

代谢相关生物标志物预测心房颤动 导管消融术后复发的研究进展

闫虹宇, 贺玉泉*

(吉林大学中日联谊医院, 吉林 长春 130033)

摘要: 心房颤动导管消融术后房颤的复发率较高, 传统预测指标存在局限性。代谢紊乱是心房颤动发生发展及术后复发的重要病理机制, 代谢相关生物标志物因可在早期识别风险并指导早期干预, 具有重要预测价值。本文梳理脂质代谢、糖代谢、嘌呤代谢相关的生物标志物与房颤复发的关系, 为医护人员早期识别房颤复发高危患者、制订精准治疗措施提供参考。

关键词: 心房颤动; 导管消融术; 代谢; 生物标志物

DOI: 10.3969/j.issn.1007-4287.2026.05.021

Research progress on metabolic biomarkers in predicting recurrence after catheter ablation for atrial fibrillation YAN Hongyu, HE Yuquan*. (China-Japan Union Hospital of Jilin University, Changchun 130033, China)

* Corresponding author: HE Yuquan, heyq@jlu.edu.cn

Abstract: The recurrence rate of atrial fibrillation (AF) after catheter ablation is relatively high, and traditional predictive indicators have limitations. Metabolic disorders are important pathological mechanisms underlying the occurrence, development, and post-ablation recurrence of AF. Metabolic-related biomarkers hold significant predictive value due to their ability to identify risks at an early stage and to guide early interventions. This article systematically reviews the relationships between AF recurrence and biomarkers associated with lipid metabolism, glucose metabolism, purine metabolism, as well as composite indicators such as the uric acid to creatinine ratio and triglyceride-glucose index. It aims to provide a reference for medical staff to early identify patients at high risk of AF recurrence and develop precise treatment measures.

Key words: Atrial fibrillation; Catheter ablation; Metabolism; Biomarkers

(Chin J Lab Diagn, 2026, 30: 0756)

心房颤动(以下简称房颤)是最常见的心律失常类型,是卒中和心力衰竭的主要原因之一,是公共卫生领域的重大挑战^[1]。对于药物难治性房颤,导管消融术(以下简称消融术)是首选治疗方案。该技术通过射频、冷冻、脉冲等能量手段消除及隔离房颤病灶,可有效恢复并维持窦性心律,减轻患者症状,改善预后。然而,导管消融术也存在着术后复发的风险。其术后早期复发率为 25%~40%,晚期复发率为 11%~29%^[2]。

明确房颤术后复发的危险因素并建立精准预测模型,是降低复发率、优化治疗策略的关键。传统的复发预测指标主要集中于临床特征(如年龄、房颤类型、病程)与心脏结构参数(如左心房直径、左心室射血分数),但这类指标多数难以干预,存在局限性。因此,寻找更具临床价值的预测指标与工具,指导消

融术后的个体化干预,具有重要意义。

心脏的正常电活动与结构的维持依赖稳定的代谢环境。代谢紊乱是房颤发生、发展及术后复发的重要核心机制之一。与传统指标相比,代谢相关生物标志物具有两点优势:一是代谢相关生物标志物可较为直接地反映机体病理生理状态,可更早期、更精准地识别复发风险;二是多数代谢指标(如血脂、血糖、尿酸)可通过生活方式干预或药物治疗进行调控。本综述旨在系统梳理脂质代谢、糖代谢、嘌呤代谢等途径中与房颤导管消融术后复发相关的生物标志物及其预测价值,以期为房颤术后复发的精准预测与个体化干预提供理论依据。

1 脂质代谢相关标志物

脂质代谢包括了脂质的吸收、合成、运输、储存等复杂过程。人体的脂质代谢异常可以诱发肥胖、血脂异常等,也可致体内脂肪分布状态改变。这些异常状态可能导致心房结构重构,促进心肌组织的

* 通信作者: 贺玉泉, heyq@jlu.edu.cn

闫虹宇,等.代谢相关生物标志物预测心房颤动导管消融术后复发的研究进展

炎症反应,引起房颤的发生和维持。现有研究表明,人体测量学指标(如身体质量指数、腰围等)、心外膜脂肪特征(包括体积、分布及其 CT 值)、血浆脂蛋白水平以及部分脂肪因子在预测心房颤动导管消融术后复发方面具有价值。

