

# 球囊压迫术治疗三叉神经痛的技术优化进展

李珠泉<sup>1</sup>, 高志强<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>赣南医科大学第一临床医学院, 江西 赣州

<sup>2</sup>赣南医科大学第一附属医院神经外科, 江西 赣州

收稿日期: 2026年2月11日; 录用日期: 2026年3月4日; 发布日期: 2026年3月13日

## 摘要

三叉神经痛是一种以患者面部阵发性过电样疼痛为核心特征的颅神经痛, 严重影响患者的日常生活。经皮穿刺球囊压迫术(PBC)凭借其损伤小、手术难度低、治疗费用少、适用范围广等优势, 逐渐成为药物治疗无效、高龄不能耐受开颅手术患者的一线微创治疗方法之一。以往临床医师进行PBC手术操作时主要依赖于术中球囊的“梨形”形态作为衡量手术有效的标准, 但是以梨形作为衡量手术疗效的标准主观性较强且不同患者的麦氏囊解剖形态差异较大, 可能会使部分患者三叉神经半月结压迫不充分导致术后疗效较差或压迫过度使患者术后麻木、咀嚼肌无力等并发症发生率升高。近些年随着术中球囊压力计的引入, 使操作者可以直观量化球囊对三叉神经节的压迫强度, 也标志着PBC从既往经验性操作转向精准治疗。近几年相关研究表明, 术中球囊压力强度与手术疗效和术后面部麻木程度显著相关, 如果能将术中球囊压力维持在合适的范围, 则能同时兼顾治疗效果和安全性。因此术中监测球囊压力有望成为优化PBC临床疗效的新标准。

## 关键词

三叉神经痛, 经皮球囊压迫术, 压力量化, 梨形, 治疗优化

# Advances in the Technical Optimization of Balloon Compression for Trigeminal Neuralgia

Zhuquan Li<sup>1</sup>, Zhiqiang Gao<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>First Clinical Medical College of Gannan Medical University, Ganzhou Jiangxi

<sup>2</sup>Department of Neurosurgery, The First Affiliated Hospital of Gannan Medical University, Ganzhou Jiangxi

Received: February 11, 2026; accepted: March 4, 2026; published: March 13, 2026

\*通讯作者。

文章引用: 李珠泉, 高志强. 球囊压迫术治疗三叉神经痛的技术优化进展[J]. 临床医学进展, 2026, 16(3): 2130-2136.  
DOI: 10.12677/acm.2026.1631005

## Abstract

Trigeminal neuralgia is a type of cranial nerve pain characterized by paroxysmal electric shock-like sensations in the facial area, which severely impacts patients' daily lives. Percutaneous balloon compression (PBC), with its advantages of minimal trauma, low surgical difficulty, reduced treatment costs, and wide applicability, has gradually become one of the first-line minimally invasive treatment options for patients who are unresponsive to medication or are elderly and unable to tolerate craniotomy. In the past, clinicians primarily relied on the "pear-shaped" morphology of the intraoperative balloon as the standard for measuring surgical efficacy during PBC procedures. However, using the pear shape as a criterion is highly subjective, and the anatomical morphology of Meckel's cave varies greatly among patients. This may lead to insufficient compression of the trigeminal ganglion in some patients, resulting in poor postoperative outcomes, or excessive compression, increasing the incidence of complications such as postoperative numbness and masticatory muscle weakness. In recent years, the introduction of intraoperative balloon pressure monitors has allowed operators to visually quantify the compression intensity on the trigeminal ganglion, marking the transition of PBC from empirical operation to precision treatment. Relevant studies in recent years have indicated that intraoperative balloon pressure is significantly correlated with surgical efficacy and the degree of postoperative facial numbness. If the intraoperative balloon pressure can be maintained within an appropriate range, both therapeutic efficacy and safety can be achieved. Therefore, intraoperative monitoring of balloon pressure is expected to become a new standard for optimizing the clinical outcomes of PBC.

