

四叶主动脉瓣患者经导管主动脉瓣置换术中冠状动脉保护一例

陈志鹏, 杨 栋, 张 涵

昆明医科大学附属延安医院心内科, 云南 昆明 650021

[摘要] 一例72岁四叶主动脉瓣患者因瓣膜重度狭窄伴中度关闭不全行经导管主动脉瓣置换术治疗,术中按原计划对右冠状动脉进行保护,人工瓣膜释放后发现左冠状动脉受到阻挡,改为在血管内超声指导下于左冠状动脉开口植入冠状动脉保护支架。提示四叶主动脉瓣患者行经导管主动脉瓣置换术除在术前了解主动脉根部情况以外,还应该警惕术中由人工瓣膜架推移造成的冠状动脉阻塞。



[关键词] 经导管主动脉瓣置换术;四叶主动脉瓣;血管内超声;冠状动脉保护;冠状动脉阻塞;病例报告

[中图分类号] R542.5+2 [文献标志码] A

A case of coronary artery protection in transcatheter aortic valve replacement of quadricuspid aortic valve

CHEN Zhipeng, YANG Dong, ZHANG Han (Department of Cardiology, Yan'an Hospital Affiliated to Kunming Medical University, Kunming 650021, China)

Corresponding author: YANG Dong, E-mail: yd707@163.com, ORCID: 0009-0002-7751-7086

[Abstract] A 72-year-old patient with quadricuspid aortic valve underwent transcatheter aortic valve replacement due to severe valve stenosis accompanied by moderate insufficiency. As initially planned, the right coronary artery was protected during the procedure. However, after the artificial valve was released, the left coronary artery was found to be blocked, so a coronary protection stent was implanted in the left coronary artery ostium under the guidance of intravascular ultrasonography. This case indicates that for patients with a quadricuspid aortic valve undergoing transcatheter aortic valve replacement, in addition to preoperative measurement of the aortic root,

收稿日期(Received):2024-08-27 修改返回日期(Revised):2025-01-19 接受日期(Accepted):2025-03-02 网络预发表日期(Online):2025-03-15

第一作者(First author):陈志鹏,主治医师,主要从事结构心脏病学研究;E-mail:redfulcrum@sina.com;ORCID:0000-0003-3532-0285

通信作者(Corresponding author):杨 栋,主任医师,硕士生导师,主要从事结构心脏病学研究;E-mail:yd707@163.com;ORCID:0009-0002-7751-7086

attention should also be paid to the coronary artery obstruction caused by the displacement of the artificial valve frame during the procedure.

[**Key words**] Transcatheter aortic valve replacement; Quadricuspid aortic valve; Intravascular ultrasound; Coronary protection; Coronary artery obstruction; Case report

[J Zhejiang Univ (Med Sci), 2025, 54(2): 161-166.]

[**缩略语**] 经导管主动脉瓣置换术(transcatheter aortic valve replacement, TAVR); 计算机断层扫描(computed tomography, CT)

