DOI:10.16016/j.2097-0927.202306048

心腔内超声心动图下经导管房颤射频消融术有效性及安全性的回顾性队列研究

柴 虹,舒茂琴,蒋周芬,陈兴华,邓盛荣,陈 霞,高 昊,周 杨 400038 重庆,陆军军医大学(第三军医大学)第一附属医院心血管内科

[**摘要**] **目的** 探索心腔内超声心动图(intracardiac echocardiography,ICE)指导下经导管房颤射频消融术的有效性及安全性。**方法** 采用回顾性队列研究设计,收集2019年2月至2021年7月在我科行经导管房颤射频消融术的患者,根据其是否使用ICE,将其分为ICE组(n=192)和非ICE组(n=167),对比2组的放射暴露时间、放射暴露量、消融总时间、单圈隔离率及并发症等,评估ICE指导下房颤导管消融术的有效性及安全性。**结果** ICE组与非ICE组相比,消融总时间明显缩短[(68.35±1.09)min *vs* (74.37±1.69)min,P<0.01],单圈隔离率明显提高(70.83% *vs* 53.89%,P<0.01),放射暴露量[(33.86±1.51)mGy *vs* (212.30±21.11)mGy,P<0.01]及放射暴露时间[(4.90±0.23)min *vs* (13.51±0.34)min,P<0.01]明显减少。2组各发生2例并发症,无统计学差异,ICE组无严重并发症,非ICE组术中并发急性心包压塞1例。ICE组消融早期及晚期复发率较非ICE组无显著差异,但晚期复发率有降低的趋势(3.13% *vs* 7.78%,P=0.06),2组安全性无显著差异。**结论** ICE指导下经导管房颤射频消融术有更高的消融效率、更少的射线暴露;2组安全性无显著差异,ICE组晚期复发率有降低的趋势。

[**关键词**] 心房颤动;导管消融;心腔内超声心动图
[**中图法分类号**] R445.1; R540.46; R541.75 [**文献标志码**] A

Efficacy and safety of intracardiac echocardiography-guided radiofrequency ablation for atrial fibrillation: a retrospective report of 192 cases

CHAI Hong, SHU Maoqin, JIANG Zhouqin, CHEN Xinghua, DENG Shengrong, CHEN Xia, GAO Hao, ZHOU Yang
Department of Cardiovascular Diseases, First Affiliated Hospital, Army Medical University (Third Military Medical University), Chongqing, 400038, China

[**Abstract**] **Objective** To investigate the efficacy and safety of catheter ablation for atrial fibrillation under the guidance of intracardiac echocardiography (ICE). **Methods** A retrospective cohort trial was conducted on all the patients who underwent radiofrequency catheter ablation due to atrial fibrillation in our department from February 2019 to July 2020. They were divided into ICE group (n=192) and non-ICE group (n=167). The radiation exposure time, radiation exposure amount, total ablation time, single coil isolation rate, and incidence of complications were compared between the 2 groups to evaluate the efficacy and safety of ICE-guided ablation for atrial fibrillation. **Results** The ICE group had significantly shorter total ablation time (68.35±1.09 *vs* 74.37±1.69 min, P<0.01), higher single coil isolation rate (70.83% *vs* 53.89%, P<0.01), less radiation exposure amount (33.86±1.51 *vs* 212.30±21.11 mGy, P<0.01) and shorter radiation time (4.90±0.23 *vs* 13.51±0.34 min, P<0.01) when compared with the non-ICE group. No statistical difference was seen in the incidence of complications between the 2 groups. Complications were observed in 2 cases of both groups. There were no serious complication in the ICE group, while 1 case of intraoperative cardiac perforation was in non-ICE group. Though no significant difference was found in the early and late recurrence rates of ablation in the ICE group than the non-ICE group, a decreasing trend in late recurrence

[**通信作者**] 舒茂琴,E-mail:shumaoqinswh@sina.com

2097-0927/Copyright © 2022, 陆军军医大学(第三军医大学)。这篇开放获取文章遵循 CC BY 许可协议(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

rates was observed in both groups (3.13% *vs* 7.78%, $P=0.06$). **Conclusion** ICE-guided catheter ablation of atrial fibrillation has higher ablation efficiency and less radiation exposure. There is no significant difference in safety between the 2 groups, but ICE leads to a decreasing trend in late recurrence rate.

