

· 综 述 · doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2026.03.037

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20251113.0857.002\(2025-11-13\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20251113.0857.002(2025-11-13))

经皮球囊压迫术中三叉神经心反射的机制及防治研究进展*

蒋坪坪¹ 董志远¹ 崔剑^{2△}

(1. 陆军军医大学第一附属医院江北院区麻醉科, 重庆 400015; 2. 陆军军医大学第一附属医院疼痛科, 重庆 400038)

[摘要] 经皮球囊压迫术(PBC)是近年来广泛应用于治疗三叉神经痛的一种微创技术,因其操作相对简便、安全性高且疗效确切而备受青睐。然而,术中可能诱发三叉神经心反射(TCR),常引起严重心动过缓、血压升高甚至心搏骤停,已成为围手术期管理中的一项重要挑战。该文基于近年来的临床研究成果,从TCR的发生机制出发,系统综述患者、手术操作及麻醉管理等因素对TCR的影响,并结合文献分析与术中实践经验,对手术流程优化、麻醉策略选择及相关预防措施进行总结与探讨,以期降低TCR发生率、提升PBC患者的围手术期安全提供参考。

[关键词] 三叉神经心反射;经皮球囊压迫术;心动过缓;心搏骤停;高血压

[中图分类号] R651.3 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2026)03-0691-06

Research progress on the mechanism and prevention/treatment of trigeminocardiac reflex during percutaneous balloon compression*

JIANG Pingping¹, DONG Zhiyuan¹, CUI Jian^{2△}

(1. Department of Anesthesiology, Jiangbei Campus, The First Affiliated Hospital of Army Medical University, Chongqing 400015, China; 2. Department of Pain Management, The First Affiliated Hospital of Army Medical University, Chongqing 400038, China)

[Abstract] Percutaneous balloon compression (PBC) is a minimally invasive technique widely used in the treatment of trigeminal neuralgia in recent years, favored due to its relative simplicity, high safety profile, and definitive efficacy. However, this procedure may intraoperatively induce the trigeminocardiac reflex (TCR), often leading to severe bradycardia, hypertension, and even cardiac arrest, which has become a significant challenge in perioperative management. Based on recent clinical research findings, this article systematically reviews the impact factors, such as patient, surgical manipulation, and anesthesia management, on TCR, and combined with literature analysis and intraoperative practical experience, it summarizes and discusses surgical procedure optimization, anesthesia strategy selection, and related preventive measures, aiming to provide a reference for reducing the incidence of TCR and enhancing perioperative safety for patients undergoing PBC.

[Key words] trigeminocardiac reflex; percutaneous balloon compression; bradycardia; cardiac arrest; hypertension

经皮球囊压迫术(percutaneous balloon compression, PBC)是近年来发展起来的一种治疗三叉神经痛的新型微创技术,该手术在X射线引导下,将微型球囊导管经穿刺针置入三叉神经半月神经节所在的麦克氏囊,随后注入造影剂使球囊膨胀,利用麦克氏囊壁的反作用力压迫半月神经节,选择性破坏痛觉传导纤维,从而达到镇痛目的。与其他介入技术相比,PBC疗效确切且费用相对较低,近年来广泛应用^[1]。

三叉神经心反射(trigeminocardiac reflex, TCR)是PBC常见的并发症,研究报道其发生率可高达54.5%,临床主要表现为心率骤降(下降幅度>20%)、心律失常,甚至心搏骤停,常导致手术被迫中断或终止^[1]。尽管多数TCR在暂停操作或撤出穿刺针后可自行缓解,但在重复刺激时仍可再次出现^[2],不仅干扰手术进程,更严重威胁患者安全,因此深入探究其发生机制并制订有效防治策略至关重要。

* 基金项目:重庆市卫生适宜推广项目(2024jstg041);陆军第九五八医院创新人才培育项目(2024YGKT035)。△ 通信作者,E-mail: cqjian211@tmmu.edu.cn。

