

## 心律失常

## 消融指数指导下心房颤动高功率射频消融有效性和安全性的 meta 分析

甄一博<sup>1</sup> 郝杰<sup>1</sup> 祖秀光<sup>1</sup>

**[摘要]** 目的:评价消融指数(ablation index, AI)指导下心房颤动(房颤)高功率射频消融的有效性和安全性。方法:检索 PubMed、EMBASE、Cochrane Library、中国知网、万方数据库中自建库以来至 2023 年 1 月 19 日关于比较 AI 指导下高功率与常规功率房颤射频消融的文献。使用 Revman 5.4、Stata 15.1 进行统计学分析。结果:18 篇文献,共 3 206 例患者被纳入本研究。与常规功率组比较,高功率组单圈隔离率高( $RR = 1.13, 95\%CI: 1.06 \sim 1.21, P = 0.0003$ );房颤复发率低( $RR = 0.55, 95\%CI: 0.43 \sim 0.71, P < 0.00001$ );急性肺静脉传导恢复率无显著差异( $RR = 0.77, 95\%CI: 0.34 \sim 1.61, P = 0.49$ );食管并发症发生率无显著差异( $RR = 1.06, 95\%CI: 0.33 \sim 3.40, P = 0.92$ );肺静脉隔离时间明显缩短( $MD = -17.01, 95\%CI: -21.79 \sim -12.23, P < 0.00001$ )。结论:AI 指导下房颤高功率射频消融是安全、有效的。与常规功率消融相比,其单圈隔离率更高,复发率更低,手术时间更短,急性肺静脉传导恢复率和食管并发症发生率相当。

**[关键词]** 心房颤动;导管消融;消融指数;高功率

**DOI:**10.13201/j.issn.1001-1439.2023.04.010

**[中图分类号]** R541.7 **[文献标志码]** A

## Efficacy and safety of high power radiofrequency ablation guided by ablation index in atrial fibrillation ablation: a meta-analysis

ZHEN Yibo HAO Jie ZU Xiuguang

(Department of Cardiology, the Second Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang, 050000, China)

Corresponding author: ZU Xiuguang, E-mail: zxcg100109@163.com

**Abstract Objective:** To evaluate the efficacy and safety of ablation index(AI)-guided high power radiofrequency ablation in atrial fibrillation(AF). **Methods:** The PubMed, EMBASE, Cochrane Library, CNKI, and Wanfang databases were searched for studies comparing high power with conventional power atrial fibrillation radiofrequency ablation guided by AI since the established until January 19, 2023. Statistical analysis was performed using Revman 5.4 and Stata15.1. **Results:** Eighteen papers with a total of 3 206 patients were included in this study. The high power group showed higher first-pass PVI of PVs ( $RR = 1.13, 95\%CI: 1.06 - 1.21, P = 0.0003$ ) and lower recurrence of AF ( $RR = 0.55, 95\%CI: 0.43 - 0.71, P < 0.00001$ ). There were insignificant differences in acute pulmonary vein reconnection ( $RR = 0.77, 95\%CI: 0.34 - 1.61, P = 0.49$ ) and esophageal complications ( $RR = 1.06, 95\%CI: 0.33 - 3.40, P = 0.92$ ). The PVI time were significantly shorter ( $MD = -17.01, 95\%CI: -21.79 - -12.23, P < 0.00001$ ) in high power group. **Conclusion:** AI-guided high power radiofrequency ablation was safe and efficient for treating AF, it showed higher first-pass PVI of PVs, lower recurrence of AF, and shorter procedure times. The events of acute pulmonary vein reconnection and esophageal complications were similar between the two groups.

**Key words** atrial fibrillation; catheter ablation; ablation index; high power

心房颤动(房颤)治疗策略强调以卒中预防、心室率控制和节律控制为重点的综合管理,其中导管消融在维持窦性心律(窦律)和改善生活质量方面优于抗心律失常药,是症状性房颤的一线治疗方

式,其导管消融术式以肺静脉隔离(PVI)为基石,射频作为消融能源使用最广泛<sup>[1]</sup>。射频对心肌组织产生的能量形式主要包括阻抗热和传导热<sup>[2]</sup>,其中阻抗热直接来源于电极导管,是造成目标心肌组织凝固性坏死的主要方式。传导热热量低、损伤层次较深,常造成非透壁性损伤和心房周围组织损伤<sup>[3]</sup>。

<sup>1</sup> 河北医科大学第二医院心内三科(石家庄,050000)

通信作者:祖秀光, E-mail: zxcg100109@163.com

随着消融导管、可视化监测设备的技术进步,以及射频相关生物物理学研究的进展,高功率消融策略被提出并逐步得到验证<sup>[4-5]</sup>。与传统消融策略相比,高功率消融策略的阻抗热占比更大,损伤更“宽”、更“浅”,消融时间更短,有利于高效安全完成手术。然而,由于能量设置高,有增加食管损伤、蒸汽爆裂的潜在风险,在实际应用中存在诸多顾虑。消融指数(ablation index, AI)是整合了压力、功率、时间的量化消融指标,研究表明在相同 AI 指导下可形成相似的消融效果<sup>[6]</sup>。通过消融过程中实时监测,可有效提高消融质量<sup>[7]</sup>。这使 AI 在理论上为高功率消融提供了可靠保障,但在实际应用中其有效性、安全性尚未达成共识。本研究旨在评估 AI 指导下房颤高功率消融的有效性与安全性。

## 1 资料与方法

### 1.1 数据来源及检索策略

本研究按照系统评价与荟萃分析项目指南(PRISMA)进行检索,检索了 PubMed、EMBASE、Cochrane Library、中国知网、万方数据库中自建库以来至 2023 年 1 月 19 日关于比较 AI 指导下高功率与常规功率房颤射频消融的文献。检索词包括:“心房颤动”“房颤”“射频消融”“导管消融”“肺静脉隔离”“高功率”;“atrial fibrillation”“auricular fibrillation”“radiofrequency ablation”“catheter ablation”“pulmonary vein isolation”“high power”“high output”。