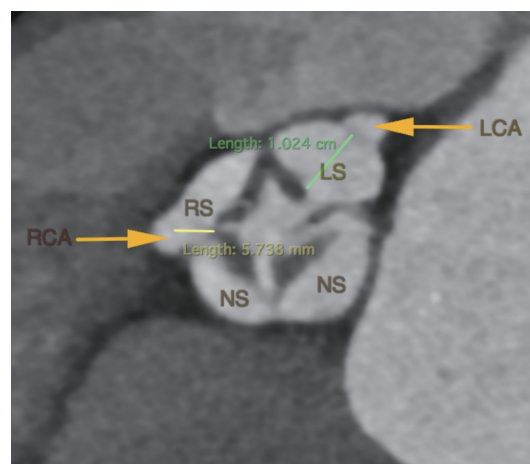
四叶主动脉瓣是一种罕见的畸形,发病率为0.003%~0.043%,通常表现为孤立的先天性畸形,常表现为四个大小均匀的瓣叶,由于大多数患者无症状或仅表现为轻微反流,早期较难发现^[1]。TAVR是外科高危患者主动脉瓣病变的首选治疗方法,冠状动脉(简称冠脉)阻塞在TAVR中发生率约为3%,是严重并发症之一^[2]。冠脉阻塞通常在瓣膜释放后突然出现,导致心脏瞬时循环崩溃,患者病死率约为40%^[3]。因此,预判冠脉阻塞的风险及预先做好保护措施以保证TAVR的安全显得尤为重要。有研究显示,冠脉支架预埋的安全性高于仅使用冠脉导丝预埋^[4]。虽然有冠脉保护手段,但相比其他心血管介入手术,TAVR涉及更大的心脏及大血管结构,手术的容错率较低,并发症的出现往往迅速导致最严重的后果,难以逆转。因此,如何识别可能发生冠脉阻塞的患者,术前预测和准备格外重要。CT能提供较为精准的主动脉根部结构影像,是TAVR前主要的分析和评估手段^[5]。如何利用好术前CT检查资料准确预测冠脉开口阻塞风险,需要不断积累经验。本文报道在一例四叶主动脉瓣患者TAVR中进行补救式的冠脉保护,以期为临床上TAVR中有效预估可能出现的冠脉阻塞提供参考经验。

1 病历摘要

患者女性,72岁,身高157 cm,体重55 kg,因“劳力性胸闷气促3年,加重伴晕厥2周”于2022年4月22日收入昆明医科大学附属延安医院。心脏超声提示主动脉瓣重度狭窄伴中度关闭不全,主动脉峰值流速为470 cm/s,峰值压差为88 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa),瓣口面积约为0.65 cm²,平均压差为48 mmHg,左心室舒张末容积为112 mL,左心室舒张末直径为49 mm,左心室射血分数为

59%。

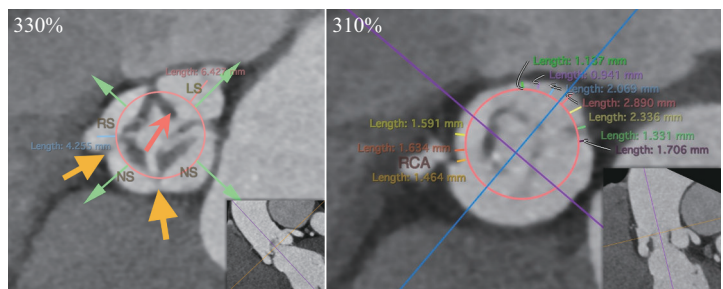
术前CT显示主动脉瓣为罕见的四叶主动脉瓣:四个均匀大小的四叶瓣,左冠状窦相对较大,右冠状窦较小(图1)。根据CT测量的瓣环大小,瓣环周长为6.912 cm,直径为2.387 cm×1.645 cm;主动脉窦管交界周长为8.855 cm,直径为2.716 cm;左、右半月瓣增厚、冗长,右冠脉开口高度为1.181 cm。按照瓣膜尺寸预估使用21~24 mm人工瓣膜。根据术前CT图像,考虑患者两个无冠状窦与右冠状窦间形成粘连,预估人工瓣膜植入后会向左、右冠状窦偏移(图2),增加冠脉阻塞风险,遂计划选择21 mm人工瓣膜(VitaFlow经导管主动脉瓣及可回收输送系统,TAV21,中国上海微创医疗器械有限公司)。且术前考虑右冠脉开口较低、右冠状窦较小,因此决定在右冠脉保护下进行TAVR。



四叶瓣均匀分布,左冠状窦相对较大,右冠状窦较小。RCA:右冠状动脉;LCA:左冠状动脉;LS:左冠状窦;RS:右冠状窦;NS:无冠状窦;CT:计算机断层扫描。

图1 患者四叶主动脉瓣CT重建

Figure 1 CT reconstruction of quadricuspid aortic valve



红色圆圈模拟 21 mm 瓣膜植入后的位置,黄色箭头显示瓣叶粘连的部位,红色箭头显示由于瓣叶粘连可能对经导管主动脉瓣置换术瓣膜推移的方向,绿色箭头代表人工瓣膜膨胀方向,右图红色圆圈外彩色线条为预估人工瓣膜植入后人工瓣架与窦管交界残余的距离.左上角数据为放大倍数.LS:左冠状窦;RS:右冠状窦;NS:无冠状窦;CT:计算机断层扫描.