1.1 人体测量学指标

超重或肥胖既是房颤发生发展的危险因素,又与房颤消融术后复发率升高有关^[3-4]。身体质量指数(body mass index, BMI)与腰围是衡量患者超重程度的简易指标,且 BMI 与房颤复发的关系呈现出“U”型关系。DENG 等^[3]的研究纳入了 1 410 例接受导管消融手术的房颤患者,发现 BMI $\geq 26.36 \text{ kg/m}^2$ 的患者复发率显著提高,而 BMI $< 18.5 \text{ kg/m}^2$ 的患者复发风险也偏高。LIU 等^[5]分析了 26 项队列研究,共涉及 26 450 位研究对象,发现 BMI 每增加 5 kg/m^2 ,房颤消融术后复发风险增加 15%,超重或肥胖与房颤消融术后复发呈正相关。但是,仅仅依靠 BMI 无法评价患者脂肪的分布,也难以区分体重是来源于肌肉还是脂肪组织。相比 BMI,腰围更能反映内脏脂肪含量。SHANG 等^[6]研究了 100 例接受冷冻消融的阵发性房颤患者,发现腰围大的患者房颤术后复发率更高。这些测量指标易于获取,有望成为临床长期随访管理中预测房颤消融术后复发的实用指标。

1.2 心外膜脂肪相关生物标志物

心外膜脂肪是沉积在心脏表面,紧贴心肌的一层脂肪组织,其分泌炎症因子,参与心肌重构的过程,与房颤密切相关。技术进步使得准确测量和评估心外膜脂肪成为可能。FAN 等^[7]的荟萃分析发现,复发患者心外膜脂肪组织平均体积比未复发患者高 19.77 cm^3 。JU 等^[8]利用 CT 图像分析了 350 例患者,发现心外膜脂肪体积 $\geq 11.90 \text{ mL}$ 可能是房颤患者预后不良的预测因子。除了心外膜脂肪体积,脂肪组织的计算机断层扫描(computed tomography, CT)的 CT 值因其与局部炎症相关,也被认为具有预测房颤消融术后复发的潜力。EL MAH-DIUI 等^[9]随访了 460 例患者(中位随访时间 18 个月),发现左心房后部脂肪 CT 值较高($\geq -96.4 \text{ HU}$)的患者,其心房颤动累积复发率高于 CT 值较低($< -96.4 \text{ HU}$)的患者。YANG 等^[10]的研究也发现,左房周围心外膜脂肪 CT 值每增加 1 HU,复发风险增加 12%。房颤患者接受导管消融手术治疗前须筛查左心耳血栓,这一工作通常借助左心房计算机断层扫描血管造影(Computed Tomography

Angiography, CTA)来完成。利用 CT 评估心外膜脂肪组织是一种相对经济便捷的方式。有部分研究报道,总心外膜脂肪量与房颤术后复发无关,而分布在左房周围的心外膜脂肪与房颤复发关系则更为密切。总之,心外膜脂肪在预测房颤复发中的作用有待进一步挖掘。

1.3 血浆脂蛋白

与房颤消融术后复发密切相关的血浆脂蛋白主要有:低密度脂蛋白胆固醇(low-density lipoprotein cholesterol, LDL-C)、高密度脂蛋白胆固醇(high density lipoprotein cholesterol, HDL-C)、残粒样微粒胆固醇(remnant-like particle cholesterol, RLP-C)以及甘油三酯(triglyceride, TG)。但是,上述血浆脂蛋白对房颤复发的影响的研究结果不一。早期多项研究发现,较低的血浆 LDL-C 水平与较高的房颤消融术后复发风险相关。这一现象在女性中更为显著^[11]。然而,近期 ZOU 等^[12]研究发现,血浆 LDL-C 与房颤导管消融术后的复发呈现出“L”型关系,LDL-C 处于 3.20 mmol/L 时,房颤复发率最低,低于该值,复发风险显著增加;高于该值,复发风险虽呈上升趋势,但无统计学意义,研究者认为可能由样本量偏少所致。相比之下,关注 HDL-C 与房颤复发关系的研究略少。部分涉及到 HDL-C 的研究也得出了其与房颤术后复发无关的结论。然而,将其与炎症或其他代谢指标结合,却展现出了预测房颤复发的能力。WU 等^[13]分析了 320 例房颤消融术后的患者,发现 RLP-C 每增加 0.1 mmol/L ,复发风险降至未增加时的 75%。关于 TG 对房颤术后复发的影响,也存在着不同意见。部分研究者认为术前血浆 TG 浓度不影响房颤术后复发,而 GU 等^[14]把房颤患者按术前血浆 TG 浓度分为低浓度($< 1.28 \text{ mmol/L}$)、中浓度($1.28 \text{ mmol/L} \leq \text{TG} < 1.89 \text{ mmol/L}$)以及高浓度($\geq 1.89 \text{ mmol/L}$)3 组,与低浓度组相比,中浓度组的房颤复发风险显著升高,高浓度组的复发风险进一步增加。将血浆脂蛋白与其他指标结合,形成复合指标,以期得到其与房颤复发相对稳定的相关关系,成为了一种可行的研究方向。