### 1.2 纳入及排除标准

纳入标准:≥18 岁的首次接受射频消融术的房颤患者;文献中高功率消融与常规功率消融相对照;报道包含但不限于单圈隔离率、肺静脉传导恢复率、手术时间、食管并发症发生率;重复发表的研究选择报告最全面文献的资料数据。排除标准:研究类型为会议摘要、病例报道、综述类文献;试验组和对照组未全部采用 AI 指导;试验组与对照组 AI 目标值不同;无法获取全文。

### 1.3 质量评价与数据提取

检索出的文献由两位评价员独立筛选和提取数据,如遇不同意见,则请第 3 方协助评估判定。入选文献使用 Cochrane 协作偏倚风险工具和纽卡斯尔渥太华(NOS)量表对分析中使用的研究质量进行评估<sup>[8]</sup>。将 NOS 评分≥7 认定为质量研究较高<sup>[9]</sup>。提取内容包括:文献题目、发表时间、文献作者、研究样本量、房颤类型、高功率/常规功率参数、随访时间、监测方法、年龄、性别比例、体重指数、CHA<sub>2</sub>DS<sub>2</sub>-VASc 评分、左室射血分数、手术时长、单圈隔离率、急性肺静脉传导恢复率、房颤复发率、肺静脉隔离时间、食管相关并发症。

### 1.4 统计学处理

使用 Revman 5.4、Stata 15.1 进行统计学分

析。连续性变量资料以  $\bar{X} \pm S$ 、加权均数差(WMD)及 95%可信区间(CI)表示,二分类变量资料用相对危险度(RR)及 95%CI 表示。均采用随机效应模型进行分析,以  $P < 0.05$  为有统计学意义。以  $I^2$  用于定量评价各试验结果的异质性,当  $I^2 \leq 50\%$  时认为异质性较小,当  $I^2 > 50\%$  时认为异质性较大,必要时讨论异质性来源。对 >10 篇纳入研究的合并结果通过制作漏斗图和 Egger 检验评估发表偏倚,若  $P > 0.05$  提示无显著发表偏倚,若  $P < 0.05$  提示存在发表偏倚并加用剪补法进行敏感性分析。

## 2 结果

### 2.1 文献检索结果

本研究通过中英文检索策略共检索出 899 篇相关文献,其中 276 篇来自 PubMed、485 篇来自 EMBASE、54 篇来自 Cochrane Library、44 篇来自中国知网、40 篇来自万方数据库。经去除重复文献、阅读标题和摘要排除、全文复筛后最终 18 篇目标文献<sup>[10-27]</sup>被纳入荟萃分析。见图 1。

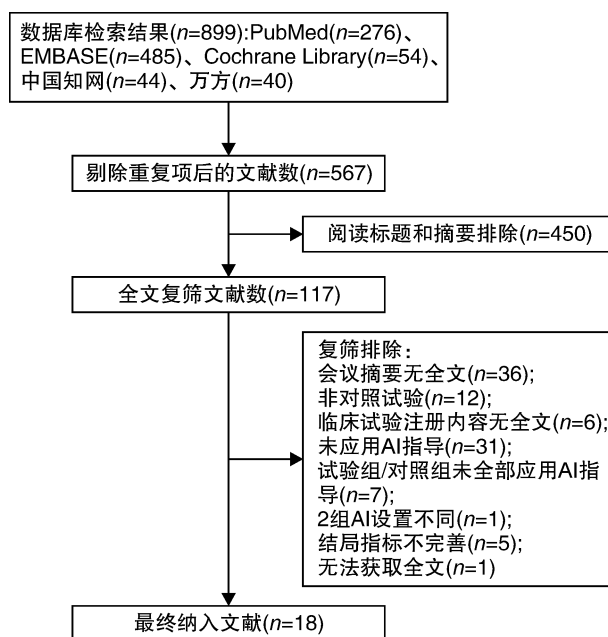


图 1 文献筛选流程图

Figure 1 Flow chart of document screening

### 2.2 纳入研究的基本特征和质量评价

共有 3 206 例患者被纳入本研究,其中 2 053 例患者行高功率消融,1 153 例患者行常规功率消融。纳入研究的手术特征及患者基线数据见表 1、2。所纳入随机对照试验经偏倚风险评价提示随机分配方案产生、分配方案隐藏、数据结果完整性、选择性报道为低偏倚风险,盲法、其他偏倚为偏倚风险不确定。所纳入队列研究未发现低质量(表 3)。

### 2.3 荟萃分析结果

高功率组单圈隔离率高于常规功率组(RR =

1.13, 95%CI: 1.06~1.21,  $P=0.0003$ ), 见图 2; 房颤复发率低于常规功率组 ( $RR=0.55$ , 95%CI: 0.43~0.71,  $P<0.00001$ ), 见图 3。与常规功率组相比高功率组食管并发症发生率差异无统计学意义 ( $RR=1.06$ , 95%CI: 0.33~3.40,  $P=0.92$ ), 见

图 4; 急性肺静脉传导恢复率差异无统计学意义 ( $RR=0.77$ , 95%CI: 0.34~1.61,  $P=0.49$ ), 见图 5。高功率组肺静脉隔离时间较常规功率组明显缩短 ( $MD=-17.01$ , 95%CI: -21.79~-12.23,  $P<0.00001$ ), 见图 6。

