

影像学技术预测房颤射频消融术后复发的临床应用新进展

张梓旋, 孟莉*

青海大学研究生院, 青海 西宁

收稿日期: 2023年8月14日; 录用日期: 2023年9月8日; 发布日期: 2023年9月15日

摘要

射频消融术作为房颤的一线治疗方案已在临床广泛应用,但术后复发率较高是目前困扰临床治疗的难题,以持续性房颤为著。当前通过影像学手段预测房颤射频消融术后复发仍面临诸多挑战,但通过预测房颤射频消融术后复发的危险度,指导临床治疗及提振预后判断信心具有重要意义。多排螺旋CT (MSCT)定量参数及三维数据不仅能观察心脏的解剖结构及变异,还可测量心外膜脂肪组织体积(EATV),评估心房结构并判断重构情况。心脏磁共振(CMR)可利用延迟强化、参数定量等准确评估心房心肌纤维化及心脏容积、应变力情况。三维经胸超声心动图(TTE)评估左心房径线可与CMR及MSCT相媲美,二维斑点跟踪超声心动图在评估左心房功能,尤其是心房应变成像方面具有很高的可行性和重复性。人工智能及影像组学方法通过云计算,通过对海量影像数据的分析,更容易发现内在的规律,在预测房颤诊断及复发方面已经初步显示出优越性。这些技术在寻找房颤射频消融术后复发的病因和预测有价值的预后信息方面具有很好潜力。本文就各类影像学技术及人工智能手段在预测房颤射频消融术后复发的价值及临床应用新进展方面作一综述。

关键词

心房颤动, 射频消融术, 复发, 影像学技术, 人工智能

New Progress in Clinical Application of Imaging Techniques to Predict Recurrence of Atrial Fibrillation after Radiofrequency Ablation

Zixuan Zhang, Li Meng*

Graduate School of Qinghai University, Xining Qinghai

*通讯作者。

Abstract

Radiofrequency ablation has been widely used in clinic as the first-line treatment of atrial fibrillation, but the high postoperative recurrence rate is currently a difficult problem in clinical treatment, especially persistent atrial fibrillation. At present, there are still many challenges in predicting the recurrence of atrial fibrillation after radiofrequency ablation by imaging means. However, it is of great significance to guide clinical treatment and boost confidence in prognosis by predicting the risk of recurrence after radiofrequency ablation. Multi-slice spiral CT (MSCT) quantitative parameters and three-dimensional data can not only observe the anatomical structure and variation of the heart, but also measure the epicardial adipose tissue volume (EATV), evaluate the atrial structure and judge the remodeling. Cardiac magnetic resonance (CMR) can be used to accurately evaluate atrial myocardial fibrosis, cardiac volume and stress by delayed reinforcement and quantitative parameter. Three-dimensional transthoracic echocardiography (TTE) is comparable to CMR and MSCT in evaluating left atrial diameter. Two-dimensional spot tracking echocardiography has high feasibility and repeatability in evaluating left atrial function, especially in atrial strain imaging. Through cloud computing and analyzing massive image data, artificial intelligence and imaging methods can easily find the inherent laws, and have shown their advantages in predicting the diagnosis and recurrence of atrial fibrillation. These techniques have great potential to identify the etiology of recurrent atrial fibrillation after radiofrequency ablation and to predict valuable prognostic information. This article reviews the value and clinical application of various imaging techniques and artificial intelligence in predicting the recurrence of atrial fibrillation after radiofrequency ablation.

