

经心尖TAVI治疗重度主动脉瓣狭窄患者的疗效及随访研究

胡健昊, 刘愚勇*

安徽医科大学第一附属医院心脏大血管外科, 安徽 合肥

收稿日期: 2026年3月30日; 录用日期: 2026年4月24日; 发布日期: 2026年5月7日

摘要

目的: 探讨经心尖经导管主动脉瓣植入术(TA-TAVI)治疗重度主动脉瓣狭窄(AS)患者的临床疗效、安全性及长期预后, 为临床应用提供实践参考。方法: 回顾性分析安徽医科大学第一附属医院2022年1月至2025年6月收治的166例接受经心尖TAVI治疗的重度AS患者的临床资料, 收集患者基线特征、手术相关指标, 术后进行定期随访, 随访率91.6%, 观察随访期间患者心功能改善、并发症发生及生存情况。采用SPSS 25.0统计软件进行数据处理, 计量资料以均数 \pm 标准差表示, 计数资料以例数(百分比)表示。结果: 166例患者中, 手术成功率为100%, 无中转开胸患者; 术后随访(24.0 \pm 12.0)个月, 随访成功152例(91.6%), 失访14例。随访期间, 患者纽约心脏病协会(NYHA)心功能分级I~II级占比从术前的30.0%提升至86.8%, 差异具有统计学意义($P < 0.05$); 左心室射血分数从术前(50.6% \pm 9.8%)改善至术后(50.9% \pm 8.4%), 主动脉瓣平均跨瓣压差维持在(14.2 \pm 7.6) mmHg。随访期间, 全因死亡19例(12.5%), 脑卒中18例(11.8%), 肾功能不全17例(11.2%), 永久起搏器植入4例(2.6%)。结论: 经心尖TAVI治疗重度AS患者具有较好的临床疗效, 能显著改善患者心功能状态, 虽存在一定并发症发生率, 但整体安全性可控, 可作为高危重度AS患者的有效治疗选择。

关键词

经心尖经导管主动脉瓣植入术, 重度主动脉瓣狭窄, 临床疗效, 随访研究

Efficacy and Follow-Up Study of Transapical TAVI in the Treatment of Patients with Severe Aortic Stenosis

Jianhao Hu, Yuyong Liu*

The Department of Cardiovascular and Vascular Surgery, The First Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei Anhui

*通讯作者。

Abstract

Objective: To explore the clinical efficacy, safety, and long-term prognosis of transapical transcatheter aortic valve implantation (TA-TAVI) in the treatment of patients with severe aortic stenosis (AS), and to provide practical references for clinical application. **Methods:** The clinical data of 166 patients with severe AS who underwent TA-TAVI treatment at the First Affiliated Hospital of Anhui Medical University from January 2022 to June 2025 were retrospectively analyzed. Baseline characteristics and surgical-related indicators of the patients were collected. Regular follow-ups were conducted after the operation, with a follow-up rate of 91.6%. The improvement of cardiac function, occurrence of complications, and survival status of the patients during the follow-up period were observed. Data were processed using SPSS 25.0 statistical software. Quantitative data were expressed as $\bar{x} \pm s$ and qualitative data were expressed as the number (percentage). **Results:** Among the 166 patients, the surgical success rate was 100%, and no patients were converted to open surgery. Postoperative follow-up (24.0 ± 12.0) months, 152 cases (91.6%) were successfully followed up, and 14 cases were lost to follow-up. During the follow-up period, the proportion of patients with New York Heart Association (NYHA) cardiac function classification from grade I to II increased from 30.0% before the operation to 86.8%. The difference was statistically significant ($P < 0.05$); the left ventricular ejection fraction improved from ($50.6\% \pm 9.8\%$) before the operation to ($50.9\% \pm 8.4\%$) after the operation, and the average transvalvular pressure difference of the aortic valve remained at (14.2 ± 7.6) mmHg. During the follow-up period, there were 19 cases of all-cause death (12.5%), 18 cases of stroke (11.8%), 17 cases of renal insufficiency (11.2%), and 4 cases of permanent pacemaker implantation (2.6%). **Conclusion:** TA-TAVI for treating patients with severe AS has good clinical efficacy, can significantly improve the cardiac function status of patients, although there is a certain incidence of complications, the overall safety is controllable, and it can be an effective treatment option for high-risk patients with severe AS.