表 1 纳入研究手术基本特征  
Table 1 Basic procedural characteristics of studies

纳入研究	研究类型	研究样本量(高功率/常规功率)	房颤类型	高功率参数	常规功率参数	随访时间	监测方法
Wielandts 2021	随机对照试验	48/48	阵发性	45 W 功率控制模式; AI: 前壁 $\geq 550$ 、其余区域 $\geq 400$	35 W 功率控制模式; AI: 前壁 $\geq 550$ 、其余区域 $\geq 400$	6 个月	临床随访、心电图、心律失常临床症状
苗旺 2021	队列研究	45/45	阵发性+持续性	前壁、底部、顶部、后壁功率 45 W; AI: 前壁 480、底部 450、顶部 400、后壁 380	前壁、底部、顶部、后壁功率 35 W; AI: 前壁 480、底部 450、顶部 400、后壁 380	3 个月	门诊随访/电话随访、心电图、心律失常临床症状
Okamatsu 2021	队列研究	1 032/301	阵发性+持续性	前壁功率 50 W, AI $\geq 400$ ; 后壁功率 40 W, AI $\geq 360$ ; 食管区功率 25 W, AI $\geq 260$	前壁功率 30~40 W, AI $\geq 400$ ; 后壁功率 20~25 W, AI $\geq 360$ ; 食管区功率 20 W, AI $\geq 260$	12 个月	门诊随访、症状、常规心电图、动态心电图
Francke 2021	队列研究	100/20	阵发性+持续性	功率均为 50 W, AI: 前壁 550、后壁 400	前壁、顶部功率 40 W, AI 550; 后壁功率 20 W, AI 400	12 周	临床随访、消化内镜、症状、心电图
Kyriakopoulou 2020	队列研究	80/105	阵发性	功率 40 W; AI: 前壁 $\geq 550$ 、后壁和顶部 $\geq 400$ ; 温度超过 38.5℃ 时 AI 300	功率 35 W; AI: 前壁 $\geq 550$ 、后壁和顶部 $\geq 400$ ; 温度超过 38.5℃ 时 AI 300	12 个月	临床随访、心电图
Lee 2021	队列研究	86/32	阵发性+持续性	前壁、顶部功率 40 W, AI $\geq 450$ ; 后壁、下壁、嵴部功率 30 W, AI $\geq 350$ ; 食管区功率 25 W, AI 300	前壁、顶部功率 30~35 W, AI $\geq 450$ ; 后壁、下壁、嵴部功率 25~30 W, AI $\geq 350$ ; 食管区功率 25 W, AI 300	1 年	临床随访、心电图
Okamatsu 2019	队列研究	40/20	阵发性+持续性	前壁功率 50 W, 后壁 40 W, 食管区 30 W; 前壁 40 W, 后壁 30 W; AI: 前壁 400、后壁 360、食管区 260	前壁功率 30 W, 后壁 20 W; AI: 前壁 400、后壁 360、食管区 260	12 个月	门诊随访、心电图、症状
黄颖 2021	队列研究	42/42	阵发性+持续性	前壁功率 50 W, 其他部位 40 W; AI: 前壁 450、其他部位 400	前壁功率 35 W, 其他部位 30 W; AI: 前壁 450、其他部位 400	12 个月	门诊随访、症状、ECG、动态心电图
苗旺 2022	队列研究	50/50	阵发性+持续性	功率 45 W, AI: 前壁 480、底部 450、顶部 400、后壁 380	功率 35 W, AI: 前壁 480、底部 450、顶部 400、后壁 380	3 个月	临床随访、症状、常规心电图、动态心电图
Cheng 2022	队列研究	36/36	阵发性	前壁、嵴部、顶部、下壁功率 50 W, 后壁功率 45 W; AI: 前壁 450~480、嵴部 480~500、顶部 400~450、下壁 400~450、后壁 380~420	前壁、嵴部、顶部、下壁功率 35 W, 后壁功率 30 W; AI: 前壁 450~480、嵴部 480~500、顶部 400~450、下壁 400~450、后壁 380~420	3 个月	常规心电图检查或动态心电图
Cui 2022	队列研究	49/43	阵发性+持续性	前壁、顶部功率 50 W, AI 500~550; 后壁功率 50 W, AI 350~400; 下壁功率 50 W, AI 400~450; 上壁功率 50 W, AI 450~500	前壁功率 35~40 W, AI 500~550; 顶部功率 30~40 W, AI 500~550; 后壁功率 30~35 W, AI 350~400; 下壁功率 30~35 W, AI 400~450; 上壁功率 30~35 W, AI 450~500	18 个月	心电图、动态心电图、超声心动图
Liu 2022	队列研究	74/60	阵发性+持续性	功率 45 W; AI: 前壁 450~500、后壁 350~400	功率 35 W; AI: 前壁 450~500、后壁 350~400	12 个月	心电图、动态心电图
Zhu 2022	队列研究	50/50	阵发性	功率 40 W, AI: 后壁 400、其他 500	功率 30 W; AI: 后壁 400、其他 500	12 个月	心电图、动态心电图
崔鹏辉 2022	队列研究	79/50	阵发性+持续性	前壁 50 W, AI 500~550; 后壁功率 50 W, AI 350~400; 下壁功率 50 W, AI 400~450; 顶部功率 50 W, AI 450~500; 嵴部功率 50 W, AI 500~550	前壁功率 35~40 W, AI 500~550; 后壁功率 30~35 W, AI 350~400; 下壁功率 30~35 W, AI 400~450; 顶部功率 30~35 W, AI 450~500; 嵴部功率 30~40 W, AI 500~550	3 个月	常规 12 导联体表心电图和(或)24 h 动态心电图、超声心动图
胡晓芹 2022	队列研究	37/40	阵发性+持续性	功率 45~50 W; AI: 前壁 450~500, 顶部 400~450, 后壁和底部 350~400	功率 30~35 W; AI: 前壁 450~500, 顶部 400~450, 后壁和底部 350~400	6 个月	心电图或动态心电图
孙少喜 2022	队列研究	68/71	阵发性	功率 45 W; AI: 前壁 500、后壁 350~400、顶部 450、底部 420	功率 35 W; AI: 前壁 500、后壁 350~400、顶部 450、底部 420	NA	NA
张宏亮 2022	队列研究	46/49	阵发性	前壁、顶部及嵴部功率 45~50 W, 后壁、底部功率跟前壁保持一致或降为 40 W; AI: 前壁和嵴部 450、顶部和底部 400、后壁 360~380	前壁、顶部、嵴部、后壁、底部功率 35~40 W; AI: 前壁和嵴部 450、顶部和底部 400、后壁 360~380	12 个月	门诊随访或电话随访、24 h 动态心电图、超声心动图
张占欣 2022	队列研究	91/91	阵发性+持续性	功率 45~50 W; AI: 前壁 430~450、嵴部 430~450、左顶部 430~450、左后壁 350~380、右顶部 430~450、右后壁 380~420	功率 35~40 W; AI: 前壁 430~450、嵴部 430~450、左顶部 430~450、左后壁 350~380、右顶部 430~450、右后壁 380~420	10~24 个月	电话随访或门诊随访、常规 12 导联心电图、24 h 动态心电图及心脏超声