## Keywords

Trigeminal Neuralgia, Percutaneous Balloon Compression, Pressure Quantification, Pear-Shaped, Treatment Optimization

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

三叉神经在三叉神经结处发出三个分支,包括额支、上颌支、下颌支,这三个分支主要支配面部的感觉,三叉神经痛是指这三个分支中的一个或多个分支支配区域反复发作的阵发性过电样疼痛,大多数患者描述这种疼痛为撕裂样、触电样或刀割样的疼痛,咀嚼、洗脸、说话等日常动作即可诱发,疼痛持续通常为数秒至数分钟,可自行缓解,对患者的日常生活带来极大的痛苦[1]。目前大多数学者认为三叉神经痛的起病是由于三叉神经出脑干区域旁的血管压迫导致,其衍生的三叉神经血管减压术也取得了不错的疗效,从侧面也印证了这一学说,但临床中部分三叉神经痛患者术中或影像学并没有发现明显的血管压迫,说明三叉神经痛的发病机制可能有更深层次的原因。三叉神经痛患者刚开始发病时可通过服用卡马西平、奥卡西平等药物来缓解疼痛[2][3],但随着疼痛的加剧以及药效的下降,患者通常需要服用大量的药物来抑制疼痛,而这两种药物对中枢神经系统有抑制作用,许多患者在大量服药后会出现精神萎靡及胃肠反应等副作用,国内有研究表面卡马西平出现副作用的几率更高[4],对于药物(如卡马西平、奥卡西平)治疗无效或不耐受者,介入与外科手术是主要选择[5][6]。而经皮三叉神经半月结球囊压迫术(Percutaneous Balloon Compression, PBC)因其操作简便、手术费用低,术后疼痛缓解率较高、严重感觉迟钝及

角膜反射消失风险较低, 尤其适用于高龄、合并症多或不适合开颅微血管减压术(MVD)的患者, 已成为临床不可或缺的一线微创疗法之一[7][8]。

## 2. 三叉神经痛外科治疗的起源与发展脉络

### 2.1. 早期探索阶段(20 世纪初~中期)

三叉神经痛相关的文字记载最早起源于公元前 2 世纪, Aretacus of Cappadocia 首次在书中描述了患者出现面部阵发性刀割样疼痛, 但是并没有将三叉神经痛与偏头痛区分开来。早期三叉神经痛患者常常被误诊为牙痛, 通过拔牙治疗后疼痛并未出现明显的缓解。至 20 世纪初, 有医生开始尝试针对三叉神经进行外科治疗, 在早期刚开始尝试的时候手术以神经切断术为主[9], 即通过彻底捣毁三叉神经的感觉支从而达到止痛的目的, 但是患者在接受三叉神经切断术后常常会留下永久性的面部麻木和咀嚼功能障碍等严重并发症, 临床应用的前景受限。

“血管压迫学说”最早是在 1934 年由 Dandy 提出, 他认为三叉神经痛的发病机制主要是由于颅内血管对三叉神经根部的压迫所导致脱髓鞘病变[10], 后续的外科治疗受此启发逐渐开始尝试将压迫三叉神经的血管用垫棉垫开, 并取得了显著的效果。同一时期也有医者开始尝试射频热凝术[11][12], 即通过高温选择性地毁损三叉神经疼痛的感觉分支, 但是射频热凝术对术中的操作温度(65℃~80℃)和靶点的精准度要求极高, 容易出现损毁不全或损毁过度导致疼痛缓解率低或术后麻木感严重, 并且术中需要患者保持清醒, 术中进行损毁时疼痛感远超发病时。这一阶段的治疗虽然能够缓解疼痛, 但是 MVD 手术风险较高, 且不适用于高龄不能耐受手术的患者, 而射频热凝术术中体验极差、术后复发率高, 其手术疗效与安全性难以平衡。