Keywords

Atrial Fibrillation, Radio Frequency Ablation, Recurrence, Imaging Techniques, Artificial Intelligence

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

心房颤动(Atrial fibrillation, AF)简称房颤,是临床上常见的心律失常且危害严重。胡大一等[1]对我国13个省和直辖市自然人群中29,079例30~85岁人群的流行病学调查提示,房颤年龄校正后患病率为0.65%,随年龄增长患病率增加,在>80岁人群中高达7.5%。射频消融术作为一种可以有效终止、减少房颤发生的治疗方法,被广泛应用于临床[2][3]。但其术后复发率高仍是困扰临床治疗房颤的难题,研究表明单次消融的复发率从30%~50%不等[4]。通过各种影像学技术预测消融术后复发可帮助临床医生判断患者的预后,在制定精准且个体化治疗策略方面有重要作用。超声、心脏CT(CCT)、心脏磁共振(CMR)等影像学技术在评估心房心肌纤维化及心脏容积、应变力、左心房功能方面各有优势。而基于影像大数据下的人工智能方法在预测房颤诊断及复发方面已初步显示出优越性,影像定量参数及机器学习可进行精准评估从而实现个体化诊疗。本文就影像学技术及人工智能在预测房颤射频消融术后复发的价值及临床应用新进展方面进行综述。

2. 房颤射频消融术后复发标准及预测复发指标

近年来一系列研究结果[5] [6]表明导管消融治疗在维持窦性心律和改善生活质量等方面优于抗心律失常药物治疗, 为导管消融作为阵发性房颤一线治疗提供了依据, 同时导管消融在持续性房颤治疗中的作用也得到了肯定[7]。但其术后复发发生率较高, 房颤复发定义为消融3个月后发生的房颤/房扑/房速, 如持续时间 ≥ 30 s, 视为房颤复发[2], 根据复发时间又分为晚期复发(术后3~12个月)和远期复发(术后12个月以后复发), 术后晚期复发率约为25%~40%, 其发生率与术前的房颤类型及复发筛查手段有关[8]。

现在临床应用中射频消融、冷冻消融均是目前临床治疗房颤的常用手段, 相比于冷冻消融, 磁导航引导的射频消融治疗技术具有高频、定位准确、不损伤神经及肌肉纤维、不抑制左心室功能等特点, 能最大限度地保障患者治疗操作的精确度和效果。张勇等人[9]的研究中得出磁导航引导的射频消融治疗房颤的效果更佳。其可以通过缩短X线曝光时间和消融时间, 从而提高双侧肺静脉电隔离成功率和降低术后并发症发生率。也有一项随机实验[5]中, 冷冻球囊消融术与射频消融术在治疗药物难治性阵发性房颤在治疗效果方面没有显著差异, 且两种方法的整体安全性方面没有明显的不同。

3. 超声技术及应用

超声心动图具有无创、省时、无射线等优点, 在评价心脏的结构及功能方面广泛应用, 二维斑点追踪(two-dimensional speckle tracking imaging, 2D-STI)技术通过追踪二维超声图像上的斑点获得心肌组织的速度、应变和应变率来分析心肌运动, 在评价心肌形变方面具有灵敏度高、可重复测量等优点。当房颤发展到一定阶段后心房肌纤维组织发生改变, 左心房功能障碍, 持续性房颤患者在失去心房主动收缩功能后左心房纤维化程度更明显, 心肌纤维排列更紊乱, 因而应变率的降低更显著。农俊等[10]对阵发性房颤患者的研究中采用二维斑点追踪成像技术评价经导管射频消融术治疗前后阵发性房颤患者左心房功能变化, 发现房颤患者与健康志愿者相比左心功能受损严重。孙恒等[11]在一项探讨左心耳应变率与左心耳纤维化程度相关性的研究中, 纳入接受心脏瓣膜置换术+心脏射频消融改良迷宫术的风湿性心脏病合并房颤患者36例, 术前均行经食管超声心动图检查测得左心耳应变率, 术中获取左心耳组织进行组织病理学检查, 依据6个月后是否复发房颤分为复发组与未复发组, 比较两组左心耳基底段、中间段、顶段及整体应变率, 以及左心耳分段和整体纤维化程度, 对比后发现左心耳应变率与其纤维化程度呈负相关, 其中左心耳基底段应变率与其分段纤维化程度的相关性较显著。在用三维超声心动图评估射频导管消融后左心耳和左心房功能变化的研究中[12]得出, 在消融术后的3个月后, 左心房消融形成的疤痕和左心房的重构仍在继续, 这种变化在持续性房颤的病人中更为显著。二维斑点追踪显像可以将心肌组织分成小矩形通过追踪心肌内回声斑点空间运动, 测量心肌运动, 反映心肌组织实时运动和变形情况。2D STE 具有较好的重复性与精确性, 且有别于传统的组织多普勒无角度依赖性, 但2D STE固有的局限性在于帧频依赖性, 对图像要求高。目前关于左房应变分析软件待进一步的完善, 更好地为临床服务。