表 2 纳入研究患者基线特征  
 Table 2 Basic patient characteristics of studies 例(%), $\bar{X} \pm S, M(P_{25}, P_{75})$

纳入研究	组别	例数	年龄/年	女性	阵发性房颤/ 持续性房颤	体重指数/ ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ )	CHA <sub>2</sub> DS <sub>2</sub> -VASc 评分	左房直径 /mm	左室射血 分数/%
Wielandts 2021	高功率	48	64.0±11.0	16(33.3)	48/0	26.4±4.2	1(0,3)	39.0±7.0	NA
	常规功率	48	61.0±11.0	15(31.3)	48/0	26.8±4.0	1(0,3)	40.0±7.0	NA
苗旺 2021	高功率	45	63.0±10.0	14(31.1)	34/11	25.6±3.0	3.5±1.8	42.3±5.5	63.3±8.2
	常规功率	45	62.4±10.0	13(28.9)	25/20	25.6±2.7	3.9±1.8	42.7±7.3	63.0±10.6
Okamatsu 2021	高功率	1 032	68(61,74)	316(30.6)	583/449	24(22,26)	2(1,3)	41(37,46)	62(58,66)
	常规功率	301	67(61,73)	91(30.2)	172/129	24(22,26)	2(1,3)	41(37,46)	62(58,68)
Francke 2021	高功率	100	66.4±10.0	40(40.0)	49/51	NA	2.8±1.5	NA	54.2±13.3
	常规功率	20	66.4±10.0	13(65.0)	9/11	NA	3.2±1.5	NA	59.5±5.5
Kyriakopoulou 2020	高功率	80	67(58,73)	33(41.2)	80/0	28.0±5.0	2(1,3)	43.0±8.0	60(60,60)
	常规功率	105	64(56,69)	40(38.1)	105/0	27.0±4.0	2(1,2)	44.0±6.0	60(60,60)
Lee 2021	高功率	86	59.5±9.0	20(23.3)	62/24	24.9±3.0	1(1,2)	42.6±4.5	59.9±4.8
	常规功率	32	59.9±9.1	7(21.9)	24/8	24.8±2.8	1(0,2)	41.2±5.4	59.2±5.1
Okamatsu 2019	高功率	20	65.0±10.0	7(35.0)	13/20	24(22,25)	2(1,3)	40.0±6.0	65(60,71)
	中等功率	20	64.0±8.0	9(45.0)	15/20	23(22,26)	2(1,3)	40.0±5.0	64(59,71)
	低功率	20	68.0±8.0	5(25.0)	16/20	24(21,28)	2(1,2)	39.0±6.0	64(60,67)
黄颖 2021	高功率	42	62.3±8.8	13(31.0)	19/23	NA	NA	43.8±4.8	59.45±4.72
	常规功率	42	61.0±10.0	15(35.7)	23/19	NA	NA	44.0±6.2	57.69±10.91
苗旺 2022	高功率	50	67.9±1.1	18(36.0)	38/12	24.6±0.5	4.6±0.9	40.7±0.9	61.7±1.6
	常规功率	50	66.6±1.3	25(50.0)	27/23	25.3±0.6	4.5±1.1	43.9±1.8	60.8±11.9
Cheng 2022	高功率	36	58.92±11.92	9(25.0)	36/0	24.11±2.98	1.69±1.49	38.19±6.46	63.04±4.40
	常规功率	36	63.11±9.96	16(44.4)	36/0	25.38±3.24	2.31±1.95	38.08±6.40	61.53±4.07
Cui 2022	高功率	49	61.76±9.45	10(20.4)	29/20	25.55±5.67	1(1,2)	37.73±0.87	59.49±10.23
	常规功率	43	58.14±9.83	9(20.9)	28/15	25.94±3.34	1(1,2)	38.40±5.28	62.40±6.84
Liu 2022	高功率	74	66.7±11.3	28(37.8)	57/18	23.16±2.63	2.7±1.9	40.8±3.8	NA
	常规功率	60	66.4±7.2	23(38.3)	51/9	23.59±2.31	3.1±1.8	38.1±5.0	NA
Zhu 2022	高功率	50	64.4±9.45	16(32.0)	50/0	21.27±1.88	3.4±1.14	40.65±5.87	64.74±4.46
	常规功率	50	64.9±8.62	18(36.0)	50/0	21.04±2.65	3.15±1.04	42.85±3.10	61.9±5.40
崔鹏辉 2022	高功率	79	62.41±9.48	30(38.0)	47/32	25.25±5.67	2(1,3)	38.00±5.43	60.51±9.85
	常规功率	50	58.96±10.10	11(22.0)	35/15	26.02±3.23	1(1,2)	38.02±5.15	62.58±6.50
胡晓芹 2022	高功率	37	63.8±9.6	14(37.8)	19/18	26.7±3.4	1.8±1.1	39.89±4.0	56.9±8.5
	常规功率	40	58.3±12.3	9(22.5)	23/17	26.9±3.8	1.9±1.3	41.8±5.9	57.0±8.5
孙少喜 2022	高功率	68	69.3±4.8	29(42.6)	68/0	NA	NA	37.1±3.4	55.9±3.6
	常规功率	71	68.2±4.3	30(42.3)	71/0	NA	NA	36.7±3.6	54.9±3.5
张宏亮 2022	高功率	46	59.63±9.53	17(37.0)	46/0	23.95±3.03	1.93±1.64	35.61±5.42	63.46±4.97
	常规功率	49	58.73±10.22	14(28.6)	49/0	24.34±2.95	1.57±1.37	37.57±6.64	65.38±6.56
张占欣 2022	高功率	91	59.65±9.72	36(40.0)	64/27	26.59±3.29	2.30±1.51	37.23±4.82	64.05±9.50
	常规功率	91	59.71±10.61	36(40.0)	64/27	22.77±2.01	2.27±1.63	35.79±5.66	62.10±8.32