图2 人工瓣植入位置的术前CT预评估

Figure 2 Preoperative CT evaluation of the implantation position

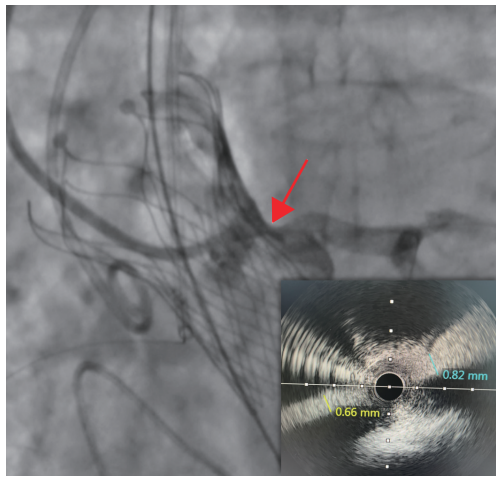
术中选择 18 mm 球囊进行预扩张,双侧冠脉显影尚可,提示瓣膜植入后冠脉完全阻塞风险小。18 mm 球囊几乎封堵瓣口,无明显反流,预计 21 mm 瓣膜能够较好封堵反流。在右冠脉保护下释放 21 mm 瓣膜,瓣膜释放后右冠脉灌注血流通畅,但左冠脉开口疑似阻塞,决定对左冠脉行补救性保护(JL3.5 指引导管及冠脉导丝经开窗路径进入左冠脉)。送入冠脉血管内超声检查以判断冠脉开口情况,提示竖起的原左冠状瓣与主动脉窦管交界围成了 0.66~0.82 mm 的缝隙,导致了左冠脉灌注血流受阻(图3)。因此,决定在左冠脉植入 4.0 mm×19.0 mm 冠脉保护支架。冠脉支架

植入后复查血管内超声显示,人工瓣叶与原生瓣叶围成的缝隙增至 2.78 mm,左冠脉开口灌注有所改善(图4)。

术后经导管同步测压,压差由术前 70 mmHg 下降至 0 mmHg;术中经食管超声心动图检查显示人工瓣膜瓣环直径为 18 mm×20 mm,瓣口面积为 2.3 mm²,位置固定,无瓣周漏,瓣膜形态良好,再次通过血管内超声评估左冠脉开口面积显示已恢复至 12.76 mm²,患者生命体征平稳。患者术后随访亦未见明显冠脉阻塞。术后 2 个月复查心脏超声显示,平均压差为 12 mmHg,左心室射血分数为 62%,左心室舒张末容积为 92 mL,左心室舒张末直径为 45 mm,大动脉水平未见明显反流,人工主动脉瓣功能未见异常。术后 3 个月复查 CT 证实 TAVR 瓣膜更靠近左冠状窦,导致左冠脉开口受阻,而右冠状窦残余空间尚可(图5)。

2 讨论

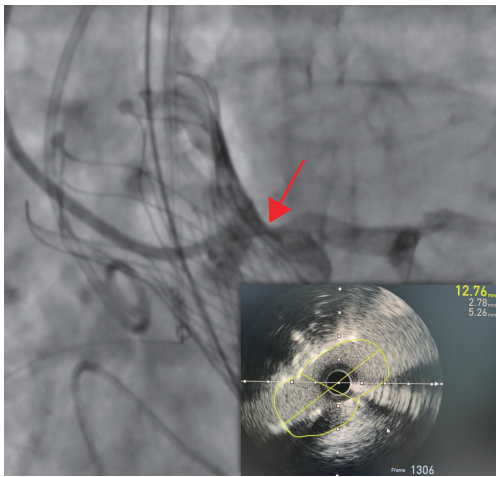
相较于二叶瓣和三叶瓣,瓣叶数增加使主动脉窦的空间变小^[6]。四叶主动脉瓣的特殊解剖结构对 TAVR 的影响更为复杂和难以预测。本例患



人工瓣架与主动脉窦管交界形成狭窄缝隙.红色箭头指示血管内超声截面位置.