4. CT 技术及应用

多层螺旋CT(MSCT)具有超高的扫描速度、空间分辨率和完善的后处理功能, 可为分析左心耳及左心房功能提供技术支持。目前指南推荐CT检查可作为房颤患者射频消融术前不能耐受经食管超声心动图检查的替代检查。Nakamura R等人[13]对300名持续性房颤的患者进行延迟增强CT扫描, 如果未见充盈缺损则进行射频消融术, 并在行射频消融术前行心内超声明确血栓不存在, 其中296例CT延迟增强扫描无充盈缺损的患者中, 在射频消融期间, 心内超声证实血栓不存在, 剩余6例CT延迟增强阳性患者随后进行抗凝治疗后, 充盈缺损在相同的CT延迟增强下消失后成功进行了射频消融术, 延迟增强

CT 是持续性房颤和长时间持续性房颤病人射频消融术前评价心内血栓和左心耳功能障碍的有价值工具。房颤病人在没有冠脉狭窄的时候临床症状通常是局部缺血, 在一项房颤病人的 CT 心肌灌注成像的研究[14]中, 使用动态 CT 灌注对 87 名计划行导管消融的房颤病人与窦性心律对照组的心肌血流量进行量化对比中, 比较房颤组和窦性心律组的充血性心肌血流改变, 用动态 CT 心肌灌注评价在射频消融术前后心肌血流改变, 研究结果显示在射频消融前房颤病人的充血性心肌血流变化明显低于窦性心律组, 通过射频消融恢复窦性心律后, 心肌血流明显提高, 并得出房颤病人的血流异常主要是由房颤本身导致的。利用 CT 三维成像技术研究房颤患者行环肺静脉电隔离术前后肺静脉的形态学变化的研究[15]中, 对 28 例行 CPVA 术后的房颤患者在(6.5 ± 3.9)个月后进行随访, 应用 64 排螺旋 CT 测量 CPVA 术前、后肺静脉口的径线、截面积、左心房容积来评估房颤患者的肺静脉和左心房的逆重构情况, 研究结果显示房颤患者成功行 CPVA 后, 患者肺静脉出现结构逆重构, 如按房颤复发与未复发组比较, 则改变更为明显。多层螺旋 CT 可为房颤射频消融术提供准确的左心房、肺静脉、左心耳解剖信息及心肌血流分配情况, 对术前、术后评估肺静脉变异、肺静脉口大小及形态, 为缩短术中时间, 减少辐射剂量, 提高手术成功率提供更多影像学依据。