Keywords

Transapical Transcatheter Aortic Valve Implantation, Severe Aortic Stenosis, Clinical Efficacy, Follow-Up Study

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. 引言

主动脉瓣狭窄(AS)是临床诊疗中十分常见的老年退行性心脏瓣膜疾病,在老年心血管瓣膜病变中发病率居高不下。其发病核心机制主要为主动脉瓣叶发生钙化、纤维化等退行性病理改变,进而造成主动脉瓣瓣口开放受限、血流通过受阻,由此直接引发左心室压力负荷持续增高、左心室舒张功能逐步受损,心脏的泵血功能受到显著影响。随着病情不断进展加重,患者可相继出现晕厥、心力衰竭等严重临床表现,病情危重时甚至会发生心源性猝死,整体疾病预后不佳。

传统外科主动脉瓣置换术(SAVR)虽一直是临床治疗主动脉瓣狭窄的经典标准术式,在瓣膜病外科治疗领域应用已久且疗效明确,但该术式存在手术创伤大、开胸操作对机体损伤明显的特点,同时对患者的全身基础状况、心肺功能及耐受能力要求较高。对于高龄主动脉瓣狭窄患者,以及合并多种慢性基础

疾病的高危人群而言, 实施传统外科手术的围术期风险会显著上升, 这也导致传统外科主动脉瓣置换术在这类特殊患者群体中的临床应用受到较大限制[1]。

经导管主动脉瓣植入术作为一种成熟的微创介入心脏瓣膜治疗技术, 突破了传统外科开胸手术的诸多局限, 凭借创伤小、术后恢复快、住院周期短等核心优势, 现已逐步成为外科手术高危、无法耐受传统开胸手术的重度主动脉瓣狭窄(AS)患者的关键治疗方案, 在老年重症瓣膜病的临床治疗中占据着愈发重要的地位。该术式能够有效改善患者心脏血流动力学指标, 显著减轻因瓣口狭窄引发的心脏负荷异常, 同时可快速缓解胸闷、胸痛、呼吸困难、活动耐量下降等典型临床症状, 在提升患者术后生存质量、改善远期活动能力等方面均展现出确切且显著的治疗效果。

TA-TAVI 作为经导管主动脉瓣植入术中极具临床价值的重要术式之一, 凭借其独特的入路方式具备多项不可替代的优势。该术式全程无需使心脏停搏, 可在心脏正常跳动状态下完成操作, 同时无需建立体外循环, 有效规避了体外循环相关的凝血、炎症反应及脏器损伤等风险; 此外, 经心尖入路使得瓣膜输送装置至主动脉瓣的路径更短, 术中瓣膜定位与释放的同轴性更佳, 术者对介入器械的操控性更强, 能够更精准地完成瓣膜植入。尤为重要的是, 这一术式完全不受患者外周动脉狭窄、动脉迂曲或血管条件差等解剖因素的限制, 为外周血管条件不佳、不适合经股动脉等常规入路的重度主动脉瓣狭窄患者提供了安全可行的治疗选择。目前在国内仍是主要的 TAVI 手术路径之一。

本研究回顾性分析本院 166 例接受经心尖 TAVI 治疗的重度 AS 患者的临床资料, 并进行长期随访(随访率 91.6%), 重点观察患者手术疗效、并发症发生及心功能恢复情况, 为经心尖 TAVI 在临床的推广应用提供真实世界的实践数据支持。

2. 资料与方法

2.1. 研究对象

回顾性选取安徽医科大学第一附属医院 2022 年 1 月至 2025 年 6 月收治的 166 例重度 AS 患者, 所有患者均接受经心尖 TAVI 治疗。纳入标准: ① 符合重度 AS 诊断标准: 主动脉瓣峰值流速 ≥ 4.0 m/s, 或平均跨瓣压差 ≥ 40 mmHg, 或主动脉瓣口面积 ≤ 1.0 cm², 或有效瓣口面积指数 ≤ 0.6 cm²/m²; ② 纽约心脏病协会(NYHA)心功能分级 II~IV 级; ③ 无外科手术根治指征或拒绝外科手术, 符合经心尖 TAVI 手术适应证; ④ 临床资料完整, 能够配合完成术后随访。排除标准: ① 合并中度及以上其他瓣膜病变、梗阻性肥厚型心肌病、先天性心脏病; ② 急性心肌梗死病史(距手术时间 < 6 个月)、持续性心房颤动、甲状腺功能亢进及既往人工瓣膜植入史; ③ 终末期肾病、严重肝肾功能不全、凝血功能障碍; ④ 近 6 个月内有脑卒中病史; ⑤ 左心室射血分数(LVEF) $< 20\%$; ⑥ 无法配合随访或随访资料不完整者。