### 2.2. PBC 术式的诞生与初步应用(20 世纪 80 年代~21 世纪初)

PBC 由 Mullan 和 Lichtor 于 1983 年首次报道[13], 其核心机制是通过经皮穿刺置入福勒氏(Foramen ovale)的球囊, 在 Meckel's 腔内充盈, 对三叉神经节及根部进行机械性压迫, 造成有髓鞘的粗感觉纤维(A $\alpha$ / $\beta$ )选择性损伤, 从而中断痛觉传导通路。PBC 因其操作简便、手术风险低、术后恢复快、疼痛缓解率高等优点在国内逐渐施展开来, 并取得了不亚于三叉神经血管减压术、射频热凝术的治疗效果[14][15]。近四十年来, PBC 技术本身虽未发生根本性变革, 但其疗效评估与操作优化的核心理念正经历一场深刻的革新。传统上, 术者主要依据术中透视下球囊充盈的形态——特别是经典的“梨形”来判断球囊位置是否正确以及压迫是否充分。这一“形态依赖”模式源于对 Meckel's 腔解剖的深刻理解, 曾对 PBC 的推广起到关键作用。

## 3. PBC 治疗三叉神经痛的核心技术优化

### 3.1. 传统模式的局限：形态依赖

梨形形态的提出是基于 Meckel's 腔的解剖特点, 即前部宽大(容纳三叉神经节), 后部狭窄(通向颅后窝), 形似梨状。当球囊恰好在腔内充盈时, 受到腔壁的限制, 在透视下就呈现出了典型的梨形外观。该形态是球囊置入靶区并压迫三叉神经整体、均匀的直接证据。大量临床实践证明, 获得满意“梨形”的病例, 一般都能取得较好的初始疼痛缓解。但是临床实践渐渐暴露出形态依赖的固有局限性。形态判断很大程度上依靠术者的经验, 主观性较强。其次, 患者 Meckel's 腔的解剖容积、形态存在个体差异, 球囊位置(偏前、偏后、偏内、偏外)、注入造影剂容量等都会影响最终显影形态, 出现“同形不同效”或“异形同效”的现象[16]。更根本的是, 形态只是压迫的间接几何表现, 不能直接反映施加在神经上的力学剂

量, 即压力。这就像凭药物外观而不是准确的剂量给药一样, 必然造成疗效和副作用的不可控性。因此, 寻找一种客观、定量、可重复的术中监测指标, 成为优化 PBC 治疗的迫切需求。

## 3.2. 核心突破: 压力量化监测

### 3.2.1. 神经损伤的程度同机械力大小、作用时间、作用方式有关

因此直接测量球囊对周围组织(主要是神经)施加的压力, 成了最直接的解决办法。在此背景下, 集成术中压力量化监测系统应运而生, 很快成为近几年的研究热点。该系统把压力传感器集成在球囊导管里, 可以实时显示并记录压迫过程中压力的变化曲线, 把“压迫”这一治疗动作第一次精确量化[17]。本文主要研究这一技术的发展, 阐述它怎样优化传统 PBC, 总结相关的临床证据, 给出标准化的操作流程建议, 为 PBC 的精准、规范应用提供参考。

### 3.2.2. 技术参数

峰值压力是整个压迫周期内达到的最大压力值, 用千帕(kPa)或者标准大气压(atm,  $1 \text{ atm} \approx 101 \text{ kPa}$ )来表示。目前研究中被最关注的疗效预测指标。压力维持时间即达到目标压力区间之后, 保持这个压力的时间。传统的压迫时间一般为 2 到 3 分钟。

## 3.3. 临床证据: 压力如何优化疗效与安全性

### 3.3.1. 提升疗效与预测预后

大多数研究认为术中峰值压力和初始疼痛完全缓解率(Immediate Complete Relief, ICR)之间呈正相关。纳入 144 例患者的球囊压力为 180~220 Kpa 时术后效果较好。球囊压力低的时候, 患者的术后复发率高, 球囊压力高时, 术后麻木恢复的时间长[18]。同时李景辉等人发现球囊压力在 130~190 KPA 之间时, 术后疗效和安全性可以取得较好的平衡, 即复发率低、术后并发症少[19]。这些研究表明, 在一定范围内, 提高球囊压力可以提高术后疗效, 但是当压力超过某个阈值时, 继续提高球囊压力不但不能取得较好的治疗效果, 而且会加重患者术后麻木感和咀嚼肌无力程度。