1 TCR 概述

1.1 定义与作用机制

TCR 是刺激三叉神经所诱发的特异性心血管及自主神经反应,本质上属于一种脑干反射,其发生主要受复杂的神经反射弧及自主神经系统调节^[3]。TCR 的自主神经调节机制以多环节协同为核心,调控效应围绕副交感神经激活与交感神经抑制之间的动态平衡展开,同时依赖于神经递质的分子介导及脑干中枢的整合调控^[4]。

在 TCR 触发过程中,反射信号经三叉神经感觉支传入并完成中枢整合后,首先通过激活副交感神经通路发挥作用,具体表现为迷走神经传出纤维兴奋。该信号作用于心脏窦房结及传导系统,直接引起心率减慢,同时抑制心肌收缩力并扩张外周血管,最终导致血压下降。在此过程中,交感神经活动受到抑制,这种交感-副交感神经的功能失衡进一步加重心动过缓与低血压,形成对心血管系统的双重负向调控^[5]。此外,某些类型的 TCR 也可能出现交感与副交感神经协同激活的现象:副交感神经主导心率下降,而交感神经则通过收缩外周血管以维持或提升血压^[4]。

神经递质作为该反射通路的关键分子调控因子,以 5-羟色胺为代表,可通过影响三叉神经感觉核与心脏迷走神经核团之间的突触传递,双向调节心脏迷走神经元的兴奋性,从而精细调控 TCR 的反射强度与反应阈值^[6]。

从中枢调控层面看,TCR 是一种由脑干介导的内源性反射,其中枢整合环节主要依赖于延髓区域的氧敏感神经元。这类神经元能够感知机体氧分压变化及血流动力学波动,通过整合三叉神经传入信号与自主神经输出信号,不仅参与全身心血管活动的调节,还能协同调控脑血流动力学状态,确保反射激活过程中脑灌注稳定,从而发挥对脑组织的内源性保护作用^[7]。

1.2 TCR 的分型与临床表现

SCHALLER 等^[8]依据传入信号产生的解剖位置将 TCR 分为外周型、中枢型和神经节型。各亚型在触发条件与生理反应上存在明显差异,这为临床识别与干预提供了重要依据。(1)外周型 TCR 由三叉神经周围分支(V1、V2、V3 分布区)受刺激引发,具有明确的外周定位特征^[9]。其生理反应以心动过缓为主,血压反应则呈多样性:常见为低血压,亦可维持正常,偶见升高,后者与“潜水反射”相关,属于该型的特殊表现^[10]。此外,该型常伴有呼吸暂停及胃蠕动增加,多见于眼科手术、面部外伤及牙科操作等场景。(2)中枢型 TCR 的触发部位位于颅内,其包括对三叉神经颅内部分的直接或间接刺激,或直接刺激三叉神经节(Gasserian 神经节)^[9]。其心动过缓程度通常较外

周型更为明显,血压则以低血压为主,波动较小,呼吸与胃肠反应则与外周型一致^[8]。此型常见于颅底、桥小脑角及垂体区等神经外科手术。(3)神经节型 TCR 又称为 Gasserian 神经节反射,特指直接刺激三叉神经节所诱发。其核心临床特征在于生理反应的高度变异性:心率可表现为心动过缓或过速,无主导趋势;血压同样呈双向性,既可降低也可升高。呼吸与胃肠反应则与前两型相同^[11]。此型多见于 PBC 及射频热凝术等操作。上述分型主要基于 TCR 的急性生理反应。近年来文献中亦报道了慢性 TCR,表现为持续或反复发作的心动过缓、低血压甚至心搏骤停,可持续数小时至数年。因其罕见且易漏诊,机制尚未完全明确,推测可能与三叉神经持续刺激导致迷走神经长期兴奋有关,有待进一步研究^[12]。