图3 瓣膜释放后左冠状动脉开口血管内超声及冠状动脉造影结果

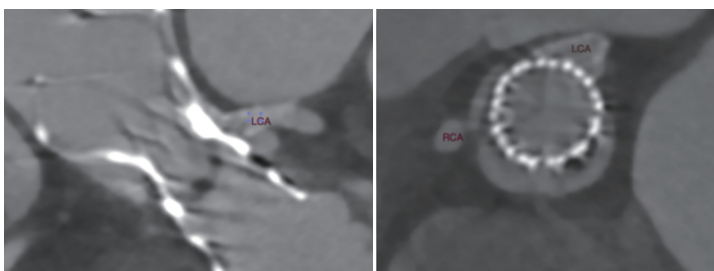
Figure 3 Intravascular ultrasonograph and angiograph of left coronary ostium after valve release



人工瓣架与主动脉窦管交界间空间扩大,冠状动脉灌注得到改善.红色箭头指示血管内超声截面位置.

图4 冠状动脉支架植入后血管内超声和冠状动脉造影结果

Figure 4 Intravascular ultrasonograph and coronary angiograph after coronary stent implantation



植入的瓣膜位置与术前预判相符. RCA:右冠状动脉;LCA:左冠状动脉;CT:计算机断层扫描.

图5 术后3个月冠状动脉CT影像

Figure 5 Three-month postoperative coronary CT findings

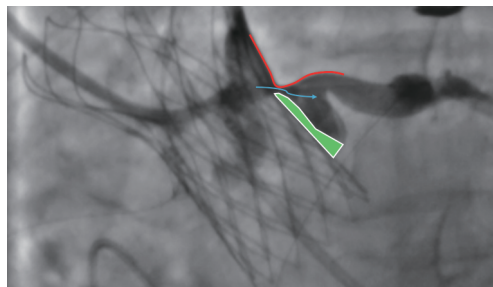
者TAVR前预估其右冠脉阻塞风险较高,但瓣膜植入导致左冠脉出现较高的冠脉阻塞风险。

自TAVR式问世以来,如何在术前准确评估冠脉阻塞风险一直是临床实践中颇具挑战性的难题。目前各指南均推荐术前进行CT检查,并在此基础上进行TAVR策略规划和风险评估,许多商业软件也针对TAVR开发了成熟简洁的流程化测量,包括冠脉风险的评估^[7]。一项大型多中心研究显示,大多数冠脉阻塞患者冠脉开口高度低于12 mm,主动脉窦直径小于30 mm^[3]。因此,早期专家共识推荐根据患者术前CT测量的冠脉开口高度和主动脉窦管交界大小评估冠脉阻塞风险^[8]。临床上发现,部分患者即使冠脉开口高于推荐的数值,仍然出现冠脉阻塞;而部分患者虽然冠脉开口远低于推荐高度,仍在瓣膜释放后保障了良好的冠脉供血。因此,单纯依靠测量冠脉开口高度及主动脉窦管交界大小并不能准确预估所有患者的冠脉阻塞风险。

冠脉起源于主动脉窦内,这些开口通常处于原生瓣叶后方。在左心室射血期,动脉瓣连合移位,形成充分开放的三角形主动脉瓣口,即使在最大收缩时,叶瓣也不会扁平贴在窦壁上^[9]。TAVR改变了这种原有解剖结构,植入的人工瓣金属支架将原生瓣叶掀起并固定于主动脉窦内,血流需要跨越原生瓣叶与主动脉窦管交界部位灌注入主动脉窦,再由主动脉窦灌注到冠脉开口(图6),原有瓣膜会被推向人工瓣瓣架的外侧,使其向窦壁靠拢,冠脉开口被阻塞于人工瓣瓣架与主动脉窦管交界围合成的狭长空间(图7),亦有部分研究称其为“新窦”^[10]。该空间可容纳原有瓣叶,冠脉开口亦由此发出,在TAVR中其大小及原生瓣叶最后所处的位置决定了人工瓣膜植入后冠脉