2.2. 手术方法

所有患者术前均予以调整心功能、控制血压血糖等对症治疗, 完善超声心动图、心电图、头颅 CT、冠状动脉 CT 血管造影或冠脉造影、胸腹主动脉 CT 血管造影等检查, 由心外科医师、麻醉科医师、心脏超声室医师组成的手术团队对患者进行术前评估, 确定手术方案及瓣膜型号。本研究所有患者均统一使用国产杰成经导管主动脉瓣瓣膜系统完成手术。

手术过程:

麻醉与暴露: 患者取平卧位, 行全身麻醉及双腔气管插管。于左侧胸前区第 5 或第 6 肋间作一长约 5~7 cm 的小切口, 逐层进入胸腔, 切开心包并悬吊, 充分暴露心尖。

心尖荷包缝合: 在左心室心尖搏动最明显处, 用 3-0 Prolene 线进行双层荷包缝合, 并于中心穿刺。

导丝建立路径: 在 X 射线透视及经食道超声心动图引导下, 置入导丝, 使其跨越病变的主动脉瓣口

进入升主动脉。随后交换为超硬导丝, 建立稳固的输送轨道。

球囊预扩张: 对所有患者均进行球囊主动脉瓣成形术, 以预扩张钙化的瓣环, 便于瓣膜植入。

瓣膜尺寸选择与植入: 根据术前心脏计算机断层血管成像(CTA)精确测量的主动脉瓣环径等参数, 选择合适尺寸的瓣膜。将装载好瓣膜的输送系统沿超硬导丝送至主动脉瓣环处, 在快速心室起搏下精准释放瓣膜。

效果评估与撤出: 瓣膜释放后, 立即行主动脉根部造影和经食道超声检查, 评估瓣膜位置、功能、跨瓣流速、瓣周漏情况及冠状动脉是否通畅。确认结果满意后, 撤出输送系统, 收紧并结扎心尖荷包, 逐层关胸。

2.3. 随访方法

术后采用门诊随访、电话随访相结合的方式定期进行随访, 随访起始时间为术后 1 个月, 之后每 3 个月随访 1 次, 平均随访(24.0 ± 12.0)个月。随访内容包括: 患者临床症状(如胸闷、气短、晕厥等)、NYHA 心功能分级、超声心动图检查(测量主动脉瓣跨瓣流速、跨瓣压差、左心室射血分数等指标)、并发症发生情况(如瓣周漏、房室传导阻滞、心肌梗死、脑卒中、感染等)及生存情况。本次研究共随访 166 例患者, 随访成功 152 例(91.6%), 14 例患者失访(失访原因包括患者自行退出、联系方式变更、异地居住等)。

2.4. 统计学方法

采用 SPSS 25.0 统计软件进行数据处理。符合正态分布的计量资料以均数 ± 标准差($\bar{x} \pm s$)表示, 术前与术后随访指标比较采用配对 t 检验; 计数资料以例数(百分比)[n (%)]表示, 比较采用 χ^2 检验。P < 0.05 为差异具有统计学意义。

3. 结果

3.1. 患者基线资料

166 例患者中, 男性 100 例(60.2%), 女性 66 例(39.8%); 年龄 44~91 岁, 平均年龄(71.8 ± 7.2)岁; BMI (22.6 ± 3.4) kg/m²。合并基础疾病情况: 高血压 80 例(48.2%)、糖尿病 9 例(5.4%)、冠心病 72 例(43.4%)、心房颤动 22 例(13.3%)、外周血管病史 32 例(19.3%)、高脂血症 33 例(19.9%)、贫血 28 例(16.9%)、慢性阻塞性肺疾病 6 例(3.6%); 既往心脏手术史 17 例(10.2%), 包括冠心病支架植入、房缺封堵、冠状动脉搭桥术(CABG)、腔内隔绝术等。

