

心房颤动外科射频消融术的演进、疗效与术后复发：机制、预测与管理策略

刘庆利^{1*}, 贾照林¹, 李红昕^{2#}

¹山东第一医科大学(山东省医学科学院)研究生部, 山东 济南

²山东第一医科大学第一附属医院结构性心脏病外科, 山东 济南

收稿日期: 2026年5月23日; 录用日期: 2026年6月17日; 发布日期: 2026年6月26日

摘要

心房颤动(房颤)是最常见的持续性心律失常, 其发病率随年龄增长显著上升, 并与卒中、心力衰竭及全因死亡风险增加密切相关。以Cox-Maze系列术式为代表的外科射频消融术是治疗房颤, 尤其是合并其他心脏手术指征患者的重要方法。从经典的“切割-缝合”迷宫术到以射频能量为基础的改良术式, 该技术不断演进, 在提高安全性与操作便捷性的同时, 维持了较高的窦性心律转复率。然而, 术后房颤复发仍是影响其长期疗效的核心挑战, 其发生率在不同研究中存在差异, 且复发机制复杂多元。本综述旨在系统梳理外科射频消融术的发展脉络, 评估其临床疗效与安全性, 并深入探讨术后复发的流行病学特征、潜在预测因子、病理生理学机制以及当前及新兴的预防与管理策略, 以期优化房颤外科治疗决策、改善患者长期预后提供循证依据。

关键词

心房颤动, 外科消融, Cox-Maze手术, 射频消融, 术后复发, 复发机制, 预测因素, 管理策略

Evolution, Efficacy, and Postoperative Recurrence of Surgical Radiofrequency Ablation for Atrial Fibrillation: Mechanisms, Prediction, and Management Strategies

Qingli Liu^{1*}, Zhaolin Jia¹, Hongxin Li^{2#}

¹Graduate School, Shandong First Medical University & Shandong Academy of Medical Sciences, Jinan

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 刘庆利, 贾照林, 李红昕. 心房颤动外科射频消融术的演进、疗效与术后复发: 机制、预测与管理策略[J]. 临床医学进展, 2026, 16(6): 2002-2013. DOI: 10.12677/acm.2026.1662420

Shandong

²Department of Structural Heart Disease, The First Affiliated Hospital of Shandong First Medical University, Jinan Shandong

Received: May 23, 2026; accepted: June 17, 2026; published: June 26, 2026

Abstract

Atrial fibrillation (AF) is the most common sustained cardiac arrhythmia, with its incidence rising markedly with advancing age and closely linked to increased risks of stroke, heart failure, and all-cause mortality. Surgical radiofrequency ablation, represented by the Cox-Maze series of procedures, constitutes an important therapeutic approach for AF, particularly in patients with concomitant indications for cardiac surgery. From the classic “cut-and-sew” Maze procedure to modified techniques based on radiofrequency energy, this technology has continuously evolved, enhancing safety and procedural ease while maintaining a high rate of sinus rhythm restoration. However, postoperative AF recurrence remains a central challenge affecting long-term efficacy, with reported incidence varying across studies and underlying mechanisms that are complex and multifactorial. This review aims to systematically delineate the developmental trajectory of surgical radiofrequency ablation, appraise its clinical efficacy and safety, and thoroughly explore the epidemiological features, potential predictors, pathophysiological mechanisms, and current and emerging prevention and management strategies for postoperative recurrence, thereby providing an evidence-based foundation for optimizing surgical decision-making in AF and improving long-term patient outcomes.

Keywords

Atrial Fibrillation, Surgical Ablation, Cox-Maze Procedure, Radiofrequency Ablation, Postoperative Recurrence, Recurrence Mechanisms, Predictive Factors, Management Strategies

Copyright © 2026 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. 前言

心房颤动(Atrial Fibrillation, AF)的全球疾病负担日益加重。对于需要接受心脏外科手术的房颤患者,同期进行外科消融已成为主流推荐。以 Cox-Maze III 手术为金标准的“切割-缝合”技术虽疗效确切,但技术复杂。射频能量消融技术的引入催生了 Cox-Maze IV 等改良术式,通过创建连续、透壁的消融线替代物理切割,简化了操作。然而,术后中远期的房颤复发问题依然突出,严重影响患者生活质量和长期预后。因此,全面理解术后复发的规律、机制并探索有效应对策略至关重要。

来自德国心脏外科房颤注册研究(CASE-AF Registry)的数据显示,出院时房颤复发率在心外膜消融组和心内膜消融组分别为 32.3%和 24.0%,1 年手术成功率分别为 58.4%和 62.2%。在技术层面,采用双极射频钳进行左心房盒状消融,平均随访 12.6 个月时无房颤生存率为 77.2%。然而,术后复发机制复杂,涉及消融线不完整、心房肌病与进行性纤维化、自主神经重构及炎症反应等。预测复发风险对优化管理至关重要,患者因素如房颤类型、左心房大小,以及手术因素如消融线完整性,均是重要预测指标。面对复发,管理策略需个体化,包括围手术期优化、确保透壁消融及对早期与晚期复发的鉴别处理。深入探讨上述问题,对提升该领域治疗水平具有深远意义。

2. 心房颤动外科射频消融术的技术演进与术式分类

2.1. 经典迷宫手术：Cox-Maze III 的原理与历史地位

经典迷宫手术，特别是 Cox-Maze III 术式，是外科治疗心房颤动的基石。该术式基于“切割与缝合”原理，通过在左右心房创建一系列精确的切口，形成一条引导电信号从窦房结传至房室结的“迷宫”样路径，从而阻断导致房颤的多重折返环路。这些切口不仅隔离了肺静脉等关键触发灶，也分割了心房内潜在的折返基质。Cox-Maze III 术在直视下进行，确保了切口的透壁性和连续性，因此其长期窦性心律维持率极高，被确立为外科治疗房颤的“金标准”[1]。尽管其疗效卓越，但由于手术技术复杂、需要体外循环支持且手术时间较长，限制了其在临床上的广泛应用。然而，其确立的以肺静脉隔离为核心、结合心房线性消融以改良基质的治疗理念，深刻影响了后续所有房颤消融技术的发展方向，奠定了现代房颤外科治疗的解剖和电生理基础。