[**Key words**] atrial fibrillation; catheter ablation; intracardiac echocardiography

Corresponding author: SHU Maoqin, E-mail: shumaoqinswh@sina.com

导管消融是心房颤动(atrial fibrillation, AF)公认的最有效且安全的治疗手段[1-2]。在过去的几十年里,三维(3D)系统及各种类型的电极、导管被开发,提高了三维模型的成像质量、心律失常标测的精确性及靶部位消融的有效性[3-6]。心腔内超声心动图(intracardiac echocardiography,ICE)作为一项新技术,目前已证实其在血栓筛查、房间隔穿刺、放射暴露的减少等方面具有显著优势,并且它对正确的解剖圈定、导管定位和接触的判断也非常有帮助[7]。本中心开展房颤导管消融手术近20年,经历了3个阶段逐步提高手术的有效性和安全性。第一阶段是消融导管的进步,从2003-2010年最初的实心消融导管(solid big tip,SBT),到2010-2018无压力开放式尖端冲洗导管(open irrigated tip,OIT),再到现在带有接触力消融导管(contact force,CF),使心包填塞等严重并发症显著下降[8]。第二阶段采用不同部位不同的消融指数(ablation index,AI)量化消融,可实现高水平且持久肺静脉电隔离(pulmonary vein isolation,PVI)效果[9-10],导管消融安全性和有效性进一步改善。第三阶段是2020年以后在消融AI定量的基础上采用ICE引导的房颤导管消融术。本研究旨在总结我们中心ICE引导下房颤导管消融的手术效果,评估ICE引导下房颤导管消融术的有效性和安全性,研究终点为手术效率和远期房颤消融效果。

1 资料与方法

1.1 研究对象

采用回顾性队列研究设计,收集2019年2月至2021年7月在我们心血管内科首次住院行经导管房颤射频消融术患者的病例资料。该研究获得陆军军医大学第一附属医院伦理委员会批准(批件号:KY2022213)。纳入标准:在上述时间段住院行房颤导管消融术的患者。排除标准:①经导管房颤射频消融术后;②房颤冷冻球囊消融术后;③房颤外科手术后;④术后失访。共排除复发再手术患者12例,失访7例,最终纳入患者359例。根据房颤导管消融术中是否使用ICE分为2组,ICE组(192例)和非ICE组(167例)。对患者的基本资料、手术相关信息及结果均记录及分析。

1.2 术前准备

入院前停用抗心律失常药物。术前24~48 h内完善经食道超声心动图(transesophageal echocardiography,TEE)排除左心耳血栓。确实不能耐受TEE的患者,非ICE组完善左房及肺静脉CT成像,ICE组术中使用ICE评价左心耳血栓。对CHA_2DS_2-VASc评分≥2分的男性或≥3分的女性、有脑梗死或血栓栓塞史的患者,入院后立即启动抗凝治疗。华法林在术前术后都没有中断,保持INR 2~3之间。术前服用非维生素K拮抗剂口服抗凝药(non-vitamin-Kantagonist oral anticoagulants,NOAC)的患者,手术前继续用药,在手术当天停用,术后6 h确定无出血事件后恢复服用。为减少术中迷走反射,患者术前常规进食保持容量充足。所有术者为成熟术者(至少连续5年每年导管消融手术量100台以上)。