5. MR 技术及应用进展

心脏磁共振成像(CMR)具有良好的软组织分辨率和空间分辨力, 是心脏解剖结构、功能形态及血流灌注等方面诊断和评估的“金标准”[16], 其多角度、多层面、多参数成像方式可以清晰、直观地显示肺静脉、左心房及左心耳区域的结构功能及形态特征[17], 还可以评价基于时相容积变化的左心房的储存功能、管道功能、泵功能。心电图和心脏三维超声是房颤常用的检查方法, 但是由于房颤导致心脏的重塑, 通过收缩末期测得的左心房前后径无法代表左房的实际大小[18], 心脏磁共振成像具有良好的软组织分辨率和空间分辨力, 是心脏解剖结构、功能形态及血流灌注等方面诊断和评估的“金标准”[16], 其多角度、多层面、多参数成像方式可以清晰、直观地显示肺静脉、左心房及左心耳区域的结构功能及形态特征[17], 还可以评价基于时相容积变化的左心房的储存功能、管道功能、泵功能。有研究[19]应用 CMR 特征追踪技术对左心房应力分析, 记录心房三期容积指数、应变参数, 研究结果提示 CMR 测量的左心房容积指数、左心房储存期应变力低于无复发组, 左心房容积指数高于无复发组, 二者是房颤患者射频消融术后早期复发的影响因素, 对房颤患者射频消融术后早期复发有一定预测价值。与 Markman 等研究中, 房颤患者的左心房不仅未发挥增压泵功能, 且储存和导管功能也减低, 提示了在无明显结构异常的情况下, 左心房的功能性指标预测复发的能力优于容积指标[20]的结果相符。延迟钆剂增强磁共振显像是应用细胞外钆造影剂, 胶原纤维间的细胞间隙较正常细胞明显增大, 功能性毛细血管减少, 导致纤维化区域造影剂浓度增加, 停留时间延长, 在 MRI 上纤维化区域显示高信号。目前关于具体量化尚无统一标准, Marrouche 等[21]根据患者左房壁强化的体积百分比提出了 Utah 分级: I 级(<10%)、II 级(10%~20%)、III 级(20%~30%)、IV 级(>30%), 260 例接受导管消融的患者, 在术后第 325 天, I 级、II 级、III 级、IV 级的复发率分别为 12%、31%、45%、55%, LGE-MRI 评估心房组织纤维化可预测消融术后心律失常复发的概率, 当强化心肌超过左房心肌 35%时复发率更高, 在消融术中除进行肺静脉隔离外, 还应进行底物修饰。CMR 的纵向弛豫时间定量成像(T1mapping)逐渐应用于左心房纤维化评价, 测量心肌细胞外的体积分数(ECV), 弥补 LGE-MRI 在定量弥漫性心肌纤维化上的缺陷。在 Luetkens 等[22]对于 61 例经导管消融的房颤患者中随访 1 年的研究中, 复发房颤的患者左心房 T1mapping 时间较未复发者长, 在多变量 Cox 回归分析中, T1mapping 是房颤复发的因素之一。随着 LGE-MRI、T1mappingCMR、心肌组织追踪技术的日益完善, 以及逐步在临床的推广可以为房颤患者个性化评估治疗方案、减少不必要的质量, 造福患者。

6. 人工智能技术应用进展

人工智能是计算机科学的一个分支,是使机器模仿人类智力处理问题,包括机器学习和深度学习等。机器学习作为一门交叉学科,是在统计学和计算机科学的交互作用下产生的,主要研究计算机怎样模拟或实现人类的学习行为,以获取新的知识或技能,重新组织已有的知识结构,从而不断完善自身的性能。近年来,随着人工智能及机器学习等技术的快速发展,大数据驱动下的深度学习体现了其强大的特征表达能力,各类深度学习算法被广泛运用于医疗健康领域。特别是针对不同检查数据的跨模态智能分析技术,通过分析多模态数据中各个模态的数据相关性和互补性,达到对数据高层特征的深层次理解,提高预测精准度,自动识别潜在危险因素。徐亮等[23]利用深度学习的跨模态智能分析技术,探索了心脏射频消融术后风险预警,通过融合患者病史特征信息,影像检查信息,生化检查信息,对术后风险及并发症进行预测。通过多组实验发现,深度模型并非越复杂越好,在样本量有限的情况下,选取合理的模型复杂度,并纳入多种模态特征可以获得更高的预测精度。Attia 等[24]将人工智能用于心电图分析、识别房颤,记录心电图时房颤尚未发作,人工智能模型也能根据细微的心电图变化筛查出潜在的房颤患者。此研究纳入 18.1 万例患者的 65 万份心电图(标准 12 导联,持续 10 s),按照是否患有房颤分为两组,再通过构建神经网络模型来识别窦性心律心电图的细微变化;心电图数据被分为三组,训练组(70%)、内部验证组(10%)和测试组(20%),最终发现,人工智能模型预测房颤的准确率高达 83%。利用人工智能,基于计算机算法可以优化诊断过程、提高决策能力,从而为临床医护人员提供更精准的决策支持。当然,人工智能的研究和应用均处于起步阶段,存在质量控制、结果推广等方面的诸多问题,需要在发展过程中继续探索解决之道。