2.2. 能量消融时代的开启：从“切割”到“消融”的范式转变

为了简化经典迷宫手术的复杂性并降低手术创伤，房颤外科治疗经历了从“切割缝合”到“能量消融”的范式转变。这一转变的核心是利用各种能量源(如射频、冷冻等)在心房组织上产生可控的透壁性损伤，以替代传统的手术切口，从而达到相同的电隔离和基质改良效果。能量消融技术使得外科医生能够在心脏跳动下(off-pump)或通过微创途径进行房颤消融，显著扩大了手术适应症并降低了手术风险。例如，双极射频消融钳的出现，使得在胸腔镜下或开胸手术中快速、可靠地创建透壁性线性损伤成为可能[2]。这种转变不仅保留了迷宫手术的治疗精髓，还极大地提高了手术的可及性和安全性，推动了房颤外科消融与心脏其他手术(如瓣膜置换、冠脉搭桥)的联合开展，成为当前主流的外科治疗模式。

2.3. 主流能量源比较：射频、冷冻、微波及高强度聚焦超声

现代外科房颤消融主要依赖多种能量源，各具特点。射频能量是目前应用最广泛的能量形式，通过电阻产热使组织细胞发生凝固性坏死。双极射频消融钳能产生可靠、快速的透壁性损伤，是外科消融的主力工具[3]。相比之下，冷冻消融利用超低温(如 -60°C 以下)使组织发生冻融损伤，其优势在于组织损伤边界清晰，对周围结构(如食管)的潜在热损伤风险较低，在心内膜消融中应用较多[4]。微波和高强度聚焦超声则属于相对小众的能量源。微波能产生较深的组织加热，但穿透深度和损伤的均一性控制更具挑战；高强度聚焦超声能实现无接触的聚焦消融，但设备复杂，临床应用经验有限。一项比较研究显示，在阵发性和持续性房颤患者中，射频导管消融、冷冻球囊消融和全胸腔镜外科消融的12个月无房颤生存率分别为84%、74%和85%，提示不同能量源和术式在不同患者群体中各有优劣[5]。脉冲场消融作为一种新兴的非热能消融技术，通过高压脉冲电场不可逆地电穿孔心肌细胞，具有组织选择性高、操作时间短的潜力，但其在外科领域的应用尚在探索初期[6]。

2.4. 现代外科消融术式：Cox-Maze IV 及其衍生技术

Cox-Maze IV 术式是现代外科消融的代表，它继承了 Cox-Maze III 的完整损伤线路设计，但用双极射频消融钳和消融笔替代了绝大部分“切割与缝合”步骤。标准 Cox-Maze IV 线路包括双侧肺静脉的广泛隔离、左房后壁的“盒状”隔离、连接左右肺静脉隔离环的顶部线、二尖瓣峡部线、以及右心房的三尖瓣峡部线和界嵴线等[7]。该术式通常在心脏停跳、直视下进行，确保了损伤线路的完整性和透壁性，尤其适用于在行其他心脏手术(如瓣膜手术)时合并的房颤治疗。研究证实，对于风湿性二尖瓣疾病合并的非阵发性房颤，应用射频钳和笔创建完整的双心房损伤线路，其长期无房性心律失常生存率显著优于简化的损伤线路[8]。Cox-Maze IV 及其衍生技术平衡了疗效与手术可行性，已成为当前心脏外科中治疗房

颤，特别是持续性或长期持续性房颤的主流标准术式。

2.5. 微创外科消融与杂交手术的发展现状

微创外科消融旨在进一步减少手术创伤，主要代表为全胸腔镜外科消融。该技术通过胸壁小孔，在胸腔镜辅助下，使用双极射频消融钳在跳动的心脏表面(心外膜)进行消融，通常完成双侧肺静脉隔离和左房后壁盒状隔离，并可同期切除或闭合左心耳[5]。其优势在于避免了胸骨切开和体外循环，患者恢复快。对于部分复杂病例，如存在持续性左上腔静脉的房颤患者，胸腔镜消融结合术前虚拟现实模拟，也能安全有效地完成[9]。杂交手术则是微创外科消融与经皮导管消融的有机结合。通常先由外科医生通过微创途径完成心外膜消融(如 COBRA Fusion 系统)，数月后再由电生理医生进行心内膜导管消融，以验证并补充损伤线路的完整性，尤其针对二尖瓣峡部等心外膜难以完全透壁的区域。这种序贯式杂交策略旨在通过内外科协同，达到最高的线路阻滞成功率，尤其适用于非阵发性房颤患者。SurHyb 试验等研究正在评估杂交手术相较于单纯外科冷冻迷宫手术的优劣[10]。此外，一种无需打开左房的“闭房式”双极射频左房盒状隔离技术也被报道，其在合并冠脉搭桥或主动脉瓣置换手术时安全可行，为外科消融提供了新的选择[11]。

3. 外科射频消融术的临床疗效与安全性评估

3.1. 窦性心律转复成功率：单中心与多中心注册研究数据

外科射频消融术在恢复和维持窦性心律方面显示出良好的成功率，其效果因手术技术和患者特征而异。单中心经验表明，采用新型闭合心房双极射频“盒状”消融技术，在平均 12.6 个月的随访中，无房颤生存率可达 77.2% [11]。一项比较射频导管消融、冷冻球囊消融和全胸腔镜外科消融的单中心研究显示，在 12 个月时，外科消融组的无房颤生存率(85%)与射频导管消融组(84%)相当，且优于冷冻球囊消融组(74%) [5]。来自德国心脏外科房颤注册研究的多中心数据进一步证实了伴随外科消融的有效性。该研究发现，出院时，采用心外膜入路(主要为射频消融)和心内膜入路(主要为冷冻消融)的患者房颤复发率分别为 32.3%和 24.0%。在 1 年随访时，两组患者的总体手术成功率分别为 58.4%和 62.2%，症状均有显著改善[4]。这些数据表明，外科射频消融术是恢复窦性心律的有效手段，其成功率在单中心和多中心研究中均得到验证。

3.2. 对卒中风险、心力衰竭及全因死亡率的影响

外科射频消融术不仅旨在恢复心律，其重要的治疗目标之一是降低房颤相关的远期并发症风险，特别是卒中和心力衰竭。虽然直接评估外科消融对卒中风险影响的前瞻性随机对照试验数据有限，但伴随手术进行的左心耳处理是降低血栓栓塞风险的关键环节。在闭合心房“盒状”消融技术中，所有患者均同期使用左心耳夹进行闭合，经食道超声证实成功，且围手术期无卒中事件发生[4]。德国注册研究数据显示，接受伴随外科消融的患者，其 1 年死亡率在心外膜组和心内膜组分别为 7.7%和 5.0% [4]。对于因房颤导致功能性房室瓣反流而接受手术的患者，研究显示，术后房颤复发与不良临床结局(包括全因死亡、因充血性心力衰竭再住院和卒中)显著相关[12]。这些结果提示，成功的外科消融并通过左心耳管理降低卒中风险，可能对改善患者长期预后，包括减少心力衰竭事件和降低死亡率，具有积极意义。