术前 NYHA 心功能分级: I~II 级 50 例(30.0%), III~IV 级 116 例(70.0%); 术前超声心动图检查: 左心室射血分数(50.6% ± 9.8%), 主动脉瓣平均跨瓣压差(14.2 ± 7.6) mmHg; EuroSCORE II 评分(8.73% ± 1.36%), 提示患者整体手术风险较高。具体基线资料详见表 1。

Table 1. Baseline data of 166 patients who underwent transapical transcatheter aortic valve implantation (TAVI)

表 1. 166 例经心尖 TAVI 患者基线资料

基线指标	数值[n (%)/ $\bar{x} \pm s$]
性别(男/女)	100/66 (60.2/39.8)
年龄(岁)	71.8 ± 7.2 (44~91)
BMI (kg/m ²)	22.6 ± 3.4
合并高血压	80 (48.2)

续表

合并糖尿病	9 (5.4)
合并冠心病	72 (43.4)
合并心房颤动	22 (13.3)
合并外周血管病	32 (19.3)
既往心脏手术史	17 (10.2)
术前 NYHA 分级	I-II 级: 50 (30.0); III-IV 级: 116 (70.0)
术前左心室射血分数(%)	50.6 ± 9.8
术前平均跨瓣压差(mmHg)	14.2 ± 7.6
EuroSCORE II (%)	8.73 ± 1.36

3.2. 手术相关指标

166 例患者中, 所有患者均顺利完成经心尖 TAVI 手术, 手术成功率为 100%; 无患者术中中转开胸手术。手术时长(137.2 ± 44.2) min, 术后呼吸机辅助时间(16.3 ± 24.2) h, 术后 ICU 停留时间(1.9 ± 1.9) d, 术后住院时间(9.5 ± 6.1) d。术后二次入 ICU 8 例(4.8%), 主要原因包括肺部感染、心功能不全; 术后输血 25 例(15.1%), 均为术中或术后少量输血(<400 ml)。无术中死亡病例。

3.3. 随访结果

3.3.1. 心功能改善情况

随访成功的 152 例患者中, 心功能均较术前明显改善。NYHA 心功能分级 I~II 级患者占比从术前的 30.0% 提升至随访末期的 86.8% (132/152 例), 差异具有统计学意义($\chi^2 = 98.64, P < 0.001$); 术后随访末期, 患者左心室射血分数(50.9% ± 8.4%), 较术前略有提升; 主动脉瓣平均跨瓣压差维持在(14.2 ± 7.6) mmHg, 提示瓣膜功能良好。具体心功能指标变化详见表 2。

Table 2. Comparison of cardiac function indicators before surgery and at the end of follow-up for patients with successful follow-up

表 2. 随访成功患者术前与随访末期心功能指标比较

心功能指标	术前	随访末期	t 值	P 值
平均跨瓣压差(mmHg)	14.2 ± 7.6	14.2 ± 7.6	0.32	0.751
左心室射血分数(%)	50.6 ± 9.8	50.9 ± 8.4	2.15	0.034
NYHA 分级 I~II 级占比(%)	30.0	86.8	98.64	<0.001

3.3.2. 并发症发生情况

随访期间, 152 例患者中, 共出现各类并发症 57 例次, 总发生率为 37.5%。其中:

神经系统并发症: 脑卒中 18 例(11.8%), 其中缺血性脑卒中 15 例, 出血性脑卒中 3 例, 经对症治疗后 12 例恢复良好, 6 例遗留轻度神经功能障碍;

肾功能损害: 肾功能不全 17 例(11.2%), 其中 8 例需临时血液透析治疗, 9 例经药物治疗后肾功能恢复;

心律失常: 需永久起搏器植入 4 例(2.6%), 均为术后III度房室传导阻滞; 新发心律失常 4 例(2.6%), 经药物治疗后控制;

心血管事件: 心力衰竭 6 例(3.9%), 心肌梗死 1 例(0.7%), 血管疾病 1 例(0.7%);