的灌注情况^[11]。在TAVR中,人工瓣膜在释放过程中特别是最终脱钩释放阶段,瓣架都会因为应力变化而发生轴向变化,处在瓣架外的原生瓣叶也随之改变位置,可能导致发出冠脉的主动脉窦封闭,从而造成冠脉阻塞。

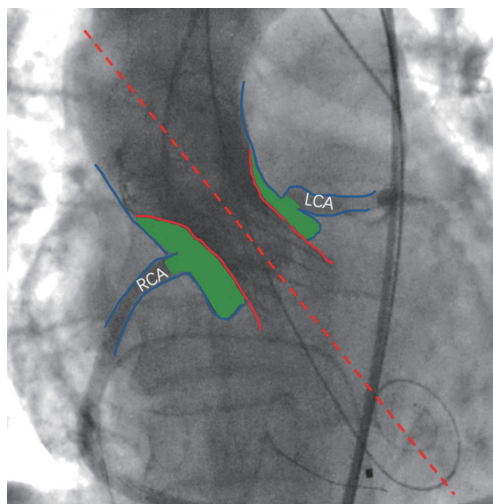
相比位于大弯侧的右冠脉开口,位于小弯侧的左冠状瓣外空间更为狭小。因此,左冠脉更容易发生由原瓣膜造成的冠脉开口阻塞,左冠脉阻塞发生率占有冠脉阻塞的88.6%^[3]。瓣叶的腰身设计虽然有助于降低冠脉开口阻塞的风险,但在主动脉窦管交界相对较小、瓣叶较



红色线条为主动脉窦管交界;绿色为竖起的原生主动脉瓣叶;蓝色箭头为冠状动脉灌注方向.

图6 冠状动脉阻塞的冠状动脉造影示意图

Figure 6 Coronary angiography of coronary occlusion



红色线条为人工瓣叶边缘,绿色部分显示人工瓣与主动脉围合形成的新窦,蓝色线条为窦管交界,红色虚线为主动脉轴向. TAVR:经导管主动脉瓣置换术;RCA:右冠状动脉;LCA:左冠状动脉;CT:计算机断层扫描.

图7 TAVR瓣植入后的冠状动脉窦CT影像

Figure 7 Coronary sinus CT imaging after TAVR

长的患者中冠脉阻塞的风险较大,即使用球囊扩张型主动脉瓣这类瓣架较短的人工瓣膜(瓣架成筒状,无明显收腰设计)也可能导致冠脉阻塞的发生^[6]。有研究显示,球囊扩张式瓣膜甚至存在更高的冠脉阻塞风险^[3]。

因此,有必要进一步认识TAVR对原有主动脉根部结构的改变,判断TAVR中可能出现的冠脉阻塞,不能仅依靠术前根部的测量数据,还需要结合术前CT对所植入人工瓣膜植入的位置进行预估,预判植入后冠脉的灌注空间是否充足,结合更多的预测性分析及对TAVR后解剖变化进行综合判断。术中应时刻观察人工瓣架外空间的情况。在术中出现冠脉阻塞后的补救措施中,若冠脉完全无显影、患者生命体征不稳定,应立即进行补救性冠脉支架保护。对于疑似冠脉阻塞的患者,若生命体征相对平稳,血管内超声或其他血管腔内技术可以辅助判断是否需要植入冠脉保护支架(图8)。