1.3 ICE及非ICE引导下房颤射频消融术

手术在局麻下进行,消融过程给予舒芬太尼清醒镇痛(0.1~0.5 μg/kg)。所有患者采用三维电解剖标测系统(CARTO 3; Biosense Webster, Inc)进行标测和消融,根据房颤类型及术中心房电位情况行肺PVI或PVI plus(PVI+二峡线、三峡线、房顶线、后壁线、前壁线或基质消融等)[11]。非ICE组用压力导管(Thermo Cool Smart Touch® Uni-Directional Catheter; Biosense Webster,Inc)建模及消融。ICE组采用SOUND STAR©(CARTO-SOUND© system;Biosense Webster,Inc)构建左心房模型并行房间隔穿刺,随后在压力导管及消融指数(AI:ablation index)的指导下进行房颤消融(功率模式,功率40 W,冷却流量泵持续冲洗25 mL/min,温度≤43 ℃),AI值的设置参考以往多中心公认的经验值[12-13]预设前壁和嵴部AI值500~550、后壁AI值350~400,顶部AI值400~450。导管消融终点:肺静脉内电位完全消失,且起搏验证左心房与肺静脉间传导双向阻滞,各消融线完全阻滞,观察30 min后肺静脉与左房间电传导未恢复。静脉滴注异丙肾上腺素和(或)静脉推注腺苷或三磷酸腺苷检查肺静脉的电位有无恢复,直到肺静脉内电位完全消失。

1.4 复发的定义及研究目的

按照美国心律学会2017年《心房颤动导管及外科

消融专家共识》中的定义,房颤导管消融3个月定义为空白期[11]。导管消融晚期复发定义为3个月空白期后发作30 s以上的房颤、房扑或房性心动过速(简称房速),空白期内的复发通常被定义为早期复发。研究目的评估ICE引导下房颤导管消融的有效性和安全性,研究终点为手术效率和远期房颤消融效果。

1.5 术后随访

根据患者房颤持续时间、心功能情况、左心房大小及左心房基质情况决定术后是否需给予抗心律失常药物,如左心房存在大片低电压区,则术后给予胺碘酮治疗。所有患者术后常规口服抗凝药(OAC)2~3个月。在严格监测无房颤复发的前提下,消融术后3个月CHA_2DS_2-VASc评分低的患者,可考虑停用OAC;CHA_2DS_2-VASc评分≥2分的男性或≥3分的女性患者,术后应考虑长期应用OAC。既往有卒中/TIA、体循环栓塞史,导管消融术后无论是否成功,建议患者长期抗凝。术后1、3、6及12个月行门诊或电话随访,在每次临床就诊时常规检查12导联心电图,在3~6个月时进行24 h动态心电图监测,当患者出现症状时,记录额外的24 h动态心电图监测。

1.6 统计学方法

分析比较非ICE组和ICE组的以下各项指标:一般基线资料,放射暴露时间(手术全程DSA透视时间总和)、放射暴露剂量(手术全程DSA透视剂量总和)、消融总时间(消融第一个点开始到最后一个点结束的总时间)、并发症(包括心包压塞、心房食管瘘、栓塞及血管穿刺并发症)、术后用药、早期复发(术后≤3个月)及晚期复发(术后>3个月)。

采用Prism5.0进行统计分析,分类变量2组间比较采用χ^2检验。连续变量2组间比较先进行正态性检验,如不符合正态分布,则采用非参数检验,如符合正态分布则采用Student's t检验。房颤复发情况采用Kaplan-Meier生存分析法。所有分析均为双侧分析,$P<0.05$视为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 基线资料

本研究入选患者共计359例(表1),年龄(61.29±11.83)岁,体质指数(BMI)(24.54±3.22) kg/m^2,其中男性189例(52.65%),持续性房颤106例(29.53%),高血压160例(44.57%),冠心病91例(25.35%),糖尿病35例(9.75%),既往曾发生脑梗死25例(6.96%)。分组后2组基线特征见表1。

表1 房颤导管射频消融患者的基线特征 [$\bar{x}\pm s$,例,例(%)]