其他: 出血事件 2 例(1.3%), 均为消化道少量出血, 经保守治疗后止血; 术后再干预 4 例(2.6%), 包括瓣中瓣植入 2 例, 球囊扩张 2 例。

3.3.3. 生存情况

随访期间, 152 例患者中, 存活 133 例, 全因死亡 19 例(12.5%)。死亡原因包括: 严重心力衰竭、多器官功能衰竭、脑出血、感染性休克、急性心肌梗死等。

4. 讨论

重度主动脉瓣狭窄(AS)作为心脏瓣膜疾病中老年人群高发的严重类型, 其临床危害与病理生理机制均具有显著的复杂性与危险性。从病理生理角度来看, 主动脉瓣狭窄是引发该疾病一系列心脏功能损伤的核心病因, 当主动脉瓣发生狭窄时, 左心室向主动脉射血的阻力会显著增加, 这种长期的压力负荷过载会促使左心室出现代偿性肥厚, 以试图维持正常的射血功能。然而, 肥厚的左心室会逐渐出现心肌细胞结构重塑、舒张顺应性下降等问题, 进而导致舒张功能受损, 随着病情的持续进展, 心脏的收缩与舒张功能均会出现不可逆的损伤, 最终发展为心力衰竭, 这一病理过程会不断侵蚀患者的心脏功能, 严重威胁患者的生命安全。

本研究针对的患者群体具有鲜明的临床特征, 具体数据充分体现了其高龄、高危的特点: 研究对象的平均年龄为(71.8 ± 7.2)岁, EuroSCORE II 评分作为国际公认的心脏手术风险评估工具, 其平均得分为(8.73% ± 1.36%), 同时, 70.0%的患者术前 NYHA 心功能分级处于 III~IV 级。这一系列数据清晰表明, 本研究的研究对象以高龄且心功能状况较差的高危重度 AS 患者为主。

对于这类高龄、高危的重度 AS 患者而言, 传统的外科主动脉瓣置换术(SAVR)因手术创伤大、麻醉风险高、术后恢复周期长等局限性, 往往难以耐受, 手术相关的并发症发生率与死亡率也会显著升高, 临床治疗面临着极大的挑战。而在此背景下, 经心尖经导管主动脉瓣置换术作为一种微创介入治疗手段, 凭借其创伤小、操作路径简便、术后恢复周期短的独特优势, 成功成为了这类无法耐受传统外科手术的高龄高危重度 AS 患者的重要治疗选择, 为该类患者的临床治疗提供了新的有效途径与希望。

本研究显示, 经心尖 TAVI 手术在高危患者中具有较好的可行性[2]。手术时长(137.2 ± 44.2) min, 术后住院时间(9.5 ± 6.1) d, 较传统外科手术明显缩短, 体现了微创手术的优势。术后随访显示, 患者心功能显著改善, NYHA I~II 级比例从 30.0%提升至 86.8%, 左心室射血分数略有改善, 表明经心尖 TAVI 能有效解除主动脉瓣狭窄, 改善患者血流动力学状态和临床症状。

瓣膜型号选择方面, 本研究中 29 号瓣膜使用最多(77 例, 46.4%), 27 号瓣膜次之(34 例, 20.5%), 与国人主动脉根部解剖特点相符。

本研究随访期间总并发症发生率为 37.5%, 全因死亡率 12.5%, 与国内外多中心研究结果基本一致[3]-[5]。值得注意的是:

脑卒中发生率 11.8%, 略高于部分文献报道。结合手术路径分析, 可能与以下操作相关: ① 心尖穿刺及输送系统进出左心室时, 可导致左心室腔内钙化斑块、左心室血栓碎屑脱落; ② 经心尖路径器械操控幅度相对较大, 快速心室起搏期间瓣膜释放瞬间可能产生微栓塞; ③ 本队列高龄、合并冠心病与外周血管病比例高, 本身属于卒中高危亚群。提示未来应强化术中脑保护策略, 包括常规使用栓塞保护装置、加强术中超声监测、优化球囊扩张与瓣膜释放时序, 以进一步降低神经系统事件风险。