3.3. 围手术期并发症谱：出血、卒中、膈神经损伤等

外科射频消融术总体上是安全的，但仍存在特定的围手术期并发症风险。常见的并发症包括出血、卒中、膈神经损伤以及罕见的食管相关并发症。德国多中心注册数据显示，伴随外科消融的院内死亡率

较低,心外膜组和心内膜组分别为 2.2%和 2.9% [4]。比较不同消融方式的研究发现,全胸腔镜外科消融组的并发症发生率约为 5%,包括出血等[5]。食管损伤是房颤消融后一种罕见但致命的并发症。一项全球性调查显示,在超过 55 万例导管消融(主要为射频能量)中,食管瘘的发生率约为 0.025%,且与射频能量相比,冷冻能量的风险显著更低[13]。个案报告也记录了射频消融后可能发生的房-食管瘘或心包-食管瘘,强调早期识别和紧急手术修复对生存至关重要[14][15]。此外,肺静脉狭窄也是导管消融后已知的并发症,有时需要外科修复[16]。这些数据勾勒了外科消融的并发症谱,强调了精细操作和术后严密监测的重要性。

3.4. 与单纯药物治疗及导管消融的疗效比较

外科射频消融常作为药物难治性房颤,尤其是合并其他心脏手术需干预时的选择。与单纯药物治疗相比,外科消融能更有效地恢复窦性心律。例如,在非阵发性房颤患者中,单纯外科 CryoMaze 与序贯杂交消融(外科 CryoMaze 术后 3 个月行导管消融)的比较研究正在通过随机试验进行评估,旨在优化治疗方案[10]。与导管消融技术相比,外科消融在某些患者群体中可能具有优势。一项真实世界的病例对照研究表明,在 6 个月随访期内,新型脉冲场消融与射频导管消融在治疗阵发性和持续性房颤的复发率方面疗效相当[6]。然而,对于更复杂的病例,如风湿性二尖瓣病合并非阵发性房颤,应用射频钳和笔创建完整双心房损伤组的消融策略,其长期无房性快速性心律失常生存率显著优于简化的损伤组[8]。这表明,对于特定亚组患者,更彻底的外科消融术式可能提供优于导管消融的长期疗效。

3.5. 患者报告结局与生活质量改善

评估外科消融的成功不仅限于心律转复和并发症,患者报告的生活质量改善是至关重要的结局指标。德国 CASE-AF 注册研究明确指出,接受伴随外科消融的患者在 1 年随访时症状有显著改善[3]。手术相关的疼痛是影响患者早期体验的重要因素。一项回顾性研究比较了不同功率射频消融对术后疼痛的影响,发现使用高功率(50 W)消融的患者,其术后即刻和晚期的疼痛报告显著低于使用常规功率(35 W)的患者,同时治疗时间更短[17]。这提示优化消融参数不仅能提高效率,还能直接提升患者的术后舒适度。此外,成功维持窦性心律、避免房颤相关症状(如心悸、乏力)以及降低卒中担忧,共同促进了患者生活质量的整体提升。尽管多数研究主要报告心律结局,但注册研究中提到的症状改善为外科消融对患者报告结局的积极影响提供了支持性证据。

当前疗效数据多源于注册研究和回顾性分析,随机对照试验证据匮乏,尤其缺乏以卒中、死亡为终点的确定性研究。成功率定义和监测手段的差异极大,使研究间可比性受限。安全性报告可能存在发表偏倚,罕见致死性并发症的真实发生率或被低估。此外,左心耳处理的独立获益尚需严格设计来分离。未来亟需标准化结局报告体系,并通过多中心随机研究提供高级别证据,以真正夯实外科消融的临床推荐地位。

4. 术后心房颤动复发的流行病学与预测模型

4.1. 复发定义与监测方法的异质性(如心电图、Holter、植入式循环记录仪)

术后心房颤动(AF)复发的定义和监测方法存在显著的异质性,这直接影响了复发率的报告和比较。目前,复发的定义通常基于术后特定时间点(如 3 个月“空白期”后)记录到的心律失常事件,但监测的强度和持续时间差异很大。常规监测方法包括间歇性心电图(ECG)和 24 小时或更长时间的动态心电图(Holter),但这些方法可能漏诊阵发性或无症状的 AF 事件[18]。相比之下,植入式循环记录仪(ILR)等长期连续监测设备能够更敏感地检测到 AF 复发,包括无症状事件,从而可能报告更高的真实复发率[18]。

这种监测方法的差异导致了文献中报道的复发率范围很广。例如，基于间歇性 ECG 或短期 Holter 的研究可能低估复发负担，而使用 ILR 的研究则能更准确地反映 AF 的疾病负荷和消融术后的真实疗效。因此，在解读和比较不同研究的复发数据时，必须考虑其采用的监测策略和复发定义标准，这强调了在临床实践和研究中采用标准化监测方案的重要性。

4.2. 短期、中期与长期复发率的汇总分析

心房颤动外科射频消融术后的复发率随时间推移而变化，通常可分为短期(如术后 1 年内)、中期(1~3 年)和长期(3 年以上)进行汇总分析。尽管提供的参考文献未直接给出外科消融后具体的复发率数据，但基于导管消融和 AF 自然病程的普遍认知，复发风险在术后早期较高，部分与手术相关的炎症和水肿有关。随着时间延长，心房基质(如纤维化)的进行性改变可能成为中远期复发的主要驱动因素[19]。有证据表明，早期进行节律控制(包括消融治疗)可以改善 AF 患者的预后[20]。然而，即使成功消融，AF 作为一种进行性疾病，其复发风险持续存在，这与心房心肌病的潜在病理生理机制相关[21]。长期随访数据显示，复发率可能随着时间累积而增加，强调了持续监测和长期管理的重要性。汇总不同研究的数据时，需注意患者基线特征(如 AF 类型、左心房大小)、消融术式完整性和随访监测强度的差异，这些因素都会显著影响各时间段的复发率报告。