变量	入组所有患者(n=359)	ICE组(n=192)	非ICE组(n=167)
年龄/岁	61.29±11.83	61.27±11.77	61.31±11.94
男	189(52.65)	110(57.3)	79(47.3)
BMI/(kg/m^2)	24.54±3.22	24.69±3.15	24.37±3.30
阵发性房颤/持续性房颤	253/106	127/65	126/41
合并症			
高血压病	160(44.57)	82(42.7)	78(46.71)
冠心病	91(25.35)	51(26.5)	40(23.95)
糖尿病	35(9.75)	24(12.5)	11(6.59)
脑梗死	25(6.96)	12(6.3)	13(7.78)
心脏超声指标			
左心房前后径/mm	39.45±5.82	39.57±5.95	39.31±5.69
LVEF/%	60.03±8.15	60.32±7.84	59.69±8.52
CHA_2DS_2-VASc评分/分	2.01±1.47	1.89±1.34	2.11±1.56

2.2 手术效果

ICE组与非ICE组的房颤类型及消融方式无统计学差异,但ICE组放射暴露时间及放射暴露量明显小于非ICE组($P<0.01$,表2)。消融总时间明显短于非ICE组($P<0.01$,表2),肺静脉单圈隔离比例明显高于非ICE组(70.83% *vs* 53.89%,$P<0.01$)。ICE组术后1例股动静脉瘘、1例股动脉假性动脉瘤;非ICE组术中出现1例急性心包压塞,1例术后股动脉假性动脉瘤。

表2 经导管房颤射频消融术中指标 [$\bar{x}\pm s$,例(%),例]

变量	ICE组(n=192)	非ICE组(n=167)	P
消融总时间/min	68.35±1.09	74.37±1.69	<0.01
肺静脉单圈隔离例数	136(70.83)	90(53.89)	<0.01
消融方式			
阵发性:PVI/PVI plus	102/25	108/18	0.25
持续性:PVI/PVI plus	4/61	5/36	0.28
放射暴露时间/min	4.90±0.23	13.51±0.34	<0.01
放射暴露量/mGy	33.86±1.51	212.30±21.11	<0.01

2.3 随访结果

所有患者完成至少1次门诊随访,2组均完成24个月随访。记录2组抗凝及抗心律失常药物使用情况(表3)。ICE组的胺碘酮使用比例低于非ICE组(49.72% *vs* 64.47%,$P<0.01$),β受体阻滞剂的使用高于非ICE组(41.67% *vs* 28.14%,$P<0.01$)。空白期复发(早期复发)发生30 s以上房性心律失常(早期复发)患者共16例(4.46%),其中ICE组9例,非ICE组7例,2组无统计学差异($\chi^2=0.05$,$P=0.82$)。空白期后复发(晚期复发)19例(5.29%),其中ICE组6例,非ICE组13例,非ICE组复发率明显高于ICE组

($\chi^2=3.869$, $P=0.049$),生存分析提示,2 组的复发率差异主要在术后 10 个月左右开始出现(图 1)。其中复发后住院再消融患者 5 例;1 例阵发性房颤患者术后 1 年发作心房扑动,后因急性脑梗死住院治疗;1 例患者术后服用华法林后 INR7.2 再住院;1 例患者术后因心衰再住院。

表 3 出院后前 3 个月抗心律失常药物及抗凝药物使用情况[例(%)]

药物种类	ICE 组($n=192$)	非 ICE 组($n=167$)	P
胺碘酮	92(49.72)	108(64.67)	<0.01
β 受体阻滞剂	80(41.67)	47(28.14)	<0.01
未用抗心律失常药物	20(10.42)	12(7.19)	0.35
利伐沙班	135(70.31)	101(60.48)	0.06
达比加群酯	50(26.04)	44(26.34)	1.00

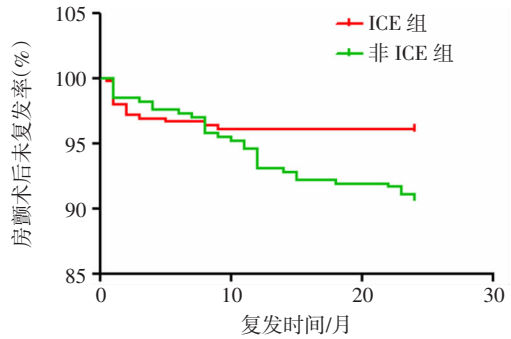


图 1 房颤经导管射频消融术后发作情况

3 讨论

本研究是 ICE 指导下房颤导管消融术的有效性和安全性研究。本研究显示,ICE 组较非 ICE 组有更高的消融效率、更少的射线暴露。ICE 组消融早期及晚期复发率较非 ICE 组无显著差异,但晚期复发率有降低的趋势,2 组安全性无显著差异。