肾功能损害发生率 11.2%, 主要与术中低血压、造影剂肾损伤、基础肾功能不全有关。术前充分水

化、选择等造影剂、术中维持稳定血流动力学,可能有助于减少肾功能损害。

永久起搏器植入率为 2.6%,显著低于经股动脉 TAVI 文献报道水平。其核心机制在于:经心尖入路的瓣膜输送系统沿心尖-左心室腔-主动脉瓣长轴直接推进,同轴性好、对主动脉瓣环及膜周部传导束的机械挤压、牵拉与刺激显著更轻,不易损伤房室结及左束支区域;同时术中无需在左心室流出道反复深插、调整器械,进一步降低了传导系统受损风险。这一结果印证了经心尖 TAVI 在保护心脏传导系统方面的独特优势,对于术前存在束支阻滞、高龄、瓣叶钙化重的高危患者更具临床价值。

5. 研究局限性

本研究存在一定局限性:①为单中心回顾性研究,样本量虽达 166 例,但可能存在选择偏倚;②随访时间(24.0 ± 12.0)个月,未能观察患者 5 年以上长期生存及瓣膜耐久性情况;③未设置传统外科手术对照组,无法直接比较两种术式的优劣;④部分并发症诊断标准依赖临床判断,可能存在一定主观性。后续研究应开展多中心、前瞻性对照研究,延长随访时间,进一步验证经心尖 TAVI 的长期疗效和安全性。

6. 结论

综上所述,经心尖 TAVI 治疗高龄、高危重度 AS 患者具有较好的临床疗效和可控的安全性,能显著改善患者心功能状态,降低手术创伤,缩短住院时间。尽管存在一定并发症发生率,但通过完善术前评估、优化手术操作、加强术后管理,可进一步提高手术安全性。因此,经心尖 TAVI 可作为高危重度 AS 患者的有效治疗选择,尤其适用于外周血管条件差、无法行经股动脉 TAVI 的患者,值得在临床推广应用。

声 明

本研究方案已通过本院伦理委员会的审查与批准。本研究为回顾性分析,经伦理委员会审议,批准豁免签署知情同意书。所有患者数据均进行匿名化处理,严格保密,仅用于本次科研目的,完全遵循《赫尔辛基宣言》的伦理准则。

参考文献

- [1] Ahmad, K., Mentias, A., Imran, H., Elbadawi, A., Hyder, O., Gordon, P., Sharaf, B. and Saad, M. (2023) Transcatheter Aortic Valve Replacement in Special Populations. *Reviews in Cardiovascular Medicine*, **24**, 49. <https://doi.org/10.31083/j.rcm2402049>
- [2] Casado, A.P., Barili, F., D'Auria, F., Raviola, E., Parolari, A., Le Houérou, D. and Romano, M. (2021) Midterm Outcomes of Transaortic and Transapical TAVI in Patients with Unsuitable Vascular Anatomy for Femoral Access: A Propensity Score Inverse Probability Weight Study. *Journal of Cardiac Surgery*, **36**, 872-878. <https://doi.org/10.1111/jocs.15313>
- [3] Moretti, C., D'Amico, M., D'Ascenzo, F., Colaci, C., Salizzoni, S., Tamburino, C., Presbitero, P., Marra, S., Sheiban, I. and Gaita, F. (2014) Impact on Prognosis of Periprocedural Bleeding after TAVI: Mid-Term Follow-Up of a Multicenter Prospective Study. *Journal of Interventional Cardiology*, **27**, 293-299. <https://doi.org/10.1111/joic.12115>
- [4] Yu, C.W., Kim, W.-J., Ahn, J.-M., Kook, H., Kang, S.H., Han, J.-K., Ko, Y.-G., Choi, S.-H., Koo, B.-K., Chang, K. and Kim, H.-S. (2018) Trends and Outcomes of Transcatheter Aortic Valve Implantation (TAVI) in Korea: The Results of the First Cohort of Korean TAVI Registry. *Korean Circulation Journal*, **48**, 382-394. <https://doi.org/10.4070/kcj.2018.0117>
- [5] Kapadia, S.R., Svensson, L.G., Roselli, E., Schoenhagen, P., Popovic, Z., Alfirevic, A., Barzilai, B., Krishnaswamy, A., Stewart, W., Mehta, A., Lal Poddar, K., Parashar, A., Modi, D., Ozkan, A., Khot, U., Lytle, B.W. and Murat Tuzcu, E. (2014) Single Center TAVR Experience with a Focus on the Prevention and Management of Catastrophic Complications. *Catheterization & Cardiovascular Interventions*, **84**, 834-842. <https://doi.org/10.1002/ccd.25356>