在 PBC 操作中,由于球囊直接压迫三叉神经半月神经节,这使其诱发的 TCR 多表现为神经节型。机制为机械刺激可同时过度激活交感与副交感神经系统:交感激活引起血压骤升,副交感激活则导致心动过缓甚至心搏骤停。此外,心血管系统的自我调节机制也参与其中,如血压升高可通过颈动脉窦压力感受器引起反射性心率减慢,但这种反馈作用相对延迟。交感与副交感系统之间不对称的交互抑制,加上心血管系统的自身调节,共同构成了 PBC 中 TCR 表现多变且复杂的病理生理基础^[4]。因此,通过明确 TCR 的亚型特征,临床人员可预先评估患者可能面临的心血管及自主神经风险,从而制订针对性的预防与处理策略,这不仅有助于降低操作相关不良事件的发生率,也为患者的围手术期安全提供了重要保障。

2 PBC 中影响 TCR 发生的因素

2.1 患者因素

PBC 中 TCR 的发生与患者自身多种因素密切相关。其中,术前基础心率是目前公认最明确的独立危险因素。研究显示,术前心率低于 60 次/min 的患者,其术中发生 TCR 的风险明显增高。因此,临床实践中常建议对此类患者术前采取干预措施以适当提升心率,从而降低 TCR 发生率^[1]。自主神经功能状态是另一关键影响因素。通过心率变异性分析可发现,副交感神经张力占优势的患者在 PBC 中,尤其在穿刺卵圆孔等关键步骤时,更易触发 TCR。因此,心率变异性可作为术前筛查高危患者的有效工具^[13],年龄与基础疾病也需纳入考量。老年患者因自主神经调节能力减退,其 TCR 风险可能增高,但年龄与发生率之间的具体关联尚无明确共识^[14]。高血压患者术中收缩压波动通常更为明显,TCR 引发的心血管反应也更为强烈,因此建议采用连续动脉压监测以捕捉瞬时血流动力学变化^[15]。迷走神经张力异常是不容忽视的风险因素。既往手术、创伤、抑郁、焦虑或紧张情

绪等应激状态,均可导致迷走神经张力异常增高,破坏自主神经平衡,从而明显增加 TCR 发生风险^[16]。此外,临床观察表明,术前存在心律失常、心肌结构或功能异常的患者,其异常心反射活动的易感性更高^[17]。ÖZÇELİK 等^[18]的研究还指出,术中缺氧或高碳酸血症也会增加 TCR 的发生率。为优化患者管理,KOURILSKY 等^[19]提出可基于术前参数(如年龄、高血压病史及影像学特征等)构建风险预测模型,以更精准地评估 PBC 后并发症风险,辅助术前筛选和手术策略制定。总结而言,识别并评估这些危险因素,有助于临床医生在术前进行风险分层,实施针对性预防措施,从而最大程度保障 PBC 的安全性。

2.2 手术因素

PBC 易诱发 TCR 的关键操作时间点包括穿刺针接近卵圆孔外口、进入卵圆孔时,以及球囊开始膨胀时^[1,14]。卵圆孔外口及孔内区域为三叉神经第三支穿过,而球囊膨胀位置正对三叉神经半月神经节,这表明无论是神经纤维还是神经元受压,均可引发 TCR^[20]。根据对近千例全身麻醉下 PBC 的临床观察,作者发现快速穿刺卵圆孔或快速膨胀球囊更容易诱发严重的 TCR;而采用缓慢、逐层递进的方式穿刺卵圆孔,以及缓慢膨胀球囊,则可降低 TCR 的发生率及其严重程度。

临床实践还显示,虽然 TCR 发生时迅速撤出穿刺针或球囊导管通常能使患者心率和血压恢复,但再次进行穿刺或膨胀操作仍可能重新诱发 TCR^[13]。因此有术者建议,除非出现持续且难以恢复的心搏骤停或严重心动过缓,否则在发生 TCR 时应首先暂停操作,而非立即撤除器械,以避免反复刺激^[21]。此外,临床观察注意到,若穿刺位置不当导致球囊导管位于麦克氏囊之外,则在球囊膨胀时患者心率和血压往往无明显变化。这一现象也常被用作判断手术定位是否准确、操作能否成功的重要参考指标^[21]。

