary vein isolation outcome in patients with drug-refractory atrial fibrillation[J]. *Heart Rhythm*, 2016, 13(5): 1037-1044.
- [3] Deng H, Bai Y, Shantsila A, et al. Clinical scores for outcomes of rhythm control or arrhythmia progression in patients with atrial fibrillation: a systematic review[J]. *Clin Res Cardiol*, 2017, 106(10): 813-823.
- [4] Rostock T, Salukhe TV, Steven D, et al. Long-term single- and multiple-procedure outcome and predictors of success after catheter ablation for persistent atrial fibrillation[J]. *Heart Rhythm*, 2011, 8(9): 1391-1397.
- [5] O'Neill L, Harrison J, O'Neill M, et al. Clinical, electrophysiological and imaging predictors of atrial fibrillation ablation outcome[J]. *Expert Rev Cardiovasc Ther*, 2017, 15(4): 289-305.
- [6] Dzeshka MS, Lip GY, Snezhitskiy V, et al. Cardiac fibrosis in patients with atrial fibrillation: mechanisms and clinical implications[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2015, 66(8): 943-959.
- [7] Burstein B, Nattel S. Atrial fibrosis: mechanisms and clinical relevance in atrial fibrillation[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2008, 51(8): 802-809.
- [8] Ouyang F, Antz M, Ernst S, et al. Recovered pulmonary vein conduction as a dominant factor for recurrent atrial tachyarrhythmias after complete circular isolation of the pulmonary veins: lessons from double Lasso technique[J]. *Circulation*, 2005, 111(2): 127-135.
- [9] Hauser TH, Essebag V, Baldessin F, et al. Prognostic value of pulmonary vein size in prediction of atrial fibrillation recurrence after pulmonary vein isolation: a cardiovascular magnetic resonance study[J]. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2015, 17(1): 49.
- [10] 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.
- [11] Chun KR, Schmidt B, Metzner A, et al. The 'single big cryoballoon' technique for acute pulmonary vein isolation in patients with paroxysmal atrial fibrillation: a prospective observational single centre study[J]. *Eur Heart J*, 2009, 30(6): 699-709.
- [12] Güler E, Güler GB, Demir GG, et al. Effect of pulmonary vein anatomy and pulmonary vein diameters on outcome of cryoballoon catheter ablation for atrial fibrillation[J]. *Pacing Clin Electrophysiol*, 2015, 38(8): 989-996.
- [13] Shimamoto K, Miura F, Shimatani Y, et al. Pulmonary vein volume predicts the outcome of radiofrequency catheter ablation of paroxysmal atrial fibrillation[J]. *PLoS One*, 2018, 13(7): e0201199.
- [14] Tsyganov A, Petru J, Skoda J, et al. Anatomical predictors for successful pulmonary vein isolation using balloon-based technologies in atrial fibrillation[J]. *J Interv Card Electrophysiol*, 2015, 44(3): 265-271.
- [15] Li B, Ma H, Guo H, et al. Pulmonary vein parameters are similar or better predictors than left atrial diameter for paroxysmal atrial fibrillation after cryoablation[J]. *Braz J Med Biol Res*, 2019, 52(9): e8446.
- [16] den Uijl DW, Tops LF, Delgado V, et al. Effect of pulmonary vein anatomy and left atrial dimensions on outcome of circumferential radiofrequency catheter ablation for atrial fibrillation[J]. *Am J Cardiol*, 2011, 107(2): 243-249.
- [17] Marchese P, Malavasi V, Rossi L, et al. Indexed left atrial volume is superior to left atrial diameter in predicting nonvalvular atrial fibrillation recurrence after successful cardioversion: a prospective study[J]. *Echocardiography*, 2012, 29(3): 276-284.
- [18] 刘波, 徐俊青, 赵垣璁, 等. 双期心脏 CT 成像在左心耳自发显影(≥ 2 级)中的诊断价值[J]. *放射学实践*, 2017, 32(11): 1152-1155.
- [19] McCready JW, Smedley T, Lambiase PD, et al. Predictors of recurrence following radiofrequency ablation for persistent atrial fibrillation[J]. *Europace*, 2011, 13(3): 355-361.
- [20] Miyazaki S, Kuwahara T, Kobori A, et al. Preprocedural predictors of atrial fibrillation recurrence following pulmonary vein antrum isolation in patients with paroxysmal atrial fibrillation: long-term follow-up results[J]. *J Cardiovasc Electrophysiol*, 2011, 22(6): 621-625.
- [21] D'Ascenzo F, Corleto A, Biondi-Zoccai G, et al. Which are the most reliable predictors of recurrence of atrial fibrillation after transcatheter ablation? a meta-analysis[J]. *Int J Cardiol*, 2013, 167(5): 1984-1989.
- [22] Costa FM, Ferreira AM, Oliveira S, et al. Left atrial volume is

- more important than the type of atrial fibrillation in predicting the long-term success of catheter ablation[J]. *Int J Cardiol*, 2015, 184(1):56-61.
- [23] Knecht S, Pradella M, Reichlin T, et al. Left atrial anatomy, atrial fibrillation burden, and P-wave duration-relationships and predictors for single-procedure success after pulmonary vein isolation [J]. *Europace*, 2018, 20(2):271-278.