4.3. 患者相关预测因素：年龄、房颤类型与持续时间、左心房大小、合并症

患者自身的多项特征被证实是预测外科射频消融术后 AF 复发的重要因素。年龄是一个关键因素，老年患者通常心房纤维化程度更重，电生理基质更不稳定，复发风险更高[22]。AF 的类型和持续时间至关重要：与阵发性 AF 相比，持续性或长期持续性 AF 意味着更广泛的心房重塑和更严重的基质异常，因此复发风险显著增加[23]。左心房大小和功能是强有力的预测指标。左心房容积增大(如左心房容积指数升高)和功能下降(如左心房射血分数降低)反映了心房心肌病的严重程度，与术后复发和更差的临床结局密切相关[24]。此外，合并症如高血压、糖尿病、肥胖、慢性肾脏病等不仅增加 AF 发生风险，也通过促进系统性炎症和心房纤维化而增加消融术后复发风险[20]。这些患者相关因素共同构成了复发风险的基线评估框架，有助于在术前识别高危个体。

4.4. 手术与技术相关预测因素：消融线完整性、能量选择、附加术式

手术操作和技术细节是影响 AF 外科消融成功率的另一类核心预测因素。消融线的完整性是确保电学隔离、阻断折返环路的基础。不完整或传导恢复的消融线是术后复发的主要原因之一。实现永久性、透壁性的损伤是技术关键。能量选择(如射频、冷冻)可能影响损伤的形成和特性，但两种能量在有效性上总体可比，而安全性可能因具体术式和患者情况而异[25]。对于典型心房扑动，单纯三尖瓣峡部消融可能足够，但对于合并结构性心脏病或更复杂心律失常的患者，可能需要更广泛的消融策略[26]。附加术式，特别是左心耳处理，已成为许多外科消融手术的重要组成部分。成功的左心耳封堵或切除不仅降低了血栓栓塞风险，也可能通过消除一个潜在的 AF 触发灶而影响节律结局[11]。此外，针对特定基质(如后壁盒状隔离)的扩大消融策略，旨在更彻底地隔离肺静脉和改良心房基质，可能对持续性 AF 患者尤其有益[11]。手术技术的不断演进，旨在通过更彻底和持久的基质改良来提高长期成功率。

5. 术后房颤复发的病理生理学机制探讨

5.1. 消融线不完整与传导恢复：电生理基质重塑的关键

外科射频消融术旨在通过创建连续、透壁的消融线来隔离致心律失常基质并阻断折返环路。然而，消融线不完整或术后出现传导恢复是导致房颤复发的重要电生理机制。消融线的不完整可能源于术中未

能实现透壁性损伤,或在愈合过程中,消融线内残存的心肌细胞或再生组织形成了新的电传导通路[27]。这种传导恢复为折返性心律失常(如房扑或房速)创造了基质。研究证实,在二尖瓣峡部或三尖瓣峡部消融线中,即使通过传统方法验证为完全性传导阻滞,高密度标测仍可能识别出微小的传导缝隙[28]。这些缝隙成为慢传导区,易于形成围绕固定解剖屏障(如二尖瓣环)的大折返性房扑。此外,消融后心房组织的电生理重构是一个动态过程,炎症反应和纤维化修复可能改变局部组织的传导特性,导致原先被阻断的路径恢复传导或形成新的致心律失常基质[29]。因此,确保消融线的完整性和持久性是提高手术成功率、降低复发率的关键。

5.2. 心房肌病与进行性纤维化:复发的基础基质

心房肌病是指心房的结构、功能、电生理及神经内分泌的异常改变,其核心病理特征之一是进行性心房纤维化[21]。这种纤维化并非消融术的直接结果,而是患者既有的或持续进展的疾病基础,构成了房颤发生和复发的根本基质。心房纤维化破坏了心肌细胞的正常连接,导致电传导的各向异性和缓慢传导,为多子波折返和房颤的维持提供了理想环境[19]。外科消融虽然可以隔离或改良部分基质,但无法逆转广泛的心房肌病进程。术后,原有的病理生理驱动因素(如高血压、心力衰竭、衰老、炎症)可能持续存在,导致心房纤维化进一步加重,从而在消融线之外形成新的致心律失常区域[30]。影像学技术如心脏磁共振(CMR)延迟增强可用于评估心房纤维化负荷,其严重程度与消融术后房颤复发风险显著相关[19]。因此,识别和管理潜在的心房肌病,而不仅仅是针对房颤本身,对于预防术后复发至关重要。

5.3. 自主神经重构与炎症反应在复发中的作用

自主神经系统(交感与副交感)在心房电生理调节中扮演关键角色,其重构是房颤发生和维持的重要机制,同样参与术后复发过程。心脏的自主神经节丛主要分布于心外膜脂肪垫中,外科消融术中可能对其产生直接或间接的调制作用[31]。然而,消融损伤本身会引发局部炎症反应,释放多种细胞因子和生长因子,这不仅可能促进心房纤维化,还可能引起自主神经的重塑,例如神经出芽或超敏反应[32]。这种神经重构可能改变心房的有效不应期和传导速度,增加触发活动和折返的风险。动物模型研究表明,长期心房快速起搏可导致自发房颤发生,并伴随心率变异性改变,提示自主神经平衡失调[31]。此外,围术期的全身性炎症状态(如心脏手术相关的炎症反应)也可能加剧心房电不稳定性及结构重构,为早期房颤复发创造条件[33]。因此,控制围术期炎症和探索针对自主神经系统的调节策略,可能是减少房颤复发的潜在途径。