对上述结果纳入研究逐一去除后重新合并进行敏感性分析,结果均较前无显著改变。单圈隔离率和房颤复发率所纳入研究数大于 10 篇,对其进行发表偏倚检测。单圈隔离率漏斗图不对称(图 7),Egger 检验  $P=0.015<0.05$ ,提示可能存在发表偏倚,加用剪补法进行敏感性分析,结果改变为差异无统计学意义(95% CI: -0.026 ~ 0.120),见图 8,提示合并结果稳健性较差。房颤复发率漏斗图大致对称(图 9),Egger 检验  $P=$

0.950>0.05,提示无显著发表偏倚。

### 3 讨论

本研究通过对 AI 指导下房颤高功率消融相关数据进行荟萃分析,与常规功率相比,得出以下结论:手术有效性方面,高功率消融单圈隔离率高、房颤复发率低、急性肺静脉传导恢复率无明显差异;安全性方面,高功率消融不增加食管并发症发生率;手术效率方面,高功率消融肺静脉隔离所需时间明显缩短。



表 3 纳入队列研究文献质量评价

Table 3 Evaluation of literature quality of included cohort studies

纳入研究	研究对象选择	可比性	结果	得分
苗旺 2021	4	2	2	8
Okamatsu 2021	4	2	1	7
Francke 2021	4	1	2	7
Kyriakopoulou 2020	4	1	2	7
Lee 2021	4	2	1	7
Okamatsu 2019	4	2	2	8
黄颖 2021	4	2	2	8
苗旺 2022	4	2	1	7
Cheng 2022	4	2	1	7
Cui 2022	4	1	2	7
Liu 2022	4	2	2	8
Zhu 2022	4	2	2	8
崔鹏辉 2022	4	1	2	7
胡晓芹 2022	4	2	2	8
孙少喜 2022	4	1	2	7
张宏亮 2022	4	2	1	7
张占欣 2022	4	1	2	7

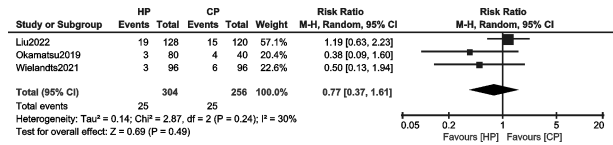


图 5 急性肺静脉传导恢复

Figure 5 Forest plot of acute pulmonary vein reconnection

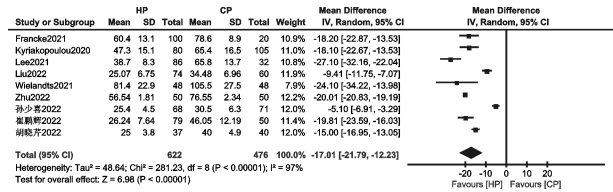


图 6 肺静脉隔离时间

Figure 6 Forest plot of PVI time

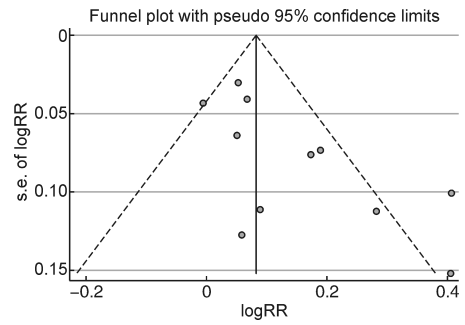


图 7 漏斗图(单圈隔离率)

Figure 7 Funnel plot (first-pass PVI of PVs)

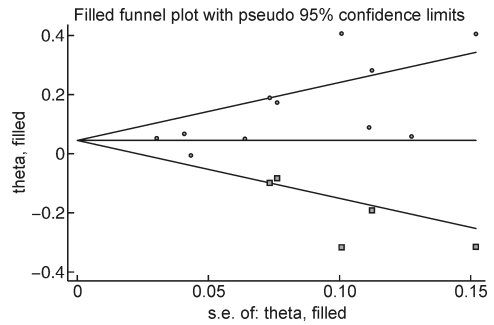


图 8 剪补图(单圈隔离率)

Figure 8 Filled funnel plot (first-pass PVI of PVs)

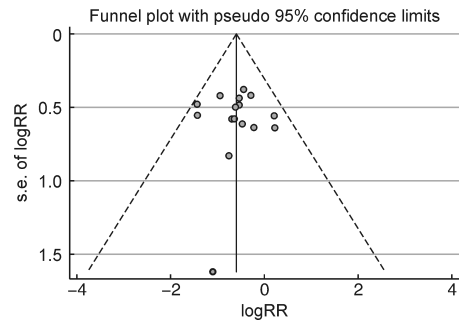


图 9 漏斗图(房颤复发率)

Figure 9 Funnel plot (recurrence of AF)