2.3 麻醉因素

麻醉药物及其作用深度对 TCR 的诱发与调控至关重要。丙泊酚作为常用静脉麻醉药,虽可降低血压并可能引起反射性心率增快,但在 PBC 中常诱发 TCR,表现为突发心动过缓甚至心搏骤停,并伴有血压骤升。加深丙泊酚麻醉深度可部分缓解血压升高,但对心率骤降改善不明显^[22]。一项随机对照研究显示,PBC 中使用丙泊酚的患者 TCR 发生率高达 82.5%,其中严重心动过缓发生率为 45.0%,且需更多阿托品干预;相比之下,使用瑞马唑仑的患者严重 TCR 发生率仅为 7.5%,阿托品使用率也明显更低^[23]。

在吸入麻醉方面,研究提示七氟烷在 PBC 中较静脉麻醉更能维持心率与血压稳定,患者术后恢复更

快、清醒时间更短,有助于降低心血管并发症风险^[24]。BRIONI 等^[25]进一步证实,七氟烷在降低 TCR 发生率方面明显优于氟烷与氯胺酮,其机制可能与药物对交感神经系统的特异性激活作用有关。

关于阿片类药物,CORDER 等^[26]指出,其虽可通过激活 μ 受体阻断疼痛信号、抑制应激反应,但也会增强循环抑制效应,从而延缓 TCR 发生后的生理恢复。SCHALLER 等^[27]的临床观察进一步发现,在浅麻醉状态下使用瑞芬太尼等阿片类药物时,TCR 的应激反应呈现剂量依赖性增强,提示术中需根据麻醉深度动态调整用药策略,以实现 TCR 的优化管理。

3 PBC 中 TCR 的预防方法

3.1 改变麻醉方式预防 TCR 的发生

随着对 PBC 中 TCR 发生机制认识的深化,其临床防治策略也日益完善。WANG 等^[28]研究发现,与全身麻醉相比,局部麻醉能有效预防 TCR 发生,且术后不良反应轻、恢复快。其机制为局部麻醉药可直接作用于三叉神经干或半月神经节,阻断神经受压后产生的异常电信号向脑干及迷走神经传导,从而抑制 TCR 反射弧的启动。然而,临床实践中仅使用利多卡因并不能确保所有患者完全避免 TCR,部分患者仍需联合异丙肾上腺素等药物,可能与局部麻醉药注射位置不准或阻滞不全有关^[2]。

尽管局部麻醉在预防 TCR 和经济性方面优于全身麻醉,但痛觉敏感或心理恐惧明显的患者,仍难以耐受局部麻醉操作。此外需特别注意,半月神经节位于颅内,周围被脑脊液及丰富血管包绕,一旦局部麻醉药误入脑脊液或血管,轻则影响麻醉效果,重则可迅速引发惊厥。且因手术区域与呼吸道管理区域重叠,若患者出现惊厥或呼吸抑制,抢救时控制呼吸道可能污染术区,使处理更为被动。也有学者提出在全身麻醉基础上联合半月神经节阻滞以预防 TCR^[14],但该方法会延长手术时间、增加操作难度及医患辐射暴露,其确切效果尚需进一步临床研究验证^[29]。

采用脑电双频指数(bispectral index, BIS)指导的靶控静脉麻醉或基于最低肺泡有效浓度引导的吸入麻醉,可实现麻醉深度的精准调控。通过实时调整丙泊酚或七氟烷等药物浓度,可在 TCR 发生前提前加深麻醉,压迫结束后快速减浅,从而维持术中血流动力学稳定,有效降低 TCR 风险^[23,28]。根据临床经验,术中平稳期 BIS 宜维持在 40~50,在预计可能发生 TCR 前 1~2 min 可将其降至 30~35 或更低,压迫完成后迅速恢复至 40~50。作者通常在 PBC 开始压迫时即停用全部麻醉药物,手术多在随后 3~5 min 结束,该方法可在不影响手术进程的前提下促使患者术后快速苏醒。