1.4 脂肪因子

抵抗素是一种蛋白质类细胞因子,主要由脂肪细胞分泌。它在调节机体糖代谢、脂代谢及参与炎症反应等过程中发挥重要作用。其血浆水平可能因心外膜脂肪堆积,以及多种心脏疾病而升高^[15]。抵抗素与房颤发病的关系尚存争议,但是有研究提示其血清水平与房颤消融术后复发相关。CHANG

等^[16]发现, 血浆抵抗素水平 ≥ 777 pg/mL 是房颤消融术后房性心动过速复发的独立预测因素, 且在该研究中, 血浆抵抗素水平预测效能优于左心房直径。与抵抗素相似, 内脂素也主要由脂肪组织分泌, 参与代谢和炎症调节。血清内脂素浓度对房颤复发有预测价值。PLATEK 等^[17]分析了 236 例接受射频消融的患者, 发现内脂素浓度 >1.25 ng/ml 是房颤复发的独立预测因子。

上述指标在房颤消融术后复发预测中各有特点与价值。人体测量学参数获取便捷, 是基础且实用的初步筛查工具; 心外膜脂肪可借助 CT 技术精准评估, 目前却缺乏有效的干预手段; 血浆脂蛋白单一指标的预测结论虽存在分歧, 但与其他指标联合形成的复合指标, 有望突破现有研究局限; 抵抗素、内脂素等脂肪因子已被证实为复发的独立预测因子, 展现出应用潜力。这些指标共同为房颤消融术后患者的临床风险分层提供了重要参考。

2 糖代谢相关生物标志物

2.1 糖化血红蛋白

长期高血糖可通过激活氧化应激、促进线粒体超氧化物过量生成, 导致心房缺血损伤。同时还可引起心房电重构、结构重构, 增加房颤的易感性。糖化血红蛋白(glycated hemoglobin, HbA1c)能够较为稳定地反映 2~3 个月的血糖水平, 是临床常用的评价血糖控制情况的指标。部分研究报道了基线糖化血红蛋白水平预测房颤导管消融术后复发的价值。DONNELLAN 等^[18]提出, 糖尿病患者房颤消融前血糖控制改善(尤其是糖化血红蛋白下降 $>10\%$)可显著降低术后房颤复发率, 且消融前 12 个月的血糖控制趋势是复发的独立预测因素。LU 等^[19]发现, HbA1c $<6.9\%$ 的糖尿病患者窦性心律维持率为 69.0%, 显著高于 HbA1c $\geq 6.9\%$ 组的 46.8%。CHEN 等^[20]对 338 例接受冷冻球囊消融的房颤患者进行了中位时间 18 个月的随访, 发现无论是否合并 2 型糖尿病、房颤是否持续, 基线 HbA1c 均与导管消融术后复发率密切相关。该文献报道, 基线 HbA1c 每增加 1 个标准差, 复发风险增加 75%。其中, HbA1c 每增加 1 个标准差, 合并 2 型糖尿病者, 复发风险增加 89%; 非 2 型糖尿病患者增加 118%; 阵发性房颤患者增加 80%; 持续性房颤患者增加 120%。在各类房颤患者中, HbA1c 预测房颤消融术后复发的作用是普适的。

2.2 胰岛素抵抗指数

胰岛素抵抗能够促进心房的解剖重构和电重

构, 导致心脏对房颤的易感性增加。胰岛素抵抗指数(homeostasis model assessment of insulin resistance, HOMA-IR)的计算公式为空腹血糖(mmol/L) $\times$ 空腹胰岛素(μ U/mL)/22.5。研究表明^[21-22], HOMA-IR 是行肺静脉隔离的导管消融术后心房颤动复发的独立预测因素。