7. 小结

房颤患者的导管消融治疗要求个体化病例管理方法。各类影像学检查是房颤导管消融的必要工具,术前合理使用各种影像学检查纳入合适的患者,制定最佳导管消融方案,调整术中干预策略,提高消融效率,缩减手术时间,术后早期识别术后并发症,评估手术效果,甚至指导二次手术消融。同时,随着影像检查技术的进步,未来期待将多种影像检查技术与生化指标联合应用,最大可能预测有适应症患者术后复发的可能,用以辅助临床医生进行术前评估,选择最优治疗方案,提高手术成功率,减少术后复发。

参考文献

- [1] Zhou, Z. and Hu, D. (2008) An Epidemiological Study on the Prevalence of Atrial Fibrillation in the Chinese Population of Mainland China. *Journal of Epidemiology*, **18**, 209-216. <https://doi.org/10.2188/jea.JE2008021>
- [2] 黄从新, 张澍, 黄德嘉, 等. 心房颤动: 目前的认识和治疗的建议-2018 [J]. 中国心脏起搏与心电生理杂志, 2018, 32(4): 315-368. <https://doi.org/10.13333/j.cnki.cjcpe.2018.04.001>
- [3] Calkins, H., Hinicks, G., Cappato, R., et al. (2017) 2017HRS/EHRA/ECAS/APHS/SOLAECE Expert Consensus Statement on Catheter and Surgical Ablation of Atrial Fibrillation: Executive Summary. *Journal of Arrhythmia*, **33**, 369-409. <https://doi.org/10.1016/j.joa.2017.08.001>
- [4] 陈玲, 祁荣兴, 刘君. 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[J]. 放射学实践, 2022, 37(5): 653-657. <https://doi.org/10.13609/j.cnki.1000-0313.2022.05.023>
- [5] Kuck, K.H., Brugada, J., Metzner, A., et al. (2016) Cryoballoon or Radiofrequency Ablation for Paroxysmal Atrial Fibrillation. *The New England Journal of Medicine*, **374**, 2235-2245. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1602014>
- [6] Morillo, C.A., Verma, A., Connolly, S.J., et al. (2014) Radiofrequency Ablation vs Antiarrhythmic Drugs as First-Line Treatment of Paroxysmal Atrial Fibrillation (RAAFT-2). *Journal of the American Medical Association*, **311**, 692-699. <https://doi.org/10.1001/jama.2014.467>
- [7] Mont, L., Bisbal, F., Hernández-Madrid, A., et al. (2014) Catheter Ablation vs. Antiarrhythmic Drug Treatment of Per-