3.2 预防性使用心血管活性药物

心血管活性药物,特别是兼具提高心率与降低血压作用的药物,是防治 TCR 的常用策略。术前使用抗胆碱能药物(如阿托品)可有效阻断副交感神经作用,抑制迷走神经对心脏的影响,从而明显降低 PBC 中 TCR 的发生率及心率骤降幅度^[30]。但 QIN 等^[2]研究指出,即使使用阿托品,部分患者仍可能发生 TCR。

硝普钠可通过释放一氧化氮扩张血管,改善心肌灌注^[31]。在 PBC 中静脉滴注硝普钠虽能有效防止血压急剧升高,但对 TCR 所致心动过缓无预防作用,绝大多数患者在压迫期间仍会出现明显心率下降^[32]。一项前瞻性随机对照研究显示,阿托品与硝普钠联合预处理,尤其是 0.004 mg/kg 剂量的阿托品,能协同扩张血管、改善心肌代谢、稳定心率,明显降低 TCR (包括心动过缓与心搏骤停)发生率,且未引起明显血压异常^[33]。然而,预防性使用阿托品、东莨菪碱及盐酸戊乙奎醚等抗胆碱药物,可能导致术后认知功能障碍,这在老年患者中尤为常见^[34]。作者观察到,预防性静脉注射阿托品虽可预防大部分 PBC 相关心动过缓,但对术中高血压状态抑制作用有限,甚至可能延长高血压持续时间^[30]。对于顽固性心动过缓,持续泵注异丙肾上腺素可能更为有效。该药通过激活血管 β_2 受体发挥扩血管作用,可在提升心率的同时降低血压,从机制上优于单独使用阿托品。但其作用强烈,需精准调控,尤其对老年患者应注意可能引发的快速性心动过速及严重低血压^[35]。

3.3 迷走神经阻滞预防 TCR

迷走神经是脑干信号传至心脏引发 TCR 的主要通路,理论上阻滞该神经可抑制中枢信号下传,是预防 TCR 的一种可行途径。张琦玮等^[36]采用超声引导下单侧迷走神经阻滞预防眼心反射,结果显示该方法能有效降低眼科手术相关心动过缓的发生率。研究表明,在不同节段阻滞迷走神经所产生的效果及并发症存在差异。在颈静脉孔出口处的迷走神经上神经节(颈静脉节)及稍下方的下神经节(结节状神经节)区域进行阻滞,对提升心率、抑制胃肠反射及治疗自主神经相关性疼痛具有较好效果。但由于该区域与舌咽神经下节、副神经颅根、面神经及第 1、2 颈神经和颈内动静脉相邻或存在纤维联系,易引起声嘶、霍纳综合征及血管损伤等并发症^[37]。

临床上最常用的阻滞部位为第 4~7 颈椎横突水平,此处迷走神经走行于椎前筋膜前方的颈动脉鞘内,位置相对固定。超声下可清晰辨识颈动脉、颈内静脉及两者之间的迷走神经,便于实施精准阻滞。解剖与生理学提示,左右两侧迷走神经对心脏的调控作用具有侧重:右侧迷走神经主要支配窦房结及心房,对心率影响明显,更易诱发心动过缓,而对心肌收

缩力及心输出量影响较小;左侧迷走神经主要支配房室结及左心室,对心肌收缩力及心输出量调节作用更强,对心率的直接影响相对较弱^[38]。在既往眼心反射的研究中,多采用右侧颈段迷走神经阻滞以提升心率^[39]。然而,由于 PBC 中 TCR 常同时表现为心动过缓与血压升高,目前尚无直接证据比较双侧颈段迷走神经阻滞在预防 TCR 中的优劣,其临床应用仍需进一步研究明确。