3.1 应用 ICE 可显著提高手术安全性

ICE 可以减少射线暴露,有助于保护医务人员及患者免受放射性损伤,符合当今绿色电生理理念。自导管消融标测系统由二维进入三维时代,平均每台房颤消融手术的 X 线暴露量已由 28 mGy 减少至 2 mGy,甚至更低[14]。随着 ICE 的出现,成功实现低射线(low fluoroscopy,LF)甚至零射线(zero-fluoroscopy,ZF)下完成房颤导管消融术。近期 1 项荟萃分析[15]对 7 项研究 1 593 名患者进行分析,认为 ZF 方法在 95.1%的患者中是可行的,与非零射线(NZF)方法相比,ZF 方法显著缩短了手术时间、透视时间和透视剂量,还有不少研究中心证实 ZF 的方法是安全和可行的[16-17]。手术过程中我们没有过度追求 ZF,在输送鞘管到上腔静脉时或导管递送过程有阻力的情况下短暂透视。我们的研究已经将透视时间和透视剂量降低至较低的水平,ICE 组透视时间(4.90±0.23)min、透视剂量(33.86±1.51)mGy 均明显低于非 ICE 组。

ICE 可以减少手术并发症。FRIEDMAN 等[18]分析了 102 398 名 AF 患者在导管射频消融过程中心脏穿孔的预测因素,心脏穿孔发生率为 0.61%,73%的患者使用了 ICE,结果显示年龄、女性、肥胖(BMI>27 kg/m^2)、是否使用 ICE 以及是否外科手术是心脏穿孔的预测因素,心脏穿孔最强的阳性预测指标是不使用 ICE,后者使心脏穿孔风险升高 5 倍。BOTTONI 等[19]回顾了 2006-2021 年意大利 5 个中心 1 862 名患者进行的 2 181 例房间隔穿刺(TSP),1 134 例(52%)使用 ICE,证实 ICE 可以减少房颤导管消融术围手术期和 TSP 相关并发症。本研究 ICE 组并发症 2 例,1 例股动静脉瘘和 1 例股动脉假性动脉瘤。非 ICE 组发生 1 例急性心包压塞和 1 例股动脉假性动脉瘤,ICE 组虽然与 ICE 组相比无统计学差异,但 ICE 组无心包压塞和 TSP 相关严重并发症。

3.2 应用 ICE 可以提高手术效率

ICE 可以进行术中实时成像,导管置于右心房,轻松实现非接触性的左房和肺静脉快速解剖建模(fast anatomy mapping,FAM),ICE 二维图像与 Carto-Sound 三维电解剖标测系统图像融合,保证安全性的前提下提高的准确性。TSP 部位不理想,穿刺点偏高、偏前及偏后均会增加消融的难度。TSP 部位可以对导管的可操作性和操作时间产生显著的影响[20-22],即使是穿刺部位位置有 1 cm 的差异,也会对标测和(或)消融导管的稳定性产生显著影响。传统 X 线下 TSP 穿刺成功率和安全性高[23],但是无法精准定位穿刺部位。ICE 引导下 TSP 可全程直视下进行,可以选择相对理想的穿刺部位,减少消融导管调整时间,改善导管贴靠,进而提高房颤导管消融效率。国内外各中心临床研究也证实 ICE 引导下零射线房间隔穿刺的安全性高,有更高的消融效率而不影响消融的安全性和有效性[24-26]。本研究提示 ICE 组平均消融总时间(68.35±1.09)min 明显低于非 ICE 组,ICE 组肺静脉单圈隔离率(70.83%)高于非 ICE 组(53.89%)。