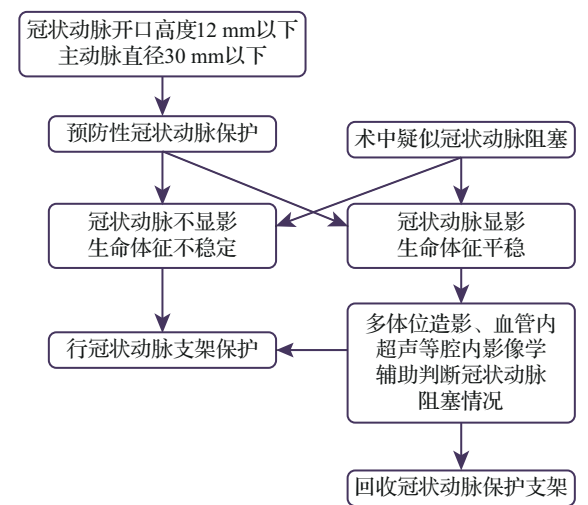


图8 冠状动脉阻塞处理流程

Figure 8 Coronary artery obstruction treatment procedures

综上,相比三叶瓣和二叶瓣,四叶瓣的活动更为复杂;TAVR中植入的人工瓣推动原生瓣叶改变原有位置,竖起的原生主动脉瓣与主动脉窦管交界形成新的解剖空间,血流经该空间灌注到冠脉。充分理解并时刻关注该解剖关系在术中的变化,对预判冠脉阻塞风险至关重要。使用冠脉血管内超声或其他腔内影像检查有助于评估冠脉开口残余的空间,从而判断是否需要植入冠脉保护支架。此外,临床上不能仅机械地依靠术

前根部的测量数据,还需要结合更多的预测性分析及对TAVR后解剖变化的认识综合判断TAVR中可能出现的冠脉阻塞。

医学伦理 研究通过昆明医科大学附属延安医院伦理委员会审查(2017-008-01)并符合1964年《赫尔辛基宣言》及之后的修订版或类似的伦理标准。患者签署知情同意书

Ethical Approval All procedures performed in studies involving human participants were in accordance with the ethical standards of Yan'an Hospital Affiliated to Kunming Medical University (2017-008-01), and with the 1964 Helsinki declaration and its later amendments or comparable ethical standards. The participant has signed an informed consent form

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

Conflict of Interests The authors declare that there is no conflict of interests

©The author(s) 2025. This is an open access article under the CC BY-NC-ND 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

参考文献(References)

[1] GOUVEIA S, MARTINS J D F, COSTA G, et al. Quadricuspid aortic valve: 10-year case series and literature review[J]. *Rev Port Cardiol*, 2011, 30(11): 849-854.

[2] 印敏燕, 陆云涛, 魏来, 等. 经导管主动脉瓣置换术后冠状动脉阻塞的风险因素及预防研究进展[J]. *中国临床医学*, 2024, 31(1): 154-160.

YIN Minyan, LU Yuntao, WEI Lai, et al. Research progress on risk factors and prevention of coronary artery obstruction after transcatheter aortic valve replacement[J]. *Chinese Journal of Clinical Medicine*, 2024, 31(1): 154-160. (in Chinese)

[3] RIBEIRO H B, WEBB J G, MAKKAR R R, et al. Predictive factors, management, and clinical outcomes of coronary obstruction following transcatheter aortic valve implantation: insights from a large multicenter registry[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2013, 62(17): 1552-1562.

[4] GAROT P. TAVR-related coronary obstruction: preventive wires or stenting?[J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2020, 13(6): 748-750.

[5] HAN Y, RIBEIRO J M, DE JAEGERE P P T, et al. TAVR in a patient with quadricuspid aortic stenosis: the role of patient-specific computer simulation in treatment planning and outcome prediction[J/OL]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2021, 14(9): e93-e95.