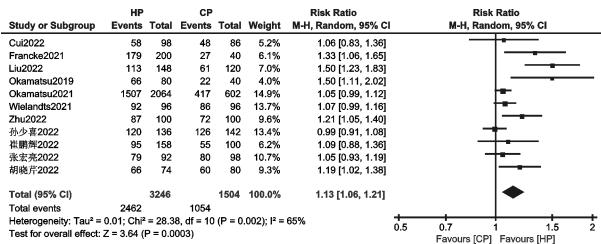


图 2 单圈隔离率

Figure 2 Forest plot of first-pass PVI of PVs

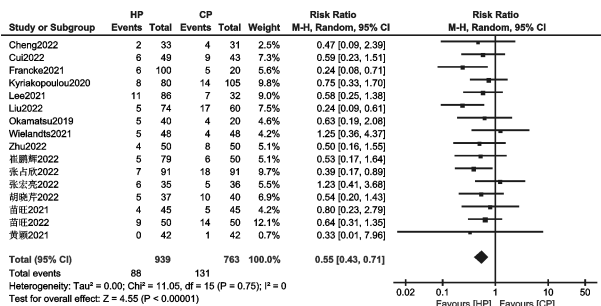


图 3 房颤复发率

Figure 3 Forest plot of recurrence of AF

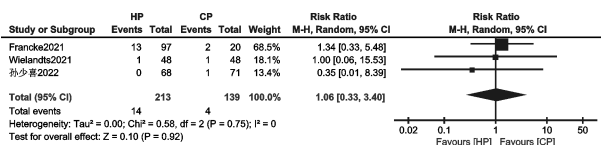


图 4 食管并发症

Figure 4 Forest plot of esophageal complications

射频消融术通过电极导管与心肌组织接触,由于心肌组织阻抗较高,与心肌组织贴靠的导管头端电流密度大,使电能转化为大量热能,并以阻抗热和传导热的形式形成组织损伤,当组织温度超过 $50^{\circ}\text{C}$ 时,可造成不可逆的心肌细胞损伤,达到消融目的。由于高功率消融的阻抗热占比大、消融时间短,理论上可减少每个点位的消融时间,并降低周围组织的热损伤。在动物模型实验中,这一观点得到验证,应用高功率消融策略可产生可靠的消融损伤,显著缩短消融时间,且高功率消融损伤范围宽而浅,蒸汽爆裂及毗邻组织损伤更少<sup>[28-30]</sup>。此前也有研究验证了高功率消融的实用性,Winkle等<sup>[31]</sup>分析了4个经验丰富的房颤消融中心应用高功率消融的并发症发生率,提示在左房(包括后壁)应用 $45\sim 50\text{ W}$ 高功率消融是安全的,发生心脏穿孔、卒中和心房食管瘘等并发症的风险较低。Vassallo等<sup>[32]</sup>回顾性分析了应用压力消融导管的高功率消融结果,提示高功率消融可显著减少手术时间,并发症发生率低,且有着较低的房颤复发率。AI整合了压力、功率、时间,可以相对准确地反映消融损伤的范围<sup>[33]</sup>。陈丽竹等<sup>[34]</sup>在阵发性房颤患者中比较了导管贴靠压力(contact force, CF)指导下和AI指导下的PVI效果。结果显示AI组单圈隔离率高于CF组( $P=0.035$ ),消融时间显著缩短( $P<0.001$ )。经12个月随访,AI组房性快速性心律失常复发率明显低于CF组( $P=0.045$ )。Hussein等<sup>[35]</sup>对40例持续性房颤患者行AI指导下PVI,并在术后进行为期1年的随访监测,结果显示其可达到高水平的持久性电隔离,进一步验证了AI的可靠性。

单圈隔离是判断消融即刻效果的最优标准<sup>[36]</sup>。本研究纳入的文献中,11篇<sup>[10,13-15,20-26]</sup>单独记录了患者每侧的单圈隔离情况。合并结果提示高功率组单圈隔离率较常规功率组差异显著,这在一定程度上与高功率消融的生物物理学特征相互印证。但Egger检验提示可能存在发表偏倚,且用剪补法进行敏感性分析后结果显示两者无统计学差异。这提示合并结果稳健性较差,未来需要更多文献纳入补充。急性肺静脉传导恢复是术后房颤复发的重要因素,Xu等<sup>[37]</sup>一项纳入了15项研究的meta分析显示高功率组的急性肺静脉传导恢复率降低,但其纳入研究中并没有区分是否应用量化消融参数。Ücer等<sup>[38]</sup>应用压力感应导管、 $50\text{ W}$ 功率行每点 $6\sim 10\text{ s}$ 的消融,结果显示急性肺静脉传导恢复率较高,认为造成此结果的原因可能是消融时间过短所致,应用AI指导可能有利于提高消融有效性。本研究结果提示高功率组与常规功率组急性肺静脉传导恢复率相当,这可能提示AI指导下高功率对急性肺静脉传导恢复率带来益处并不

显著或因纳入样本量少所致。本研究中房颤复发率低与高功率消融高阻抗热占比特点相一致。综上所述,AI指导下应用高功率消融倾向于提高手术有效性,但提高并不十分确切和明显。我们考虑造成此结果的原因可能是消融达到足够的AI值,对目标心肌产生了相似的消融体积、面积,其对手术有效性的影响可能大于高功率消融生物物理学特征的贡献。Liu等<sup>[39]</sup>一篇meta分析将量化消融参数指导下的高功率消融与未全部应用量化参数的低功率消融对比,结果提示高功率组单圈隔离率高,急性肺静脉传导恢复率和房性快速心律失常复发率低。Ioannou等<sup>[7]</sup>的研究也得到了相似的结果。对比这些研究结果,我们推测AI的应用可能是提升消融有效性的主要因素。AI指导下高功率消融是否更有效仍需要未来大样本、多中心、长期随访的临床研究进一步验证。

食管区安全性是限制高功率消融策略应用的重要因素。Kaneshiro等<sup>[40]</sup>评估了 $45\sim 50\text{ W}$ 高功率短时程消融的食管损伤(ETI)特点,结果表明高功率组ETI发生率显著高于常规组,但高功率组主要为胃运动减退,损伤性病变均为红斑,常规功率组为溃疡性病变。AI-HP ESO II试验评价了 $50\text{ W}$ 高功率短时程消融在有或没有食管腔内温度(LET)监测的情况下的安全性,结果显示AI指导下高功率组的食管损伤很低,且有LET监测组与无LET监测组食管病变发生率无统计学差异<sup>[41]</sup>。本文纳入的文献中仅3篇文献报道了消融相关的食管损伤。Francke等<sup>[10]</sup>研究显示高功率组有较多的食管损伤,包括红斑、黏膜脱离、溃疡,且有1例溃疡愈合非常缓慢。而常规功率组出现2例溃疡,应用质子泵抑制剂后2周开始呈愈合趋势。Wielandts等<sup>[15]</sup>研究中高功率组与常规功率组各有1例食管病变,其中高功率组为食管穿孔并植入支架。孙少喜等<sup>[25]</sup>研究中常规功率组出现1例患者持续胸痛,胃镜检查提示食管糜烂,经药物治疗后恢复。虽然本研究结果并未提示2组的食管并发症情况差异有统计学意义,但由于报道数量少、并发症可导致严重后果,因此需谨慎看待此结果。高功率消融所致食管损伤倾向于更加严重,所以我们认为在左房后壁消融时需要综合考虑AI、压力、功率问题,尤其是保持稳定的贴靠,避免过高的压力。