3 嘌呤代谢相关生物标志物

尿酸是人体嘌呤代谢的终产物, 也是临床常用的生物标志物。生理状态下, 尿酸的生成和排泄保持动态平衡。生理浓度的尿酸具有抗氧化作用, 而过高的尿酸反而会增加活性氧的生成、促进炎症反应, 导致心房的电重构和结构重构, 为房颤的发展提供有利条件^[23-24]。现有研究表明, 不论是术前还是术后的血清尿酸浓度, 均对房颤导管消融术后复发具有预测价值。HE 等^[25]的研究发现, 在阵发性房颤患者中, 术前血清尿酸水平是导管消融术后复发的独立预测因素。CANPOLAT 等^[26]提出, 术前尿酸预测阵发性房颤患者术后复发的最佳阈值为 6.37 mg/dL, 此时灵敏度为 85.7%, 特异度为 83.7%。术前尿酸高于该阈值者复发率是低于该值者的 17.8 倍。SHIMOJO 等^[27]将血清尿酸水平 >7.0 mg/dL 作为高尿酸血症的判断标准, 在调整了性别、饮酒量、脑钠肽水平、肾功能等混杂因素后, 发现高尿酸血症是房颤复发的独立预测因素。值得注意的是, 前 3 项研究均未涉及持续性心房颤动的患者。此外, OSETO 等^[28]报道, 术后高尿酸血症与持续性房颤患者的复发也存在相关关系。

4 复合指标

代谢紊乱与炎症、氧化应激等因素在房颤病程中协同作用, 共同触发房颤。聚焦于单一的代谢维度, 或聚焦于某一种物质的代谢, 难以反映各种危险因素发挥的协同作用。因此, 尝试将代谢相关生物标志物与多维度的信息整合, 寻找合适的复合指标, 可能有助于更加准确地预测房颤患者术后复发的风险, 指导个体化治疗。

4.1 尿酸与肌酐比值

前文提及, 术前血清尿酸升高与房颤消融术后复发相关, 但肾功能损伤会影响尿酸排泄, 导致单纯的血清尿酸水平难以真实反映内源性尿酸状态。相较于尿酸单一指标, 尿酸与肌酐比值(serum uric acid to creatinine ratio, UCR), 是经肾功能校正后的指标。借此可避免因忽略肾功能对尿酸水平的影响而导致的偏差, 更准确反映内源性尿酸水平^[29]。ZHANG 等^[30]研究了包含持续性和阵发性房颤在

闫虹宇,等.代谢相关生物标志物预测心房颤动导管消融术后复发的研究进展

内的 233 例患者,发现 UCR 是房颤患者导管消融术后复发的独立预测因素。目前,关于 UCR 与心血管疾病关系的研究,更多集中于充血性心力衰竭、急性冠状动脉综合征及高血压领域,而专门针对 UCR 与房颤消融术后复发相关性的研究仍较为缺乏。

4.2 尿酸与白蛋白比值

尿酸与白蛋白比值(uric acid to albumin ratio, UAR)被认为可以评估患者的炎症水平。KARATAŞ 等^[31]的研究表明,UAR 是房颤术后复发的独立预测因素。KALENDEROGLU 等^[32]的研究也发现,患者 UAR 水平与房颤术后复发独立相关。不过,这两项研究均只纳入了接受冷冻消融的房颤患者,该结论对于接受射频或脉冲消融的患者是否有意义尚待进一步研究。

4.3 尿酸与 HDL-C 比值

尿酸与 HDL-C 比值(uric acid to high density lipoprotein cholesterol ratio, UHR)反映了人体的炎症及氧化应激水平,与多种代谢疾病相关。LIU 等^[33]、孙奕等^[34]的研究分别显示,在合并非酒精性脂肪性肝病、冠状动脉粥样硬化性心脏病的患者中,UHR 升高与新发房颤的风险增加相关。近期也有研究进一步报道了 UHR 具有预测房颤消融术后复发的价值。DERVIS 等^[35]研究了接受射频消融以及冷冻消融的共计 163 位房颤患者,发现术前 UHR>15.1 是房颤复发的独立危险因素。UHR>15.1 时预测复发的特异度 70.97%,灵敏度 61.54%。王保龙等^[36]随访了 586 位接受射频消融的非瓣膜性房颤患者,也提出了 UHR 高者房颤消融术后晚期复发率更高的观点。然而,这两个研究都主要关注术后 1 年内的复发,未评估 1 年以上的复发率,且仅收集患者术前基线水平的 UHR,无法评价持续性的 UHR 管理对房颤复发的影响。

4.4 单核细胞与 HDL-C 比值

单核细胞与 HDL-C 比值(monocyte to high density lipoprotein cholesterol ratio, MHR)是炎症和氧化应激生物标志物之一,被认为与多种心血管疾病不良结局相关^[37]。CHEN 等^[38]发现,术前 MHR 是预测射频消融术后心房颤动复发的独立危险因素。CANPOLAT 等^[39]的研究也证实了在接受冷冻消融的阵发或持续房颤患者中,术前 MHR 对术后的房颤复发均有预测价值,且该比值在阵发房颤患者群体中预测能力更强。而关于该比值可否预测接受脉冲消融患者的术后复发,则仍待研究。