3.3 应用 ICE 可减少房颤导管消融远期复发

ICE 对改善 AF 导管消融的有效性和安全性显著相关。ICE 实时监测消融导管和心内膜之间的组织接触力,良好的接触力保证了电隔离的效果[5,27-28],使 ICE 可能会获得更持久的肺静脉隔离效果和更低的再消融比例。STEINBERG 等[29]对 11 525 例接受了 AF

消融术的患者进行了消融术前和消融期间的相关影像学研究,术前或术中完善 TEE、ICE、左心房 CT 或 MRI 的比例分别为:53%、67%和 50%。研究认为消融前完善 CT 或 MRI 与卒中或 TIA 风险显著降低相关,而术中使用 ICE 可以降低 AF 再消融比例,但出血风险有所增加(主要是股静脉穿刺出血)。PIMENTEL 等[30]在 1 项针对非老年成人(18~64 岁) AF 患者的真实世界研究中,纳入 19 368 例患者,ICE 组 17 997 例(92.9%),非 ICE 组 1371 例(7.1%),2 组相比接受 ICE 消融手术的患者发生并发症的比例降低了 50%。此外,与没有用 ICE 的患者相比,接受 ICE 治疗导管消融的患者在消融后 36 个月内重复再消融的风险降低了 12%。ICE 使消融导管和组织接触的可视化更加准确,特别是在一些复杂解剖区域更有优势。消融导管良好的贴靠保障了消融导致的心内膜炎症水肿消退之后,局部电位传导恢复的可能性也非常小,总之 ICE 确保了最佳的消融效果。我们 ICE 组与非 ICE 组相比 2 组早期复发率无显著差异,非 ICE 出院时联合胺碘酮的比例高于 ICE 组,非 ICE 组的复发率或许更高。ICE 晚期复发率有降低的趋势,2 组复发率的差异主要在术后 10 个月左右开始出现。我们的研究虽然在短期随访的中没有显著差异,但当在大量人群中使用或随访时间更长时,这些差异也许会转化为更好的结果。

综上,ICE 引导下房颤导管消融术安全可靠。但本研究尚存在一定的局限性,2 组患者的纳入时间有明显的差异,这可能导致 ICE 组的手术医师的手术操作更有经验,使得手术效果更好。由于本研究 ICE、非 ICE 组并非随机分组,因此可能导致选择性偏倚,而 2 组患者的远期房颤复发率仍有待更长时间的随访获得更为确切的数据。

参考文献:

[1] 中华医学会心血管病学分会, 中国生物医学工程学会心律分会. 心房颤动诊断和治疗中国指南[J]. 中华心血管病杂志, 2023, 51(6): 572-618. DOI: 10.3760/cma.j.cn112148-20230416-00221.
Chinese Society of Cardiovascular Diseases of Chinese Medical Association, Heart Rhythm Committee of Chinese Society of Biomedical Engineering. Chinese guidelines on diagnosis and management of atrial fibrillation [J]. Chin J Cardiol, 2023, 51(6): 572-618. DOI: 10.3760/cma.j.cn112148-20230416-00221.

[2] BOERSMA L, ANDRADE J G, BETTS T, *et al*. Progress in atrial fibrillation ablation during 25 years of Europace journal [J]. Europace, 2023, 25(9): euad244. DOI: 10.1093/europace/euad244.

[3] BERTAGLIA E, DELLA BELLA P, TONDO C, *et al*. Image integration increases efficacy of paroxysmal atrial fibrillation catheter ablation: results from the CartoMerge™ Italian Registry[J]. Europace, 2009, 11(8): 1004-1010. DOI: 10.1093/europace/eup152.

[4] CAPONI D, CORLETO A, SCAGLIONE M, *et al*. Ablation of atrial fibrillation: does the addition of three-dimensional magnetic resonance imaging of the left atrium to electroanatomic mapping improve the clinical outcome? A randomized comparison of Carto-Merge *vs*. Carto-XP three-dimensional mapping ablation in patients with paroxysmal and persistent atrial fibrillation[J]. Europace, 2010, 12(8): 1098-1104. DOI: 10.1093/europace/euq107.