高功率消融在缩短手术时间,提高手术效率方面效果显著。由于纳入文献中消融术式不尽相同,我们单独比较了PVI时间。共9篇文献<sup>[10-12,15,21-25]</sup>记录了PVI时间,每篇文献中高功率PVI时间均明显缩短,进行结果合并后亦是如此。这也与先前的研究结果一致<sup>[42]</sup>。综合以上研究结果,我们认为高功率消融的最大优势可能来自于以缩短手术时间为核心的效率提升。

近期, Takigawa 等<sup>[43]</sup>通过绵羊模型初步探索了应用 QDOT-MICRO™ 导管行 90 W、4 s 消融的生物物理学特征,与常规功率消融相比,新型导管超高功率消融可产生更宽、更浅、更均匀的损伤。Reddy 等<sup>[44]</sup>应用新型超高功率导管对阵发性房颤患者进行了 90 W、4 s 的肺静脉隔离,手术效率明显提高,随访 3 个月所有患者均隔离成功且未出现严重并发症。此消融模式将消融效率进一步提高,目前其有效性、安全性尚需进一步验证。

本研究存在一定局限性。首先,本研究纳入的文献大多数为队列研究,仅一项随机对照试验,但我们纳入的队列研究均为应用 NOS 评分系统评估出的高质量研究,尽可能地减少了偏倚。其次,各项研究的参数设置不尽一致,各研究中心射频功率、AI 目标值及术式等方面存在差异,因此我们均应用随机效应模型并重点对肺静脉隔离这一基础手术相关指标进行分析。第三,并发症数据记录少,限制了并发症相关分析。

综上所述, AI 指导下房颤高功率射频消融是安全、有效的。与常规功率消融相比,高功率消融的单圈隔离率更高,房颤复发率更低,手术时间更短,急性肺静脉传导恢复率和食管并发症发生率相当。在后壁应用过程中仍要密切关注贴靠压力及 AI 值以避免过度热损伤。未来需要定义更明确的大样本长随访研究进一步验证其可靠性。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

#### 参考文献

- [1] 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.
- [2] Wittkampf FH, Nakagawa H. RF catheter ablation: Lessons on lesions [J]. Pacing Clin Electrophysiol, 2006,29(11):1285-1297.
- [3] Knotts RJ, Barbhuiya CR. High-power, short-duration ablation for atrial fibrillation: Pros and cons [J]. Prog Cardiovasc Dis, 2021,66:86-91.
- [4] Nilsson B, Chen X, Pehrson S, et al. The effectiveness of a high output/short duration radiofrequency current application technique in segmental pulmonary vein isolation for atrial fibrillation [J]. Europace, 2006,8(11):962-965.
- [5] Shin DG, Ahn J, Han SJ, et al. Efficacy of high-power and short-duration ablation in patients with atrial fibrillation: a prospective randomized controlled trial [J]. Europace, 2020,22(10):1495-1501.
- [6] Ullah W, Hunter RJ, Finlay MC, et al. Ablation Index and Surround Flow Catheter Irrigation: Impedance-Based Appraisal in Clinical Ablation [J]. JACC Clin Electrophysiol, 2017,3(10):1080-1088.
- [7] Ioannou A, Papageorgiou N, Lim WY, et al. Efficacy and safety of ablation index-guided catheter ablation for atrial fibrillation: an updated meta-analysis [J]. Europace, 2020,22(11):1659-1671.
- [8] Higgins JP, Altman DG, Gøtzsche PC, et al. The Cochrane Collaboration's tool for assessing risk of bias in randomised trials [J]. BMJ, 2011,343:d5928.
- [9] Stang A. Critical evaluation of the Newcastle-Ottawa scale for the assessment of the quality of nonrandomized studies in meta-analyses [J]. Eur J Epidemiol, 2010,25(9):603-605.
- [10] Francke A, Taha NS, Scharfe F, et al. Procedural efficacy and safety of standardized, ablation index guided fixed 50 W high-power short-duration pulmonary vein isolation and substrate modification using the CLOSE protocol [J]. J Cardiovasc Electrophysiol, 2021,32(9):2408-2417.
- [11] Kyriakopoulou M, Wielandts JY, Strisciuglio T, et al. Evaluation of higher power delivery during RF pulmonary vein isolation using optimized and contiguous lesions [J]. J Cardiovasc Electrophysiol, 2020,31(5):1091-1098.
- [12] Lee SR, Park HS, Choi EK, et al. Acute and long-term efficacy of ablation index-guided higher power shorter duration ablation in patients with atrial fibrillation: A prospective registry [J]. J Arrhythm, 2021,37(5):1250-1259.
- [13] Okamoto H, Koyama J, Sakai Y, et al. High-power application is associated with shorter procedure time and higher rate of first-pass pulmonary vein isolation in ablation index-guided atrial fibrillation ablation [J]. J Cardiovasc Electrophysiol, 2019,30(12):2751-2758.
- [14] Okamoto H, Okumura K, Kaneko S, et al. Ablation Index-Guided High-Power Radiofrequency Application Shortens the Procedure Time With Similar Outcomes to Conventional Power Application in Atrial Fibrillation Ablation [J]. Circ Rep, 2021,3(10):559-568.
- [15] Wielandts JY, Kyriakopoulou M, Almorad A, et al. Prospective Randomized Evaluation of High Power During CLOSE-Guided Pulmonary Vein Isolation: The POWER-AF Study [J]. Circ Arrhythm Electrophysiol, 2021,14(1):e009112.
- [16] 黄颖,解杨婧. 高功率短时程与常规功率导管射频消融治疗心房颤动有效性和安全性的对比研究 [J]. 实用心脑血管病杂志, 2021,29(5):124-127.
- [17] 苗旺. AI 指导下高功率短时程消融在房颤治疗中的应用效果 [D]. 太原:山西医科大学, 2021.
- [18] 苗旺,张楠,郭敏,等. 消融指数指导下高功率消融在老年心房颤动患者中的应用效果 [J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2022,24(2):151-154.
- [19] Cheng C, Xu B, Sheng J, et al. Procedural Efficiency, Efficacy, and Safety of High-Power, Short-Duration Radiofrequency Ablation Delivered by STSF Catheter for Paroxysmal Atrial Fibrillation [J]. Evid Based Complement Alternat Med, 2022,2022:6009275.