4.5 估算葡萄糖处置率

估算葡萄糖处置率(estimated glucose disposal rate, eGDR)计算公式为: $19.02 - (0.22 \times \text{BMI}) - (3.26 \times \text{高血压}) - (0.61 \times \text{糖化血红蛋白})$ 。此处 eGDR 单位为 $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{min})$;糖化血红蛋白单位为 DCCT%;高血压则为二分类变量,若患者有高血压病史、正在服用降压药物,或收缩压>130 mmHg 和/或舒张压>80 mmHg,则赋值为 1;否则赋值为 0。借助 eGDR,可以较为便捷准确地评估患者胰岛素抵抗的状况。目前,关注 eGDR 与房颤关系的研究较少。HUANG 等^[40]通过对英国生物样本数据库(UK Biobank)的研究,发现 eGDR 与房颤发病风险呈非线性负相关。TAN 等^[41]则进一步从该数据库中选取了 31 733 位基线无房颤、无心力衰竭病史的糖尿病患者,研究得出了 eGDR 是房颤发病的独立预测因子,且具有较高的预测价值。LI 等^[42]关注房颤消融术后的患者群体,研究发现,调整混杂因素后,eGDR 处于 4~5.99 $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{min})$ 、6~7.99 $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{min})$ 、 $\geq 8 \text{ mg}/(\text{kg} \cdot \text{min})$ 组的房颤消融术后复发风险均显著低于 $\text{eGDR} < 4 \text{ mg}/(\text{kg} \cdot \text{min})$ 的参照组;将 eGDR 视为连续变量时,其与房颤消融术后复发呈线性负相关。基于不同人群的研究均表明,eGDR 与房颤的发病风险及房颤消融术后复发风险存在关联,提示 eGDR 或可作为评估房颤相关风险的重要参考指标,为房颤的临床管理提供新的思路。

4.6 甘油三酯-葡萄糖指数

甘油三酯-葡萄糖指数(triglyceride-glucose index, TyG 指数) = $\ln[\text{空腹甘油三酯} \times \text{空腹血糖}/2]$ 。TyG 指数是胰岛素抵抗的可靠替代指标,现有研究已经证明了其在预测房颤消融术后患者房颤复发方面的价值^[43]。TANG 等^[44]分析了 380 例接受射频消融的非糖尿病房颤患者,发现术前 TyG 指数是房颤复发的独立危险因素。在此研究中,术前 TyG 指数预测房颤复发的 AUC 为 0.737,最佳截断值为 9.24,灵敏度 89.1%,特异度 57.3%。YAN 等^[45]引入了累积 TyG 指数这一概念,探究了患者术后 3 个月内的累积 TyG 指数与术后 3 个月到 1 年内房颤复发的关系。研究者以累积 TyG 指数的三分位数将患者分为 3 组,由低到高记作 T1、T2、T3 3 组,发现累积 TyG 指数是射频消融术后房颤复发的独立危险因素。与 T1 组相比,T2 组和 T3 组患者消融后 1 年内的复发风险更高,并且,该研究认为累积 TyG 指数与 AF 复发呈线性正相关。

除了 TyG 指数的绝对值和累积值, TyG 指数术前术后的相对值, 即变化轨迹, 和房颤术后复发的关系也被纳入了研究。JIA 等^[46]采集了患者基线、术后第 1 到第 2 个月、术后第 2 到第 3 个月的 TyG 指数, 基于患者射频消融后的 TyG 指数水平, 采用潜在类别轨迹模型, 依据最小贝叶斯信息准则和最大熵原理, 将患者的 TyG 指数轨迹划分为 3 组: ①低-低组: TyG 指数始终维持在较低水平, 且整体波动幅度极小; ②低-高-低组: TyG 指数初始阶段处于较低水平, 随后显著升高、达峰后逐渐下降, 最终回落至低于初始水平; ③高-高组: TyG 指数始终维持在较高水平, 虽可能存在轻微波动, 但整体高于另外两组, 呈现稳定的高水平状态。研究发现, 高-高组复发率高于低-低组。然而遗憾的是, 低-高-低组由于患者量偏少, 该类型 TyG 指数变化特点与房颤复发的关系尚难以明确。此外, 将 TyG 指数与其他危险因素相结合, 进行机器学习以寻找有价值的复合指标, 也是可行的方向^[47]。

5 小结与展望

开发预测房颤复发的代谢相关指标, 本质是将代谢紊乱这一核心病理机制体现为可量化的临床工具的过程。单一代谢指标与房颤发病机制的联系相对明确, 但其对房颤复发的预测价值却往往存在争议。而复合指标通过整合多维度的信息, 提升了预测效能, 展现出巨大的临床应用潜力。