[5] ANDRADE J G, MONIR G, POLLAK S J, *et al*. Pulmonary vein isolation using "contact force" ablation: the effect on dormant conduction and long-term freedom from recurrent atrial fibrillation—a prospective study[J]. Heart Rhythm, 2014, 11(11): 1919-1924. DOI: 10.1016/j.hrthm.2014.07.033.

[6] NATALE A, REDDY V Y, MONIR G, *et al*. Paroxysmal AF catheter ablation with a contact force sensing catheter[J]. J Am Coll Cardiol, 2014, 64(7): 647-656. DOI: 10.1016/j.jacc.2014.04.072.

[7] ZHONG J Q, LONG D Y, CHU H M, *et al*. Intracardiac echocardiography Chinese expert consensus [J]. Front Cardiovasc Med, 2022, 9: 1012731. DOI: 10.3389/fcvm.2022.1012731.

[8] WINKLE R A, MEAD R H, ENGEL G, *et al*. Very long term outcomes of atrial fibrillation ablation [J]. Heart Rhythm, 2023, 20(5): 680-688. DOI: 10.1016/j.hrthm.2023.02.002.

[9] SOUSA P A, PUGA L, ADÃO L, *et al*. Two years after pulmonary vein isolation guided by ablation index—a multicenter study[J]. J Arrhythmia, 2022, 38(3): 346-352. DOI: 10.1002/joa3.12696.

[10] HUSSEIN A, DAS M, RIVA S, *et al*. Use of ablation index-guided ablation results in high rates of durable pulmonary vein isolation and freedom from arrhythmia in persistent atrial fibrillation patients[J]. Circ Arrhythmia Electrophysiol, 2018 Sep; 11(9): e006576. DOI: 10.1161/CIRCEP.118.006576.

[11] CALKINS H, HINDRICKS G, CAPPATO R, *et al*. 2017 HRS/EHRA/ECAS/APHRS/SOLAECE expert consensus statement on catheter and surgical ablation of atrial fibrillation: executive summary [J]. J Interv Card Electrophysiol, 2017, 50(1): 1-55. DOI: 10.1007/s10840-017-0277-z.

[12] DAS M, LOVEDAY J J, WYNN G J, *et al*. Ablation index, a novel marker of ablation lesion quality: prediction of

pulmonary vein reconnection at repeat electrophysiology study and regional differences in target values [J]. Europace, 2017, 19(5): 775-783. DOI: 10.1093/europace/euw105.

[13] HUSSEIN A, DAS M, CHATURVEDI V, *et al*. Prospective use of Ablation Index targets improves clinical outcomes following ablation for atrial fibrillation [J]. J Cardiovasc Electrophysiol, 2017, 28(9): 1037-1047. DOI: 10.1111/jce.13281.

[14] KLEEMANN T, BRACHMANN J, LEWALTER T, *et al*. Development of radiation exposure in patients undergoing pulmonary vein isolation in Germany between 2007 and 2014: great potential to minimize radiation dosage[J]. Clin Res Cardiol, 2016, 105(10): 858-864. DOI: 10.1007/s00392-016-0994-9.

[15] DEBRECENI D, JANOSI K, BOCZ B, *et al*. Zero fluoroscopy catheter ablation for atrial fibrillation: a systematic review and meta-analysis[J]. Front Cardiovasc Med, 2023, 10: 1178783. DOI: 10.3389/fcvm.2023.1178783.

[16] ELVIN GUL E, AZIZI Z, ALIPOUR P, *et al*. Fluoroless catheter ablation of atrial fibrillation: integration of intracardiac echocardiography and cartosound module[J]. J Atr Fibrillation, 2021, 14(2): 20200477. DOI: 10.4022/jafib.20200477.

[17] LIU X K, PALMER J. Outcomes of 200 consecutive, fluoroless atrial fibrillation ablations using a new technique [J]. Pacing Clinical Electrophis, 2018, 41(11): 1404-1411. DOI: 10.1111/pace.13492.