3.4 优化手术操作

手术操作是诱发 TCR 的直接因素,而快速、精准且具有针对性的手术技术可有效降低其发生风险及严重程度。研究显示,采用 Hartel 前入路法穿刺卵圆孔,并在 CT 三维重建的精确引导下确定最佳球囊位置与梨形形态,可避免反复穿刺与过度压迫,从而减少因操作刺激引发的 TCR,并降低周围血管损伤风险^[40]。此外,缩短球囊压迫时间与强度、选用更小口径的穿刺针,也有助于减少术中血管迷走神经反射,进一步降低 TCR 发生率^[40]。

在球囊膨胀阶段,建议采用逐量、间歇、缓慢的梯度压迫方式,避免因快速或过度膨胀对三叉神经造成强烈刺激,从而预防突发心搏骤停等严重反应^[21]。临床实践中,除解剖结构异常或操作困难的患者外,对一般患者采用过于复杂的导航或检查手段,不仅增加经济负担,也会延长医患双方的辐射暴露时间。因此,结合文献与临床经验,优化手术操作的关键在于:在穿刺前对路径进行准确预判,针尖接近卵圆孔时需快速而精准;而在针体进入卵圆孔及球囊膨胀初期,则应放慢速度,为心血管自我调节机制启动留出缓冲时间,从而有效降低 TCR 的发生。

4 小 结

TCR 是 PBC 中重要的临床问题,虽然多数情况下可自行缓解,但严重时可能引发心血管危象,甚至危及患者生命。通过术前识别危险因素、选择适宜的麻醉方案与深度、优化手术操作、加强术中监测并做好应急准备,必要时及时暂停手术,可有效降低 TCR 的发生风险。未来仍需进一步阐明 TCR 的神经环路机制,以制订更具针对性的防治策略。

利益冲突:所有作者声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] ZHANG H, ZHANG M, GUO H, et al. Risk factors associated with trigeminocardiac reflex in patients with trigeminal neuralgia during percutaneous balloon compression: a retrospective cohort study[J]. Clin Neurol Neurosurg, 2023, 231: 107834.