5.4. 左心耳电隔离与触发灶管理的重要性

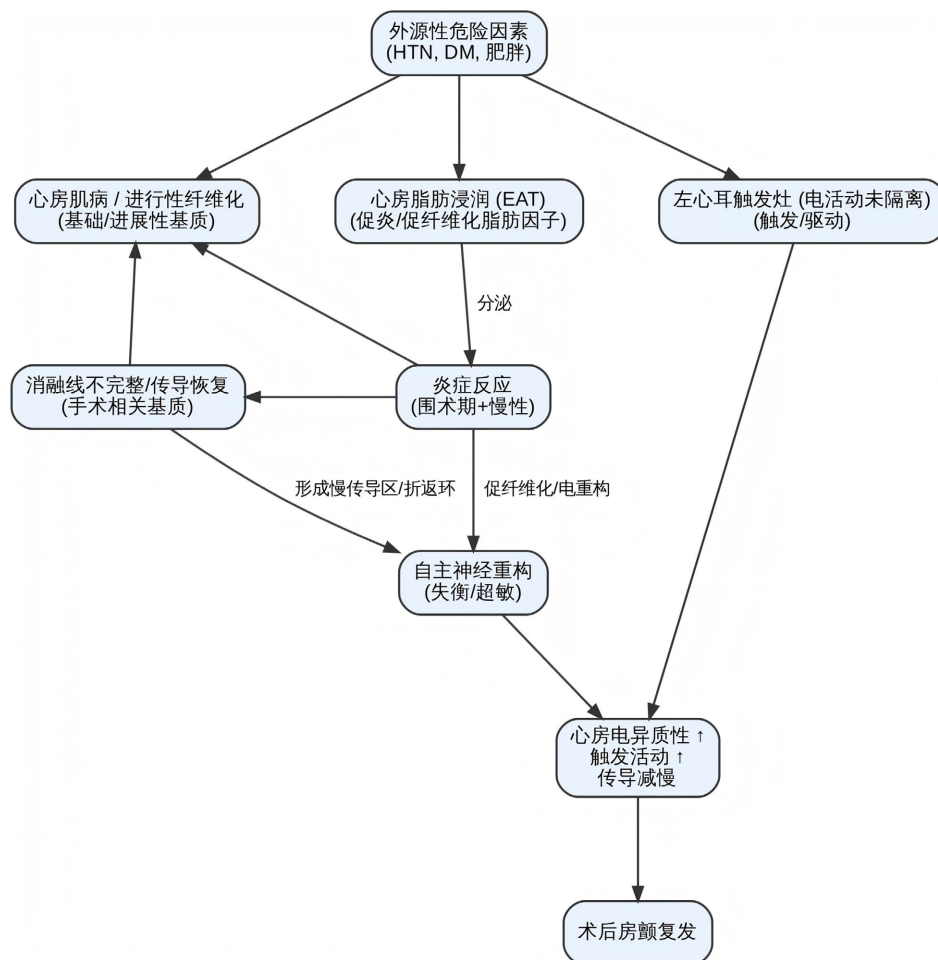
左心耳不仅是血栓形成的主要部位,也是非肺静脉触发灶的重要来源,尤其在持续性房颤患者中[34]。在外科消融中,左心耳的处理策略(如切除、闭合或电隔离)对房颤复发有重要影响。单纯机械性闭合左心耳(如使用夹闭装置)可能无法消除其电活动,残留的左心耳肌袖仍可能产生快速电活动,触发或驱动房颤[11]。因此,对左心耳进行电隔离(即实现其与左心房主腔之间的双向传导阻滞)被证明能进一步提高房颤消融的成功率,特别是对于长程持续性房颤[35]。然而,左心耳电隔离后,其机械收缩功能丧失,即使维持窦性心律,血栓栓塞风险也可能增加,这强调了术后长期抗凝的必要性[36]。外科术中同期实现左心耳的完全电隔离和机械封闭,理论上可以兼顾卒中预防和降低房颤复发风险,但需要平衡手术复杂性和潜在风险[11]。有效管理左心耳这一关键触发灶,是优化外科消融策略的重要环节。

5.5. 新兴机制:心房脂肪浸润、基因易感性等

除了上述经典机制,一些新兴的病理生理因素逐渐被认识到与房颤复发相关。心房脂肪浸润,特别

是心外膜脂肪组织(EAT)向心房肌层的浸润,是一个备受关注的领域。EAT 是一种代谢活跃的内分泌器官,其分泌的促炎性脂肪因子(如瘦素、抵抗素)和促纤维化因子可直接作用于毗邻的心房心肌,促进局部炎症、氧化应激和纤维化,从而改变电传导特性[37]。影像学研究显示,心房 EAT 体积与房颤的存在、持续性和消融后复发相关[38]。此外,遗传易感性在房颤的发生发展中起着基础性作用。全基因组关联研究已识别出多个与房颤风险相关的基因位点,如 PITX2、ZFHX3 等,这些基因可能通过影响心房发育、电重构或纤维化通路,决定个体对房颤及其复发的易感性[39]。虽然目前针对特定基因型的个体化消融策略尚未成熟,但理解基因背景有助于识别高危患者并探索新的治疗靶点。这些新兴机制为深入理解房颤复发的复杂性和开发新型干预措施提供了新的视角。

尽管从电生理、结构和神经体液角度对复发机制已有深入认识,但现有研究多聚焦单一通路,对炎症-纤维化-自主神经重构之间动态互作的级联效应理解不足。动物模型和体外发现难以直接外推至多合并症、多重用药的患者群体。左心耳电隔离后血栓风险增加的具体机制仍停留在现象描述。未来需借助多模态成像和高密度标测,将碎片化机制整合为可量化的网络模型,识别关键节点,推动从机制解释向靶向干预的跨越(图 1)。



注: HTN: 高血压; DM: 糖尿病; EAT: 心外膜脂肪组织。网络显示,炎症、纤维化、脂肪浸润和自主神经重构之间形成多重正反馈环路,共同驱动房颤复发。

Figure 1. Pathophysiological mechanism network of postoperative atrial fibrillation recurrence
图 1. 术后房颤复发的病理生理机制网络

6. 术后复发的预防策略与管理路径

6.1. 围手术期优化：抗心律失常药物桥接与上游治疗

围手术期的优化管理是预防心房颤动(AF)外科射频消融术后复发的关键环节。这包括抗心律失常药物的桥接治疗以及对上游病因的积极干预。对于持续性 AF 患者,术后早期使用抗心律失常药物有助于维持窦性心律,为心房电重构和结构重构的逆转争取时间[20]。同时,上游治疗强调对 AF 根本病因和危险因素的控制,例如积极管理高血压、糖尿病和肥胖,这些措施对于预防 AF 的发生和复发至关重要[20]。研究表明,早期节律控制策略能够改善患者预后,而导管消融是预防 AF 复发的常用手段[20]。因此,一个综合性的围手术期管理方案,结合药物桥接和针对心房心肌病(如心房纤维化)的上游治疗,对于打破“房颤致房颤”的恶性循环、降低远期复发风险具有重要意义[19]。