目前, 多数研究仍停留在观察性层面, 未来需开展前瞻性干预研究, 明确针对高风险代谢指标的干预措施是否能降低复发风险, 从而将代谢指标的预测价值转化为临床治疗的指导价值, 为房颤的精准管理提供高级别证据支持。可以预见, 随着代谢组学和检验检测技术的进步, 更多新的具有预测价值的生物标志物将被筛选出来; 人工智能与机器学习技术的快速发展, 也为整合多维度信息、构建更准确的预测模型提供了条件。随着研究的深入与技术的融合, 代谢指标管理必将在房颤个体化治疗中发挥愈发重要的作用。

参考文献:

- [1] JOGLAR J A, CHUNG M K, ARMBRUSTER A L, et al. 2023 ACC/AHA/ACCP/HRS guideline for the diagnosis and management of atrial fibrillation: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on clinical practice guidelines[J]. *Circulation*, 2024, 149(1): e1-e156.
- [2] 中华医学会心电生理和起搏分会, 中国医师协会心律学专业委员会, 中国房颤中心联盟心房颤动防治专家工作委员会. 心房颤动: 目前的认识和治疗建议(2021)[J]. *中华心律失常学杂志*, 2022,

26(1): 15-88.

- CHINESE SOCIETY OF PACING AND ELECTROPHYSIOLOGY, CHINESE SOCIETY OF ARRHYTHMIAS, ATRIAL FIBRILLATION CENTER UNION OF CHINA. Current knowledge and management of atrial fibrillation: consensus of Chinese experts 2021[J]. *Chin J Cardiac Arrhythm*, 2022, 26(1): 15-88.
- [3] DENG H, SHANTSILA A, GUO P, et al. A U-shaped relationship of body mass index on atrial fibrillation recurrence post ablation: a report from the Guangzhou atrial fibrillation ablation registry[J]. *EBioMedicine*, 2018(35): 40-45.
- [4] PATHAK R K, MIDDELDORP M E, LAU D H, et al. Aggressive risk factor reduction study for atrial fibrillation and implications for the outcome of ablation: the ARREST-AF cohort study [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2014, 64(21): 2222-2231.
- [5] LIU F, SONG T, HU Q, et al. Body mass index and atrial fibrillation recurrence post ablation: a systematic review and dose-response meta-analysis [J]. *Front Cardiovasc Med*, 2022 (9): 999845.
- [6] SHANG L, SHAO M, GUO Q, et al. Association of obesity measures with atrial fibrillation recurrence after cryoablation in patients with paroxysmal atrial fibrillation[J]. *Med Sci Monit*, 2020(26): e920429.
- [7] FAN Q, ZHAN Y, ZHENG M, et al. The predictive value of epicardial fat tissue volume in the occurrence and development of atrial fibrillation: a systematic review and meta-analysis[J]. *Cardiol Res Pract*, 2022(2022): 2090309.
- [8] JU Y, WANG M, JI Y, et al. The influence of epicardial adipose tissue on the prognosis of atrial fibrillation patients undergoing radiofrequency ablation combined with left atrial appendage occlusion[J]. *Sci Rep*, 2024, 14(1): 28164.
- [9] EL MAHDIUI M, SIMON J, SMIT J M, et al. Posterior left atrial adipose tissue attenuation assessed by computed tomography and recurrence of atrial fibrillation after catheter ablation[J]. *Circ Arrhythm Electrophysiol*, 2021, 14(4): e009135.
- [10] YANG M, BAO W, XU Z, et al. Association between epicardial adipose tissue and recurrence of atrial fibrillation after ablation: a propensity score-matched analysis[J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2022, 38(8): 1865-1872.
- [11] SHANG Y, CHEN N, WANG Q, et al. Blood lipid levels and recurrence of atrial fibrillation after radiofrequency catheter ablation: a prospective study[J]. *J Interv Card Electrophysiol*, 2020, 57(2): 221-231.
- [12] ZOU H, HUANG Q, HUANG Q, et al. L-shaped association of plasma low-density lipoprotein cholesterol with atrial fibrillation recurrence after catheter ablation: a prospective cohort study [J]. *Sci Rep*, 2024, 14(1): 28434.
- [13] WU B, LIANG Z, QIU L, et al. Predictive value of remnant-like particle cholesterol in the prediction of long-term AF recurrence after radiofrequency catheter ablation [J]. *Front Cardiovasc Med*, 2023(10): 1258125.
- [14] GU Q, DENG Y, WEI J, et al. Plasma triglyceride is associated with the recurrence of atrial fibrillation after radiofrequency