- [2] QIN Q, WANG Y. Recurrent trigeminocardiac reflex in percutaneous balloon compression for trigeminal neuralgia: a case report[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2020, 99(44): e22467.
- [3] TERRIER L M, HADJIKHANI N, DESTRI-EUX C. The trigeminal pathways[J]. *J Neurol*, 2022, 269(7): 3443-3460.
- [4] BUCHHOLZ B, KELLY J, BERNATENE E A, et al. Antagonistic and synergistic activation of cardiovascular vagal and sympathetic motor outflows in trigeminal reflexes[J]. *Front Neurol*, 2017, 8: 52.
- [5] 孙兆楚. 探讨脑血管介入术中三叉神经-心脏反射的危险因素和预防措施[D]. 南京: 南京医科大学, 2022.
- [6] GORINI C, JAMESON H S, MENDELOWITZ D. Serotonergic modulation of the trigeminocardiac reflex neurotransmission to cardiac vagal neurons in the nucleus ambiguus[J]. *J Neurophysiol*, 2009, 102(3): 1443-1450.
- [7] WHITE T G, POWELL K, SHAH K A, et al. Trigeminal nerve control of cerebral blood flow: a brief review[J]. *Front Neurosci*, 2021, 15: 649910.
- [8] SCHALLER B, CORNELIUS J F, PRABHAKAR H, et al. The trigemino-cardiac reflex: an update of the current knowledge[J]. *J Neurosurg Anesthesiol*, 2009, 21(3): 187-195.
- [9] LEON-ARIZA D S, LEON-ARIZA J S, GUALDRON M A, et al. Territorial and extraterritorial trigeminocardiac reflex: a review for the neurosurgeon and a type IV reflex vignette[J]. *Cureus*, 2020, 12(11): e11646.
- [10] MEUWLY C, CHOWDHURY T, SANDU N, et al. Definition and diagnosis of the trigeminocardiac reflex: a grounded theory approach for an update[J]. *Front Neurol*, 2017, 8: 533.
- [11] SINGH N, REGMI S, KATARIA K K, et al. Ganglionic trigeminocardiac reflex: a less known presentation of a well-known entity[J]. *Indian J Anaesth*, 2020, 64(3): 245-246.
- [12] CHOWDHURY T, SCHALLER B. Chronic trigemino-cardiac reflex: an underestimated truth[J]. *Front Neurol*, 2017, 8: 22.
- [13] ZHANG H, HE J, DU Y, et al. Prolonged asystole induced by trigeminocardiac reflex accompanied with abnormal heart rate variability during percutaneous balloon compression: a case report[J]. *J Int Med Res*, 2023, 51(1): 3000605221148618.
- [14] ZHANG H, LIU M, GUO W, et al. The effect of trigeminal ganglion block on trigeminocardiac reflex in elderly patients with trigeminal neuralgia undergoing percutaneous balloon compression: a randomized controlled study[J]. *Ther Clin Risk Manag*, 2022, 18: 1091-1098.
- [15] ZUO Y, SONG D, HU Y, et al. Continuous intra-arterial blood pressure monitoring improves the efficiency of percutaneous balloon compression of the trigeminal ganglion for trigeminal neuralgia[J]. *Pain Res Manag*, 2022, 2022: 7567630.
- [16] SUN Z, WANG R, DONG H, et al. Prophylactic intra-arterial injection of lidocaine: a novel strategy to prevent endovascular embolization-induced trigeminocardiac reflex[J]. *J Neurointerv Surg*, 2023, 15(5): 473-477.
- [17] ZHAO Y, WANG J, LI M, et al. The influence of trigeminocardiac reflex on postoperative cardiac adverse events in patients undergoing cerebellopontine angle tumor resections: a case-control study[J]. *World Neurosurg*, 2023, 172: e291-298.
- [18] ÖZÇELİK D, TOPLU G, TÜRKSEVEN A, et al. The importance of the trigeminal cardiac reflex in rhinoplasty surgery[J]. *Ann Plast Surg*, 2015, 75(2): 213-218.
- [19] KOURILSKY A, PALPACUER C, ROGERS A, et al. Multivariate models to predict pain recurrence and sensitive complications after percutaneous balloon compression in trigeminal neuralgia[J]. *J Neurosurg*, 2022, 137(5): 1396-1405.
- [20] TSUTSUMI S, ONO H, ISHII H. The emissary veins of the foramen ovale: an anatomical study using magnetic resonance imaging[J]. *Surg Radiol Anat*, 2020, 42(7): 771-777.
- [21] XIA Y, YU G, MIN F, et al. The focus and new progress of percutaneous balloon compression for the treatment of trigeminal neuralgia[J]. *J Pain Res*, 2022, 15: 3059-3068.
- [22] WANG C M, GUAN Z Y, WANG Q C, et al. The effect of depth of anesthesia on hemody-