- sistent Atrial Fibrillation: A Multicentre, Randomized, Controlled Trial (SARA Study). *European Heart Journal*, **35**, 501-507. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz457>
- [8] Jaïs, P., Cauchemez, B., Macle, L., *et al.* (2008) Catheter Ablation versus Antiarrhythmic Drugs for Atrial Fibrillation. *Circulation*, **118**, 2498-2505. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.108.772582>
- [9] 张勇, 游卫华, 李昌, 等. 房颤射频消融与房颤冷冻消融在影像定位与医学应用的相关性研究[J]. 影像研究与医学应用, 2022, 6(3): 191-193.
- [10] 农俊, 许键, 农华平, 等. 2D-STI 在评价冠心病阵发性房颤患者 RFCA 术后左心功能中的应用[J]. 影像科学与光化学, 2022, 40(4): 873-877.
- [11] 孙恒, 周军, 张松林, 等. 风湿性心脏病合并心房颤动患者左心耳应变率与其纤维化程度的相关性研究[J]. 临床超声医学杂志, 2022, 24(8): 572-577. <https://doi.org/10.16245/j.cnki.issn1008-6978.2022.08.020>
- [12] Hwang, J., Park, H.S., Han, S., *et al.* (2020) The Impact of Catheter Ablation of Atrial Fibrillation on the Left Atrial Volume and Function: Study Using Three-Dimensional Echocardiography. *Journal of Interventional Cardiac Electrophysiology*, **57**, 87-95. <https://doi.org/10.1007/s10840-019-00696-8>
- [13] Nakamura, R., Oda, A., Tachibana, S., *et al.* (2021) Prone-Position Computed Tomography in the Late Phase for Detecting Intracardiac Thrombi in the Left Atrial Appendage before Catheter Ablation for Atrial Fibrillation. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*, **32**, 1803-1811. <https://doi.org/10.1111/jce.15062>
- [14] Takafuji, M., Kitagawa, K., Nakamura, S., *et al.* (2021) Hyperemic Myocardial Blood Flow in Patients with Atrial Fibrillation before and after Catheter Ablation: A Dynamic Stress CT Perfusion Study. *Physiological Reports*, **9**, e15123. <https://doi.org/10.14814/phy2.15123>
- [15] 林明宽, 刘浩, 伍伟锋, 等. 心房颤动射频消融治疗前后肺静脉形态结构 CT 成像改变的临床研究[J]. 实用医学杂志, 2011, 27(9): 1555-1558.
- [16] Daccarett, M., McGann, C.J., Akoum, N.W., MacLeod, R.S. and Marrouche, N.F. (2011) MRI of the Left Atrium: Predicting Clinical Outcomes in Patients with Atrial Fibrillation. *Expert Review of Cardiovascular Therapy*, **9**, 105-111. <https://doi.org/10.1586/erc.10.177>
- [17] McGann, C., *et al.* (2014) Atrial Fibrillation Ablation Outcome Is Predicted by Left Atrial Remodeling on MRI. *Circulation: Arrhythmia and Electrophysiology*, **7**, 23-30. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.113.000689>
- [18] 贺鹏康, 杨颖, 范芳芳, 等. 左心房顺应性参数与阵发性心房颤动射频消融术后复发率相关性分析[J]. 中国介入心脏病学杂志, 2020, 28(2): 94-101.
- [19] 刘晓晨, 刘恩香, 李晶晶. 心脏磁共振对心房颤动射频消融术后早期复发的预测价值[J]. 中华实用诊断与治疗杂志, 2022, 36(1): 83-87. <https://doi.org/10.13507/j.issn.1674-3474.2022.01.020>
- [20] Markman, T.M., *et al.* (2017) Association of Left Atrial Structure and Function and Incident Cardiovascular Disease in Patients with Diabetes Mellitus: Results from Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis (MESA). *European Heart Journal: Cardiovascular Imaging*, **18**, 1138-1144. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jew332>
- [21] Marrouche, N.F., *et al.* (2014) Association of Atrial Tissue Fibrosis Identified by Delayed Enhancement MRI and Atrial Fibrillation Catheter Ablation: The DECAAF Study. *Journal of the American Medical Association*, **311**, 498-506. <https://doi.org/10.1001/jama.2014.3>
- [22] Luetkens, J.A., *et al.* (2018) Cardiac Magnetic Resonance Using Late Gadolinium Enhancement and Atrial T1 Mapping Predicts Poor Outcome in Patients with Atrial Fibrillation after Catheter Ablation Therapy. *Scientific Reports*, **8**, Article No. 13618. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-31916-2>
- [23] 徐亮, 陶倩, 钟菁, 等. 基于卷积神经网络的房颤患者导管消融术后复发预测[J]. 中国医学物理学杂志, 2022, 39(8): 1035-1040.
- [24] Attia, Z.I., Noseworthy, P.A., Lopez-Jimenez, F., *et al.* (2019) An Artificial Intelligence-Enabled ECG Algorithm for the Identification of Patients with Atrial Fibrillation during Sinus Rhythm: A Retrospective Analysis of Outcome Prediction. *The Lancet*, **394**, 861-867. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(19\)31721-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)31721-0)