闫虹宇,等.代谢相关生物标志物预测心房颤动导管消融术后复发的研究进展

- catheter ablation; A retrospective study[J]. Clin Cardiol, 2024, 47(6):e24276.
- [15] DE LA CHESNAYE E, REVILLA-MONSALVE C, RODRÍGUEZ-DIEZ G. The association between adipokines dysregulation and the occurrence of atrial fibrillation and obese patients, is it relevant? [J]. Arch Cardiol Mex, 2024, 95(1):49-54.
- [16] CHANG T Y, HSIAO Y W, GUO S M, et al. Resistin as a biomarker for the prediction of left atrial substrate and recurrence in patients with drug-refractory atrial fibrillation undergoing catheter ablation[J]. Int Heart J, 2020, 61(3):517-523.
- [17] PLATEK A E, SZYMANSKA A, KALASZCZYNSKA I, et al. Usefulness of visfatin as a predictor of atrial fibrillation recurrence after ablation procedure[J]. Am J Cardiol, 2020, 125(3):415-419.
- [18] DONNELLAN E, AAGAARD P, KANJ M, et al. Association between pre-ablation glycemic control and outcomes among patients with diabetes undergoing atrial fibrillation ablation[J]. JACC Clin Electrophysiol, 2019, 5(8):897-903.
- [19] LU Z H, LIU N, BAI R, et al. HbA1c levels as predictors of ablation outcome in type 2 diabetes mellitus and paroxysmal atrial fibrillation[J]. Herz, 2015, 40(Suppl 2):130-136.
- [20] CHEN Z, ZHANG R, ZHANG X, et al. Association between baseline glycosylated hemoglobin level and atrial fibrillation recurrence following cryoballoon ablation among patients with and without diabetes[J]. BMC Cardiovasc Disord, 2024, 24(1):111.
- [21] HIJIOKA N, KAMIOKA M, MATSUMOTO Y, et al. Clinical impact of insulin resistance on pulmonary vein isolation outcome in patients with paroxysmal atrial fibrillation[J]. J Cardiovasc Electrophysiol, 2019, 30(4):479-486.
- [22] WANG Z, WANG Y J, LIU Z Y, et al. Effect of insulin resistance on recurrence after radiofrequency catheter ablation in patients with atrial fibrillation[J]. Cardiovasc Drugs Ther, 2022, 37(4):705-713.
- [23] RAFAQAT S, SHARIF S, MAJEED M, et al. Biomarkers of metabolic syndrome; role in pathogenesis and pathophysiology of atrial fibrillation [J]. J Atr Fibrillation, 2021, 14(2):20200495.
- [24] YU W, CHENG J D. Uric acid and cardiovascular disease: an update from molecular mechanism to clinical perspective[J]. Front Pharmacol, 2020(11):582680.
- [25] HE X N, LI S N, ZHAN J L, et al. Serum uric acid levels correlate with recurrence of paroxysmal atrial fibrillation after catheter ablation[J]. Chin Med J(Engl), 2013, 126(5):860-864.
- [26] CANPOLAT U, AYTEMIR K, YORGUN H, et al. Usefulness of serum uric acid level to predict atrial fibrillation recurrence after cryoballoon-based catheter ablation[J]. Europace, 2014, 16(12):1731-1737.
- [27] SHIMOJO K, MORISHIMA I, MORITA Y, et al. Effect of hyperuricemia on paroxysmal atrial fibrillation after catheter ablation and influence of alcohol consumption [J]. J Arrhythm, 2024, 40(4):849-857.
- [28] OSETO H, YAMASHITA S, TOKUDA M, et al. The association between hyperuricemia and atrial fibrillation recurrence after catheter ablation[J]. J Arrhythm, 2024, 40(3):520-526.
- [29] WANG A, TIAN X, WU S, et al. Metabolic factors mediate the association between serum uric acid to serum creatinine ratio and cardiovascular disease [J]. J Am Heart Assoc, 2021, 10(23):e023054.
- [30] ZHANG Y, WANG Y, YANG X, et al. Serum uric acid:creatinine ratio(UCR) is associated with recurrence of atrial fibrillation after catheter ablation[J]. Front Endocrinol (Lausanne), 2023(14):1110102.
- [31] KARATAŞ M B, DURMUŞ G, ZENGİN A, et al. Association of uric acid albumin ratio with recurrence of atrial fibrillation after cryoballoon catheter ablation[J]. Medicina (Kaunas), 2022, 58(12):1872.
- [32] KALENDEROĞLU K, HAYIROĞLU M I, CINAR T, et al. Comparison of inflammatory markers for the prediction of atrial fibrillation recurrence following cryoablation[J]. Biomark Med, 2024, 18(17-18):717-725.
- [33] LIU G, ZHANG Q, ZHOU M, et al. Correlation between serum uric acid to high-density lipoprotein cholesterol ratio and atrial fibrillation in patients with NAFLD[J]. PLoS One, 2024, 19(6):e0305952.
- [34] 孙奕, 丁浩, 赵霞, 等. 冠心病患者血清尿酸/高密度脂蛋白胆固醇比值与房颤的相关性[J]. 西部医学, 2025, 37(5):756-761.
- SUN Y, DING H, ZHAO X, et al. Correlation between serum uric acid to high-density lipoprotein cholesterol ratio and atrial fibrillation in patients with coronary heart disease[J]. Med J West China, 2025, 37(5):756-761.
- [35] DERVİS E, OZKAN E, YAKUT I, et al. The uric acid-to-high-density lipoprotein cholesterol ratio; a new biomarker for predicting arrhythmia recurrence after atrial fibrillation ablation[J]. J Clin Med, 2024, 13(24):7854.
- [36] 王保龙, 王昌会. 尿酸/高密度脂蛋白胆固醇比值与房颤射频消融术后复发的相关性[J]. 安徽医科大学学报, 2024, 59(7):1269-1274.
- WANG B L, WANG C H. Correlation of uric acid to HDL-C ratio with recurrence after radiofrequency ablation of atrial fibrillation[J]. Acta Univ Med Anhui, 2024, 59(7):1269-1274.
- [37] SONG W, CHEN Y, CHEN X H, et al. Significance of the AP-LE score and the monocyte-HDL cholesterol ratio in predicting late recurrence of atrial fibrillation following catheter ablation based on a retrospective study [J]. BMJ Open, 2024, 14(8):e081808.
- [38] CHEN S A, ZHANG M M, ZHENG M, et al. The preablation monocyte/ high density lipoprotein ratio predicts the late recurrence of paroxysmal atrial fibrillation after radiofrequency ablation[J]. BMC Cardiovasc Disord, 2020, 20(1):401.
- [39] CANPOLAT U, AYTEMIR K, YORGUN H, et al. The role of preprocedural monocyte-to-high-density lipoprotein ratio in prediction of atrial fibrillation recurrence after cryoballoon-based catheter ablation[J]. Europace, 2015, 17(12):1807-1815.