- dynamic changes induced by therapeutic compression of the trigeminal ganglion[J]. *J Neurosurg Anesthesiol*, 2020, 32(4):344-348.
- [23] LONG D, CHEN K, LI Y, et al. Comparison of remimazolam and propofol for intravenous anesthesia on trigeminocardiac reflex in percutaneous balloon compression for trigeminal neuralgia: a randomized controlled trial[J]. *Drug Des Devel Ther*, 2024, 18:5225-5237.
- [24] ZHANG Z J, CUI L J, SHEN L, et al. Comparative analysis of anesthesia and clinical efficacy of inhalation anesthesia and intravenous anesthesia in trigeminal nerve balloon avulsion[J]. *Pak J Med Sci*, 2023, 39(4):936-940.
- [25] BRIONI J D, VARUGHESE S, AHMED R, et al. A clinical review of inhalation anesthesia with sevoflurane: from early research to emerging topics[J]. *J Anesth*, 2017, 31(5):764-778.
- [26] CORDER G, CASTRO D C, BRUCHAS M R, et al. Endogenous and exogenous opioids in pain[J]. *Annu Rev Neurosci*, 2018, 41:453-473.
- [27] SCHALLER B, CHOWDHURY T. The trigeminocardiac reflex and implications for neuroanesthesia [J]. *J Neurosurg Anesthesiol*, 2021, 33(1):5-7.
- [28] WANG H, LU J, CHENG Y, et al. Comparative analysis of efficacy and safety of trigeminal ganglion balloon compression for trigeminal neuralgia under regional and general anesthesia: a retrospective cohort study [J]. *World Neurosurg*, 2025, 198:123973.
- [29] 朱晓蕾, 李雪莲, 韩睿, 等. 经皮穿刺半月神经节微球囊扩张压迫术治疗三叉神经痛技术规范[J]. *中华疼痛学杂志*, 2020, 16(1):26-29.
- [30] WANG C M, GUAN Z Y, ZHAO P, et al. The effect of atropine on trigeminocardiac reflex-induced hemodynamic changes during therapeutic compression of the trigeminal ganglion[J]. *J Neurosurg Anesthesiol*, 2022, 34(1):e40-45.
- [31] YANG L, MU L, SUN L, et al. Effect of intracoronary nitroprusside injection on flow recovery during primary PCI in acute STEMI patients[J]. *Minerva Cardioangiol*, 2017, 65(2):111-118.
- [32] WANG C M, GUAN Z Y, ZHANG J, et al. Comparative study of trigeminocardiac reflex after trigeminal ganglion compression during total intravenous anesthesia[J]. *J Neurosurg Anesthesiol*, 2015, 27(1):16-20.
- [33] WANG C M, GUAN Z Y, CAI C H, et al. Comparative study of atropine combined with sodium nitroprusside pretreatment to prevent trigeminocardiac reflex after trigeminal ganglion compression[J]. *J Clin Diagn Res*, 2016, 10(3):UC9-12.
- [34] HERRMANN M L, BODEN C, MAURER C, et al. Anticholinergic drug exposure increases the risk of delirium in older patients undergoing elective surgery [J]. *Front Med (Lausanne)*, 2022, 9:871229.
- [35] MUMTAZ S, SPONG A, SHARMA V. Trigemino-cardiac reflex during temporomandibular joint surgery: a systematic review and update for the surgeons[J]. *J Oral Maxillofac Surg*, 2024, 82(6):641-647.
- [36] 张琦玮, 李洪超, 宁林, 等. 超声引导下颈部迷走神经阻滞预防眼心反射的临床研究[J]. *局解手术学杂志*, 2024, 33(9):815-819.
- [37] FITCHETT A, MASTITSKAYA S, ARISTOVICH K. Selective neuromodulation of the vagus nerve [J]. *Front Neurosci*, 2021, 15:685872.
- [38] GEE M M, HORNUNG E, GUPTA S, et al. Unpacking the multimodal, multi-scale data of the fast and slow lanes of the cardiac vagus through computational modelling [J]. *Exp Physiol*, 2024, 109(12):1994-2000.
- [39] 王淑珍, 顾恩华, 张抗抗, 等. 颈部迷走神经阻滞预防眼心反射的临床研究[J]. *中华眼科杂志*, 2010, 46(11):1016-1020.
- [40] XIAO X, WEI Z, REN H, et al. Comparison of effectiveness and safety between intraoperative 3D-CT-guided and c-arm-guided percutaneous balloon compression for idiopathic trigeminal neuralgia: a multi-center retrospective study [J]. *Pain Res Manag*, 2021, 2021:9306532.

(收稿日期:2025-08-28 修回日期:2025-11-01)

(编辑:袁皓伟)