6.2. 手术技术优化：确保透壁与连续消融的策略与工具

手术技术的持续优化是提高 AF 外科消融成功率、降低复发率的基石。核心目标在于创建透壁、连续且持久的消融损伤线,以彻底阻断异常电传导通路。传统的切开缝合迷宫手术(Maze IV)因其确切疗效,对于合并结构性心脏病的 AF 患者(如心房扑动)仍是重要选择[26]。近年来,微创和器械辅助技术不断发展。例如,一种新型的闭式双极射频盒状消融技术,可在不切开左心房的情况下实现左心房后壁的完全隔离,初步研究显示其安全可行,且能有效维持窦性心律[11]。此外,在心室心动过速的杂交手术中,与射频消融相比,冷冻消融显示出更短的消融时间和更低的并发症发生率,这提示能量源的选择也是优化手术策略的重要方面[25]。这些技术进步旨在提高消融的精确性和一致性,从而减少因消融线不完整或非透壁所导致的术后复发。

6.3. 术后早期复发与晚期复发的鉴别与处理

准确鉴别和处理 AF 消融术后的早期复发与晚期复发,对于制定合理的后续管理策略至关重要。早期复发(通常指术后3个月内)常与消融区域的急性炎症、水肿和自主神经功能紊乱有关,多数为一过性,并不一定预示手术的最终失败[40]。例如,在原发性自发性气胸手术后,早期复发(30天内)的患者其远期再发率显著低于晚期复发者,提示其性质可能不同[40]。相比之下,晚期复发(通常指术后3个月后)更多与消融线的恢复传导、心房基质进展或新的致心律失常灶形成相关。处理策略应基于复发的时间、模式和症状。对于早期复发,通常建议继续使用抗心律失常药物并观察;而对于明确的晚期复发,则需要重新评估,可能涉及调整药物治疗方案或考虑进行经皮导管消融等补救性措施[20]。

6.4. 药物干预：抗心律失常药物与抗凝治疗的再评估

术后药物干预的再评估是管理复发风险的重要组成部分。抗心律失常药物(AADs)在术后早期用于促进窦性心律的维持,尤其对于症状性复发患者。研究表明,与单纯抗心律失常药物治疗相比,导管消融能更好地维持窦性心律并改善患者生活质量[41]。因此,对于消融术后复发患者,是否继续、更换或启用AADs需个体化权衡疗效与副作用。另一方面,抗凝治疗的管理同样关键。尽管消融成功可能降低卒中风险,但抗凝决策不应仅仅基于心律状态,而应依据患者的卒中风险评分(如CHA₂DS₂-VASc评分)[33]。直接口服抗凝剂已成为血栓栓塞预防的主流选择,并且其特异性拮抗剂也已上市,为管理提供了更多灵活性[20]。对于无法耐受长期抗凝的患者,经皮左心耳封堵术是一个重要的替代方案[20]。

6.5. 介入补救措施：经皮导管消融的作用与时机选择

当 AF 外科消融术后出现复发时,经皮导管消融作为一种重要的介入补救措施,其作用与时机选择

需要慎重考量。导管消融已成为预防 AF 复发的常规治疗手段[20]。对于术后晚期复发、症状明显的患者，经皮导管消融可以针对首次手术可能遗漏或恢复传导的肺静脉、消融线缺口或其他心房基质进行补充消融。时机选择上，通常建议在“空白期”（术后 3 个月）之后进行，以排除早期一过性复发，确保消融靶点的准确性[40]。在操作前，应利用高密度标测、心脏磁共振成像等工具仔细评估心房基质，特别是心房纤维化的程度和分布，因为心房心肌病的严重程度与消融治疗效果相关[21]。对于经过严格选择的患者，补救性导管消融可以有效控制心律，改善症状，是综合管理路径中的重要一环。

当前预防与管理策略多基于专家共识，围术期抗心律失常药物的种类与疗程、上游治疗的真实依从性均缺乏高质量证据支持。以 3 个月为界的“空白期”划分过于僵硬，忽略了个体间炎症消退和基质稳定时间的差异。补救性消融的时机多凭经验决策。更重要的是，管理路径多为被动应对复发，鲜有基于术后连续监测的主动干预研究。未来应建立风险动态评估与预先节律干预的闭环体系，真正实现个体化全程管理。

7. 结论

外科射频消融术作为治疗心房颤动，尤其是合并心脏外科疾病患者的关键技术，其发展历程体现了从经典迷宫手术向更安全、更可操作的能量消融术式的成功转型。这一演进不仅显著提升了手术的即时成功率与安全性，更在长期降低卒中风险、改善患者整体预后方面确立了明确价值。然而，术后房颤复发作为制约其远期疗效的核心瓶颈，其复杂性不容忽视。复发并非单一因素所致，而是患者个体特征(如年龄、心房大小)、进行性心房基质恶化、手术技术细节(如消融线的完整性与透壁性)以及术后多重重构共同作用的结局。

面对这一挑战，未来的发展路径应立足于精准与综合。在预测层面，需超越传统的临床参数，整合先进的心脏影像学(如延迟钆增强 MRI 评估纤维化)、血清生物标志物及遗传信息，构建多维度的复发风险预测模型，从而实现早期高危人群的精准识别。在管理策略上，必须采取贯穿始终的综合方案：术前优化患者状态，术中追求消融损伤的透壁性与连续性，术后加强心律监测并建立快速反应通道。对于复发患者，个体化的药物调整或导管消融补救治疗是必要补充。

展望未来，研究的焦点应深入至更根本的层面。首要任务是开发能够可靠评估消融损伤长期完整性的技术。其次，探索更高效、更安全新型能量源(如脉冲电场消融)与智能化消融工具，有望进一步提升损伤的持久性与均一性。最终，针对心房纤维化这一房颤发生与维持的核心基质，开发能够逆转或抑制其进展的靶向疗法，将是实现房颤外科根治性治疗的突破方向。通过技术精进、管理优化与机制探索的协同并进，外科射频消融术有望为房颤患者带来更稳定、更持久的窦律维持与生活质量的全面提升。