- [20] Cui P, Qu Y, Zhang J, et al. Comparison of effectiveness and safety of high-power vs. conventional-power radiofrequency ablation for treatment of atrial fibrillation[J]. *Front Cardiovasc Med*, 2022, 9:988602.
- [21] Liu Z, Liu LF, Liu XQ, et al. Ablation index-guided ablation with milder targets for atrial fibrillation: Comparison between high power and low power ablation[J]. *Front Cardiovasc Med*, 2022, 9:949918.
- [22] Zhu X, Wang C, Chu H, et al. Effectiveness and Safety of High-Power Radiofrequency Ablation Guided by Ablation Index for the Treatment of Atrial Fibrillation[J]. *Comput Math Methods Med*, 2022, 2022:5609764.
- [23] 崔鹏辉. 129 例高功率和普通功率射频消融策略治疗心房颤动的有效性和安全性比较[D]. 长春: 吉林大学, 2022.
- [24] 胡晓芹, 李承宗, 李菲, 等. 消融指数指导下单导管高功率射频消融在肺静脉隔离中的短期疗效及安全性[J]. *徐州医科大学学报*, 2022, 42(09):666-671.
- [25] 孙少喜, 谭文亮, 黎镇赐, 等. 应用 STSF 导管高功率消融模式治疗老年阵发性房颤的临床疗效[J]. *广州医药*, 2022, 53(4):9-13.
- [26] 张宏亮. 消融指数指导下的高功率短时程射频消融在阵发性心房颤动中的安全性及有效性评价[D]. 兰州: 兰州大学, 2022.
- [27] 张占欣. 应用高功率短时程射频消融治疗心房颤动的疗效及安全性[D]. 石家庄: 河北医科大学, 2022.
- [28] Lozano Granero C, Franco E, Matía Francés R, et al. Impact of power and contact force on index-guided radiofrequency lesions in an ex vivo porcine heart model[J]. *J Interv Card Electrophysiol*, 2022, 63(3):687-697.
- [29] Bhaskaran A, Chik W, Pouliopoulos J, et al. Five seconds of 50-60 W radio frequency atrial ablations were transmural and safe: an in vitro mechanistic assessment and force-controlled in vivo validation[J]. *Eurpace*, 2017, 19(5):874-880.
- [30] Ali-Ahmed F, Goyal V, Patel M, et al. High-power, low-flow, short-ablation duration—the key to avoid collateral injury? [J]. *J Interv Card Electrophysiol*, 2019, 55(1):9-16.
- [31] Winkle RA, Mohanty S, Patrawala RA, et al. Low complication rates using high power (45-50 W) for short duration for atrial fibrillation ablations [J]. *Heart Rhythm*, 2019, 16(2):165-169.
- [32] Vassallo F, Cunha C, Serpa E, et al. Comparison of high-power short-duration (HPSD) ablation of atrial fibrillation using a contact force-sensing catheter and conventional technique: Initial results[J]. *J Cardiovasc Electrophysiol*, 2019, 30(10):1877-1883.
- [33] Huang ST, Dong JZ, Du X, et al. Relationship Between Ablation Lesion Size Estimated by Ablation Index and Different Ablation Settings—an Ex Vivo Porcine Heart Study[J]. *J Cardiovasc Transl Res*, 2020, 13(6):965-969.
- [34] 陈丽竹, 梁拓, 陈小璐, 等. 消融指数在射频消融治疗阵发性心房颤动中的作用研究[J]. *临床心血管病杂志*, 2021, 37(3):259-262.
- [35] 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: The PRAISE Study Results[J]. *Circ Arrhythm Electrophysiol*, 2018, 11(9):e006576.
- [36] 张建军. 心房颤动导管消融中环肺静脉单圈隔离的意义及操作要点[J]. *临床心血管病杂志*, 2022, 38(11):847-850.
- [37] Xu M, Yang Y, Zhang D, et al. Meta-analysis of high power short duration in atrial fibrillation ablation—a superior efficient ablation strategy[J]. *Acta Cardiol*, 2022, 77(1):14-32.
- [38] Ücer E, Jungbauer C, Hauck C, et al. The low acute effectiveness of a high-power short duration radiofrequency current application technique in pulmonary vein isolation for atrial fibrillation[J]. *Cardiol J*, 2021, 28(5):663-670.
- [39] Liu X, Gui C, Wen W, et al. Safety and Efficacy of High Power Shorter Duration Ablation Guided by Ablation Index or Lesion Size Index in Atrial Fibrillation Ablation: A Systematic Review and Meta-Analysis [J]. *J Interv Cardiol*, 2021, 2021:5591590.
- [40] Kaneshiro T, Kamioka M, Hijioka N, et al. Characteristics of Esophageal Injury in Ablation of Atrial Fibrillation Using a High-Power Short-Duration Setting[J]. *Circ Arrhythm Electrophysiol*, 2020, 13(10):e008602.
- [41] Chen S, Schmidt B, Seeger A, et al. Catheter ablation of atrial fibrillation using ablation index-guided high power (50 W) for pulmonary vein isolation with or without esophageal temperature probe (the AI-HP ESO II) [J]. *Heart Rhythm*, 2020, 17(11):1833-1840.
- [42] Chen S, Schmidt B, Bordignon S, et al. Ablation index-guided 50 W ablation for pulmonary vein isolation in patients with atrial fibrillation: Procedural data, lesion analysis, and initial results from the FAFA AI High Power Study[J]. *J Cardiovasc Electrophysiol*, 2019, 30(12):2724-2731.
- [43] Takigawa M, Kitamura T, Martin CA, et al. Temperature- and flow-controlled ablation/very-high-power short-duration ablation vs conventional power-controlled ablation: Comparison of focal and linear lesion characteristics [J]. *Heart Rhythm*, 2021, 18(4):553-561.
- [44] Reddy VY, Grimaldi M, De Potter T, et al. Pulmonary Vein Isolation With Very High Power, Short Duration, Temperature-Controlled Lesions: The QDOT-FAST Trial [J]. *JACC Clin Electrophysiol*, 2019, 5(7):778-786.