[18] FRIEDMAN D J, POKORNEY S D, GHANE M A, *et al*. Predictors of cardiac perforation with catheter ablation of atrial fibrillation [J]. JACC Clin Electrophysiol, 2020, 6(6): 636-645. DOI: 10.1016/j.jacep.2020.01.011.

[19] BOTTONI N, DONATEO P, ROSSI L, *et al*. Impact of systematic use of intracardiac ultrasound during transseptal catheterization in the electrophysiology laboratory [J]. J Cardiovasc Dev Dis, 2023, 10(2): 62. DOI: 10.3390/jcdd10020062.

[20] RADINOVIC A, MAZZONE P, LANDONI G, *et al*. Different transseptal puncture for different procedures: Optimization of left atrial catheterization guided by transesophageal echocardiography[J]. Ann Card Anaesth, 2016, 19(4): 589-593. DOI: 10.4103/0971-9784.191548.

[21] KNECHT S, WRIGHT M, LELLOUCHE N, *et al*. Impact of a patent foramen ovale on paroxysmal atrial fibrillation ablation[J]. J Cardiovasc Electrophysiol, 2008, 19(12): 1236-1241. DOI: 10.1111/j.1540-8167.2008.01260.x.

[22] KAUTZNER J, PEICHL P. You get what You inspect, not what You expect: can we make the transseptal puncture safer? [J]. Europace, 2010, 12(10): 1353-1355. DOI: 10.1093/europace/euq358.

[23] DE PONTI R, CAPPATO R, CURNIS A, *et al*. Transseptal catheterization in the electrophysiology laboratory[J]. J Am Coll Cardiol, 2006, 47(5): 1037-1042. DOI: 10.1016/j.jacc.2005.10.046.

[24] ANNA R T S, LIMA G G, SAFFI M L, *et al*. Atrial fibrillation ablation: impact of intracardiac echocardiography in reducing procedure time and hospitalization[J]. Arq Bras Cardiol 2023, 120(5), e20220306. DOI: 10.36660/abc.20220306.

[25] JAN M, ŽIŽEK D, KUHELJ D, *et al*. Combined use of electro-anatomic mapping system and intracardiac echocardiography to achieve zero-fluoroscopy catheter ablation for treatment of paroxysmal atrial fibrillation: a single centre experience [J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2020, 36(3): 415-422. DOI: 10.1007/s10554-019-01727-1.

[26] KAWAJI T, AIZAWA T, HOJO S, *et al*. The impact of current strategy using intracardiac echocardiography, lesion index, and minimum substrate ablation on clinical outcomes after catheter ablation procedure for atrial fibrillation[J]. J Arrhythmia, 2021, 37(5): 1278-1286. DOI: 10.1002/joa3.12611.

[27] REDDY V, SHAH D, KAUTZNER J, *et al*. The relationship between contact force and clinical outcome during radiofrequency catheter ablation of atrial fibrillation in the TOCCATA study[J]. Heart Rhythm, 2012, 9(11): 1789-1795. DOI: 10.1016/j.hrthm.2012.07.016.

[28] NEUZIL P, REDDY V Y, KAUTZNER J, *et al*. Electrical reconnection after pulmonary vein isolation is contingent on contact force during initial treatment[J]. Circ Arrhythmia Electrophysiol, 2013, 6(2): 327-333. DOI: 10.1161/circep.113.000374.

[29] STEINBERGB A, HAMMILL B G, DAUBERT J P, *et al*. Periprocedural imaging and outcomes after catheter ablation of atrial fibrillation [J]. Heart, 2014, 100(23): 1871-1877. DOI: 10.1136/heartjnl-2014-306067.

[30] PIMENTEL R C, RAHAI N, MACCIONI S, *et al*. Differences in outcomes among patients with atrial fibrillation undergoing catheter ablation with versus without intracardiac echocardiography[J]. Cardiovasc Electrophysiol, 2022, 33(9): 2015-2047. DOI: 10.1111/jce.15599.

(收稿:2023-06-09;修回:2023-08-10)

(编辑 栾 嘉)