参考文献

- [1] Seco, M., Lau, J.C., Medi, C. and Bannon, P.G. (2022) Atrial Fibrillation Management during Septal Myectomy for Hypertrophic Cardiomyopathy: A Systematic Review. *Asian Cardiovascular and Thoracic Annals*, **30**, 98-107. <https://doi.org/10.1177/02184923211042136>
- [2] Maesen, B. and La Meir, M. (2020) Unilateral Left-Sided Thoracoscopic Ablation of Atrial Fibrillation. *The Annals of Thoracic Surgery*, **110**, e63-e66. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2020.01.057>
- [3] Saito, S., Matsuura, A. and Miyahara, K. (2021) A Safe and Secure Approach for Creating a Box Lesion in the Left Atrium. *Asian Cardiovascular and Thoracic Annals*, **29**, 223-225. <https://doi.org/10.1177/0218492320981473>
- [4] Mitrovic, I., Eszlari, E., Cvorak, A., Liebold, A., Rastan, A., Grubitzsch, H., et al. (2024) Epicardial and Endocardial Surgical Ablation of Atrial Fibrillation: Outcomes from CASE-AF Registry. *Interdisciplinary CardioVascular and Thoracic Surgery*, **39**, ivae123. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivae123>
- [5] Kwon, H.J., Choi, J.H., Kim, H.R., Park, S., Jeong, D.S., On, Y.K., et al. (2021) Radiofrequency vs. Cryoballoon vs. Thoracoscopic Surgical Ablation for Atrial Fibrillation: A Single-Center Experience. *Medicina*, **57**, Article 1023.

- <https://doi.org/10.3390/medicina57101023>
- [6] Yang, M., Wang, P., Hao, Y., Liang, M., Yu, Z., Li, X., *et al.* (2023) A Real-World Case-Control Study on the Efficacy and Safety of Pulsed Field Ablation for Atrial Fibrillation. *European Journal of Medical Research*, **28**, Article No. 519. <https://doi.org/10.1186/s40001-023-01509-5>
- [7] Yu, Y. and Jiang, Q. (2025) Surgical Methods and Devices for Atrial Fibrillation. *Reviews in Cardiovascular Medicine*, **26**, Article No. 26841. <https://doi.org/10.31083/rcm26841>
- [8] Li, H., Yu, C., Gao, G., Wang, S., Liu, S., Wang, X., *et al.* (2023) Superiority of Complete Bi-Atrial Ablation Procedure for Atrial Fibrillation in Rheumatic Mitral Valve Disease. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*, **34**, 62-70. <https://doi.org/10.1111/jce.15716>
- [9] Liu, H., Tan, T., Qiu, H., Chen, J., Liu, J., Wei, P., *et al.* (2023) Case Report: Thoracoscopic Ablation for a Patient with Atrial Fibrillation and Persistent Left Superior Vena Cava. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, **9**, Article ID: 1096973. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.1096973>
- [10] Bulava, A., Mokráček, A., Wichterle, D., Budera, P., Osmančík, P., Kačer, P., *et al.* (2023) Sequential Hybrid Ablation versus Surgical Cryomaze Alone for Treatment of Atrial Fibrillation (Surhyb Trial): A Protocol of the Multicentre Randomized Controlled Trial. *Journal of Applied Biomedicine*, **21**, 67-72. <https://doi.org/10.32725/jab.2023.007>
- [11] Pecha, S., Petersen, J., Yildirim, Y., Bazhanov, I., Reichenspurner, H. and Alassar, Y. (2025) Closed Atrium Bipolar Radiofrequency Box Lesion for Concomitant Surgical Atrial Fibrillation Ablation. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, **12**, Article ID: 1655695. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2025.1655695>
- [12] Kim, K., Kim, H.J., Jung, S., Lee, J. and Kim, J.B. (2023) Functional Insufficiency of Mitral and Tricuspid Valves Associated with Atrial Fibrillation: Impact of Postoperative Atrial Fibrillation Recurrence on Surgical Outcomes. *Korean Circulation Journal*, **53**, 550-562. <https://doi.org/10.4070/kcj.2022.0355>
- [13] Tilz, R.R., Schmidt, V., Pürerfellner, H., Maury, P., Chun, K.R.J.u., Martinek, M., *et al.* (2023) A Worldwide Survey on Incidence, Management, and Prognosis of Oesophageal Fistula Formation Following Atrial Fibrillation Catheter Ablation: The POTTER-AF Study. *European Heart Journal*, **44**, 2458-2469. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehad250>
- [14] Di Lazzaro, D., Pantanella, R., Berti, V. and Da Col, U. (2024) Beating Heart Surgical Treatment of Atrio-Esophageal Fistula after Radiofrequency Ablation of Atrial Fibrillation. *Giornale Italiano di Cardiologia*, **25**, 57-59. <https://doi.org/10.1714/4165.41593>
- [15] Jiang, Z., Hou, Z. and Wang, C. (2026) Pericardial-Esophageal Fistula after Ethanol and Radiofrequency Ablation of Atrial Fibrillation. *JACC: Case Reports*, **31**, Article 106156. <https://doi.org/10.1016/j.jaccas.2025.106156>
- [16] Ito, H., Mutsuga, M., Tokuda, Y. and Usui, A. (2020) Modified Sutureless Repair Using Left Atrial Appendage Flap for Acquired Left-Sided Pulmonary Vein Stenosis. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*, **58**, 395-397. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezaa032>
- [17] Chen, Y., Jin, J., Zhu, L., Zhang, Y., Wei, C., Yang, Q., *et al.* (2024) The Effect of Different Power Radiofrequency Ablations in Treatment and Postoperative Pain in Patients with Atrial Fibrillation: A Retrospective Study. *BMC Cardiovascular Disorders*, **24**, Article No. 478. <https://doi.org/10.1186/s12872-024-04147-9>
- [18] Zhu, L., Nathan, V., Kuang, J., Kim, J., Avram, R., Olgin, J., *et al.* (2022) Atrial Fibrillation Detection and Atrial Fibrillation Burden Estimation via Wearables. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, **26**, 2063-2074. <https://doi.org/10.1109/jbhi.2021.3131984>
- [19] Rivner, H., Mitrani, R.D. and Goldberger, J.J. (2020) Atrial Myopathy Underlying Atrial Fibrillation. *Arrhythmia & Electrophysiology Review*, **9**, 61-70. <https://doi.org/10.15420/aer.2020.13>
- [20] Al-Khatib, S.M. (2023) Atrial Fibrillation. *Annals of Internal Medicine*, **176**, ITC97-ITC112. <https://doi.org/10.7326/aitc202307180>
- [21] Baman, J.R., Cox, J.L., McCarthy, P.M., Kim, D., Patel, R.B., Passman, R.S., *et al.* (2021) Atrial Fibrillation and Atrial Cardiomyopathies. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*, **32**, 2845-2853. <https://doi.org/10.1111/jce.15083>
- [22] Xue, J. and Yao, Y. (2022) Atrial Aging and Atrial Fibrillation. *Chinese Journal of Internal Medicine*, **61**, 965-968.
- [23] Brundel, B.J.J.M., Ai, X., Hills, M.T., Kuipers, M.F., Lip, G.Y.H. and de Groot, N.M.S. (2022) Atrial fibrillation. *Nature Reviews Disease Primers*, **8**, Article No. 21. <https://doi.org/10.1038/s41572-022-00347-9>
- [24] Vera, A., Lanaspá, A., Jiménez, O., Navarro, A., Basurte, M.T., Beunza, M., *et al.* (2024) Atrial Fibrillation versus Non-atrial Fibrillation Coronary Embolism. *Catheterization and Cardiovascular Interventions*, **104**, 1196-1203. <https://doi.org/10.1002/ccd.31249>
- [25] Chung, W.H., Hayase, J., Davies, M.J., Do, D.H., Sorg, J.M., Ajjjola, O.A., *et al.* (2023) Cryothermal Energy Demonstrates Shorter Ablation Time and Lower Complication Rates Compared with Radiofrequency in Surgical Hybrid Ablation for Recurrent Ventricular Tachycardia. *Heart Rhythm*, **20**, 1708-1717. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2023.08.036>
- [26] Chen, F., Gao, J., Song, C., Wang, Z., Xiong, H., Ding, L., *et al.* (2021) Surgical Radiofrequency Ablation of Atrial