[6] TAKAHASHI M, AIZAWA K, OBA Y, et al. Should

- we protect the coronary artery during transcatheter aortic valve replacement in quadricuspid valve patients?[J]. **JACC Cardiovasc Interv**, 2020, 13(12): 1492-1494.
- [7] VAHANIAN A, BEYERSDORF F, PRAZ F, et al. 2021 ESC/EACTS guidelines for the management of valvular heart disease[J]. **Eur Heart J**, 2022, 43(7): 561-632.
- [8] 周达新, 潘文志, 吴永健, 等. 经导管主动脉瓣置换术中国专家共识(2020 更新版)[J]. **中国介入心脏病学杂志**, 2020, 28(6): 301-309.
ZHOU Daxin, PAN Wenzhi, WU Yongjian, et al. Chinese expert consensus on transcatheter aortic valve replacement (2020 update)[J]. **Chinese Journal of Interventional Cardiology**, 2020, 28(6): 301-309. (in Chinese)
- [9] STANDRING S. 格氏解剖学[M]. 丁自海, 刘树伟, 译. 济南: 山东科学技术出版社, 2017: 1011
STANDRING S. **Gray's anatomy**[M]. DING Zihai, LIU Shuwei, trans. Jinan: Shandong Science & Technology Press, 2017: 1011. (in Chinese)
- [10] 胡文涛, 宋 丹, 徐承义. 经导管主动脉瓣置换术后瓣膜功能障碍与血栓形成的临床现状及治疗策略[J]. **中国心血管杂志**, 2023, 28(6): 574-578.
HU Wentao, SONG Dan, XU Chengyi. Clinical status and treatment strategies for valve dysfunction and thrombosis after transcatheter aortic valve replacement[J]. **Chinese Journal of Cardiovascular Medicine**, 2023, 28(6): 574-578. (in Chinese)
- [11] HEITKEMPER M, SIVAKUMAR S, HATOUM H, et al. Simple 2-dimensional anatomic model to predict the risk of coronary obstruction during transcatheter aortic valve replacement[J]. **J Thorac Cardiovasc Surg**, 2021, 162(4): 1075-1083.e1.
- [本文编辑 余 方 沈 敏]

· 学术动态 ·

杨帆教授团队合作成果揭示蜈蚣热感受器 BRTNaC1 离子通道的工作机制

2025年2月26日,浙江大学基础医学院杨帆教授团队联合浙江大学医学院附属第四医院苏楠楠研究员团队、东北林业大学杨仕隆教授团队在《自然·结构与分子生物学》(*Nature Structural & Molecular Biology*)发表题为“Structure and function of a broad-range thermal receptor in myriapods”的研究论文(DOI:10.1038/s41594-025-01495-8),首次解析了蜈蚣触须中新型热感受器宽域温度敏感受体1(BRTNaC1)离子通道的质子激活和热激活机制,揭示了从节肢动物到哺乳动物跨越亿年的温度感知共性。

研究聚焦蜈蚣避光行为的分子基础,发现其触须中 BRTNaC1 离子通道能通过感知太阳能触发电信号,驱动生物体快速躲避高温威胁。研究人员利用冷冻电镜技术解析了 BRTNaC1 在 pH8 和 pH4 条件下的高分辨率结构。结果显示, BRTNaC1 作为同源三聚体通道,其整体结构与酸敏感离子通道家族相似,但具有独特的甘氨酸-异亮氨酸-半胱氨酸(GIC)基序。在低 pH 值环境下,团队比较结构发现胞外质子化作用破坏 D80 与 R384 间的静电相互作用,引发跨膜区螺旋逆时针旋转,从而开启通道。这种构象变化机制揭示了 BRTNaC1 的质子敏感特性。

为揭示热激活机制,研究人员对比了 BRTNaC1 在 4 °C 与 40 °C 下的结构差异。高温诱导跨膜区逆时针旋转 3.9° 并上移 2.1 Å (1 Å=1×10⁻¹⁰ m),使通道孔径扩大从而实现离子通透。值得注意的是,研究人员早期在哺乳动物低温感受器瞬时受体电位 M8 型(TRPM8)中发现,氨基酸侧链疏水性变化可调控温度敏感性。本研究通过 D217/E218 位点突变实验验证了这一理论的普适性:当降低这两个位点的疏水性时,通道温度敏感性显著增强。证实了动态构象变化在热感知中的核心作用。

该研究不仅阐明了 BRTNaC1 的双重激活路径,更揭示了与哺乳动物 TRP 通道相似的温度响应逻辑。通过 BRTNaC1 与 TRPM8 的机制互证,为理解生命体温度感知的分子基础提供了重要线索。

浙江大学陈晓莹博士、东北林业大学袁立成博士研究生和北京深势科技有限公司温翰博士为论文第一作者。研究获国家自然科学基金等支持。