- [40]HUANG H,XIONG Y,ZHOU J,et al. The predictive value of estimated glucose disposal rate and its association with myocardial infarction, heart failure, atrial fibrillation and ischemic stroke[J]. *Diabetes Obes Metab*,2025,27(3):1359-1368.
- [41]TAN Z,LIU Y,LIU L,et al. Association of estimated glucose disposal rate with atrial fibrillation,heart failure and cardiovascular mortality in patients with diabetes; a prospective cohort study from the UK Biobank[J]. *Front Endocrinol(Lausanne)*, 2025(16):1579836.
- [42]LI X,ZHOU Z,XIA Z,et al. Association between estimated glucose disposal rate and atrial fibrillation recurrence in patients undergoing radiofrequency catheter ablation; a retrospective study[J]. *Eur J Med Res*,2024,29(1):325.
- [43]AZARBOO A,BEHNOUSH A H,VAZIRI Z,et al. Assessing the association between triglyceride-glucose index and atrial fibrillation;a systematic review and meta-analysis[J]. *Eur J Med Res*,2024,29(1):118.
- [44]TANG Q,GUO X G,SUN Q,et al. The pre-ablation triglyceride-glucose index predicts late recurrence of atrial fibrillation after radiofrequency ablation in non-diabetic adults[J]. *BMC Cardiovasc Disord*,2022,22(1):219.
- [45]YAN Q,LIANG J Q,YUAN Y D,et al. Association between the cumulative triglyceride-glucose index and the recurrence of atrial fibrillation after radiofrequency catheter ablation[J]. *J Geriatr Cardiol*,2024,21(2):200-210.
- [46]JIA S,YIN Y,MOU X,et al. Association between triglyceride-glucose index trajectories and radiofrequency ablation outcomes in patients with stage 3D atrial fibrillation[J]. *Cardiovasc Diabetol*,2024,23(1):121.
- [47]LI X,WANG Z,WANG S,et al. Combining computed tomography features of left atrial epicardial and pericoronary adipose tissue with the triglyceride-glucose index to predict the recurrence of atrial fibrillation after radiofrequency catheter ablation: a machine learning study[J]. *Quant Imaging Med Surg*,2024,14(12):9306-9322.

(收稿日期:2025-09-17)