- Flutter: Which Operation Should We Choose? *Journal of Surgical Case Reports*, **2021**, rjab503. <https://doi.org/10.1093/jscr/rjab503>
- [27] Frisch, D.R. (2019) Identifying a Gap in a Cavotricuspid Isthmus Flutter Line Using the Advisor™ HD Grid High-Density Mapping Catheter. *Journal of Innovations in Cardiac Rhythm Management*, **10**, 3919-3922. <https://doi.org/10.19102/icrm.2019.111202>
- [28] Jiménez-López, J., Vallès, E., Martí-Almor, J., González-Matos, C., Bas, D., Benito, B., *et al.* (2020) Mapping Potentials Adjacent to the Cavo-Tricuspid Isthmus Ablation Line during Incremental Pacing: A Feasible and Highly Accurate Maneuver to Confirm Complete CTI Conduction Block. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*, **31**, 1649-1657. <https://doi.org/10.1111/jce.14542>
- [29] Allesie, M.A. (2024) Atrial Fibrillation Begets Atrial Fibrillation: The Role of Electroanatomic Remodeling. *Heart Rhythm*, **21**, 248-249. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2023.11.032>
- [30] Tubeecckx, M.R.L., De Keulenaer, G.W., Heidbuchel, H. and Segers, V.F.M. (2024) Pathophysiology and Clinical Relevance of Atrial Myopathy. *Basic Research in Cardiology*, **119**, 215-242. <https://doi.org/10.1007/s00395-024-01038-0>
- [31] Balan, A.I., Halațiu, V.B., Cozac, D.A., Comșulea, E., Mutu, C.C., Aspru, I., *et al.* (2025) Atrial Fibrillation Begets Atrial Fibrillation in Small Animals: Characterization of New Rat Model of Spontaneous Atrial Fibrillation. *Biomedicines*, **13**, Article 704. <https://doi.org/10.3390/biomedicines13030704>
- [32] Ajoolabady, A., Pratico, D., Lin, L., Mantzoros, C.S., Bahijri, S., Tuomilehto, J., *et al.* (2024) Inflammation in Atherosclerosis: Pathophysiology and Mechanisms. *Cell Death & Disease*, **15**, Article No. 817. <https://doi.org/10.1038/s41419-024-07166-8>
- [33] Bodenstein, M., Rohn, D. and Schuster, M. (2021) Perioperative Atrial Fibrillation. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther*, **56**, 516-525. <https://doi.org/10.1055/a-1180-0619>
- [34] Gharaviri, A., Pezzuto, S., Potse, M., Verheule, S., Conte, G., Krause, R., *et al.* (2021) Left Atrial Appendage Electrical Isolation Reduces Atrial Fibrillation Recurrences. *Circulation: Arrhythmia and Electrophysiology*, **14**, e009230. <https://doi.org/10.1161/circep.120.009230>
- [35] Romero, J., Di Biase, L., Mohanty, S., Trivedi, C., Patel, K., Parides, M., *et al.* (2020) Long-Term Outcomes of Left Atrial Appendage Electrical Isolation in Patients with Nonparoxysmal Atrial Fibrillation: A Propensity Score-Matched Analysis. *Circulation: Arrhythmia and Electrophysiology*, **13**, e008390. <https://doi.org/10.1161/circep.120.008390>
- [36] Fink, T., Ouyang, F., Heeger, C., Sciacca, V., Reissmann, B., Keelani, A., *et al.* (2020) Management of Thrombus Formation after Electrical Isolation of the Left Atrial Appendage in Patients with Atrial Fibrillation. *EP Europace*, **22**, 1358-1366. <https://doi.org/10.1093/europace/eaal174>
- [37] Saglietto, A., Falasconi, G., Soto-Iglesias, D., Francia, P., Penela, D., Alderete, J., *et al.* (2023) Assessing Left Atrial Intramyocardial Fat Infiltration from Computerized Tomography Angiography in Patients with Atrial Fibrillation. *Europace*, **25**, eua4351. <https://doi.org/10.1093/europace/eaad351>
- [38] Conte, M., Petraglia, L., Cabaro, S., Valerio, V., Poggio, P., Pilato, E., *et al.* (2022) Epicardial Adipose Tissue and Cardiac Arrhythmias: Focus on Atrial Fibrillation. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, **9**, Article ID: 932262. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.932262>
- [39] Maguy, A., Mahendran, Y., Tardif, J., Busseuil, D. and Li, J. (2023) Autoimmune Atrial Fibrillation. *Circulation*, **148**, 487-498. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.122.062776>
- [40] Woo, W., Kim, C.H., Kim, B.J., Song, S.H., Moon, D.H., Kang, D., *et al.* (2021) Early Postoperative Pneumothorax Might Not Be “True” Recurrence. *Journal of Clinical Medicine*, **10**, Article 5687. <https://doi.org/10.3390/jcm10235687>
- [41] Schnabel, R.B., Rillig, A. and Kirchhof, P. (2021) Atrial Fibrillation. *Der Internist*, **62**, 1065-1073. <https://doi.org/10.1007/s00108-021-01067-0>