- [24] Chen WT, Chang SL, Lin YJ, et al. The impact of anatomical remodeling of the left atrium and pulmonary vein on the recurrence of paroxysmal atrial fibrillation after catheter ablation[J]. *Int J Cardiol*, 2014, 176(3):1173-1175.
- [25] Bisbal F, Guiu E, Calvo N, et al. Left atrial sphericity: a new method to assess atrial remodeling. Impact on the outcome of atrial fibrillation ablation[J]. *J Cardiovasc Electrophysiol*, 2013, 24(7):752-759.
- [26] Nedios S, Koutalas E, Kosiuk J, et al. Impact of asymmetrical dilatation of the left atrium on the long-term success after catheter ablation of atrial fibrillation[J]. *Int J Cardiol*, 2015, 184(4):315-317.
- [27] Bieging ET, Morris A, Wilson BD, et al. Left atrial shape predicts recurrence after atrial fibrillation catheter ablation[J]. *J Cardiovasc Electrophysiol*, 2018, 29(7):966-972.
- [28] Cameli M, Caputo M, Mondillo S, et al. Feasibility and reference values of left atrial longitudinal strain imaging by two-dimensional speckle tracking[J]. *Cardiovasc Ultrasound*, 2009, 7(8):6.
- [29] Alhakak AS, Biering-Sørensen SR, Møgelvang R, et al. Usefulness of left atrial strain for predicting incident atrial fibrillation and ischaemic stroke in the general population[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2020, 23(3):363-371.
- [30] Park JJ, Park JH, Hwang IC, et al. Left atrial strain as a predictor of new-onset atrial fibrillation in patients with heart failure[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2020, 13(10):2071-2081.
- [31] Deferm S, Bertrand PB, Churchill TW, et al. Left atrial mechanics assessed early during hospitalization for cryptogenic stroke are associated with occult atrial fibrillation: a speckle-tracking strain echocardiography study[J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2021, 34(2):156-165.
- [32] Habibi M, Samiei S, Ambale Venkatesh B, et al. Cardiac magnetic resonance-measured left atrial volume and function and incident atrial fibrillation: results from MESA (multi-ethnic study of atherosclerosis)[J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2016, 9(8):10.
- [33] 李雪博, 舒尚志, 李小宁, 等. 心外膜脂肪组织体积与心房颤动的相关性研究[J]. *临床心血管病杂志*, 2019, 35(12):1104-1109.
- [34] Chao TF, Hung CL, Tsao HM, et al. Epicardial adipose tissue thickness and ablation outcome of atrial fibrillation [J]. *PLoS One*, 2013, 8(9):e74926.
- [35] Nagashima K, Okumura Y, Watanabe I, et al. Association between epicardial adipose tissue volumes on 3-dimensional reconstructed CT images and recurrence of atrial fibrillation after catheter ablation[J]. *Circ J*, 2011, 75(11):2559-2565.
- [36] Stojanovska J, Kazerooni EA, Sinno M, et al. Increased epicardial fat is independently associated with the presence and chronicity of atrial fibrillation and radiofrequency ablation outcome[J]. *Eur Radiol*, 2015, 25(8):2298-2309.
- [37] McGann C, Akoum N, Patel A, et al. Atrial fibrillation ablation outcome is predicted by left atrial remodeling on MRI[J]. *Circ Arrhythm Electrophysiol*, 2014, 7(1):23-30.
- [38] Akoum N, Fernandez G, Wilson B, et al. Association of atrial fibrosis quantified using LGE-MRI with atrial appendage thrombus and spontaneous contrast on transesophageal echocardiography in patients with atrial fibrillation [J]. *J Cardiovasc Electrophysiol*, 2013, 24(10):1104-1109.
- [39] Marrouche NF, Wilber D, Hindricks G, et al. Association of atrial tissue fibrosis identified by delayed enhancement MRI and atrial fibrillation catheter ablation: the DECAAF study [J]. *JAMA*, 2014, 311(5):498-506.
- [40] Platonov PG, Mitrofanova LB, Orshanskaya V, et al. Structural abnormalities in atrial walls are associated with presence and persistency of atrial fibrillation but not with age[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2011, 58(21):2225-2232.
- [41] Lee DK, Shim J, Choi JJ, et al. Left atrial fibrosis assessed with cardiac MRI in patients with paroxysmal and those with persistent atrial fibrillation[J]. *Radiology*, 2019, 292(3):575-582.
- [42] Higuchi K, Cates J, Gardner G, et al. The spatial distribution of late gadolinium enhancement of left atrial magnetic resonance imaging in patients with atrial fibrillation[J]. *JACC Clin Electrophysiol*, 2018, 4(1):49-58.
- [43] Benito EM, Cabanelas N, Nuñez-García M, et al. Preferential regional distribution of atrial fibrosis in posterior wall around left inferior pulmonary vein as identified by late gadolinium enhancement cardiac magnetic resonance in patients with atrial fibrillation[J]. *Europace*, 2018, 20(12):1959-1965.
- [44] Asirvatham SJ, Gard JJ. Wrinkles in the atrium: age, atrial fibrillation, or something else[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2011, 58(21):2233-2235.

(收稿日期:2021-04-01 修回日期:2021-09-05)