### 3.3.2. 精准控制并发症

面部感觉减退(麻木)属于 PBC 预期内的、与疗效共存的副作用, 患者的目标一般是“足够但不困扰的麻木”。压力监测使平衡变得可控。面部麻木程度(用 BNI 麻木评分来量化)和峰值压力呈正相关[20]。将压力控制在 0.13~0.20 MPa 范围内, 大多数患者可以得到 BNI I~II 级(轻度至中度、不困扰的麻木), 而且疼痛缓解率也很高。传统盲目追求饱满梨形容易造成压力过大, 从而引发难以忍受的麻木(BNI III~IV 级)或者咀嚼肌无力(损伤运动根)的风险明显增大[21]。压力监测使术者可以设定一个个体化的治疗上限, 主动避免过度损伤。

### 3.3.3. 超越形态, 提供冗余安全保障

压力监测之下, “形态”的作用由原来的“决策依据”变成“辅助验证”。当压力达到有效范围, 形态稍显不典型的时候, 术者就可以更有信心地认为压迫是充分的。反之, 如果形态看似完美但是压力一直偏低, 那么就提示存在球囊位置偏移或者 Meckel's 腔异常宽大, 术者应该重新调整位置而不是延长压迫时间。压力曲线可以即时发出异常警报, 压力突然下降可能是球囊位置不对, 压力无法维持则是球囊破裂或者系统漏气, 这些都会大大提高手术的安全性。

## 4. 球囊压力 - 容积曲线

1) PBC 术中球囊对三叉神经半月结的压迫效果主要取决于球囊压力与压迫时间, 而球囊压力 - 容积

曲线主要由患者麦氏囊解剖形状、容积、顺应性、以及不同品牌球囊导管的材质及结构共同决定。

a) 患者麦氏囊的解剖形状和容积对球囊压力 - 容积曲线的影响较大, 从实际临床操作中可以发现, 当注射的造影剂容积接近并超过术前测量的麦氏囊容积时, 球囊压力会急剧增加, 相对来说麦氏囊容积越小的患者, 球囊压力 - 容积曲线越陡。而麦氏囊头端体积占比越小的患者, 术中能达到的最大球囊压力相对较高, 但为了降低术后并发症的发生率, 不建议盲目提高球囊压力。

b) 不同品牌的球囊装置因材质及结构的不同, 球囊的压力 - 容积曲线也存在差异。顺应性低的球囊导管压力 - 容积曲线呈线形, 注射造影剂时压力上升平稳, 梨形充盈易于控制, 因此目前市面上常见的球囊装置采用非顺应性的材质。

## 2) 压力监测系统的误差分析

a) 术中压力监测存在不可避免的系统性误差, 其一是因为球囊装置在连接过程中会产生气泡导致球囊压力读数误差, 其二是不同材质的球囊顺应性不同, 使球囊在充盈过程中产生囊壁延展导致监测的球囊压力低于实际对组织的压迫力, 其三是术中推注造影剂过程中推注速度过快会产生瞬时高压导致球囊压力读数高于实际峰值压力。

b) 在 PBC 术中, 当我们注射造影剂达到球囊峰值压力之后, 关闭注射造影剂的阀门时, 球囊压力会逐渐下降, 且球囊压力下降的数值与峰值压力正相关, 这主要是因为麦氏囊具有顺应性。麦氏囊的囊壁是由硬脑膜的两层结构组成, 内外层间是含脑脊液的腔隙, 当球囊充盈时会挤压麦氏囊产生向外的扩张力, 迫使麦氏囊向周围膨出, 导致麦氏囊的容积变大, 球囊可以扩张的空间也随之增大, 对球囊囊壁产生的压力就会降低, 最终表现为球囊压力下降。其次, 如果在连接球囊装置过程中没有连接紧密, 或球囊装置本身无法紧密连接, 在注射造影剂及保持压力过程中, 可能会产生造影剂的轻微渗漏, 导致球囊压力小幅下降。

## 5. 基于当前证据的推荐流程

根据已有的证据, 提出整合压力监测的 PBC 推荐操作流程

1) 术前准备, 常规颅底 CT 或者三维重建 MRI, 了解卵圆孔形态、位置, 防止穿刺偏移造成损伤血管、神经等, 术前测量 Meckel's 腔容积大小, 为术中推注造影剂容量提供依据<sup>[22,23]</sup>。与患者充分沟通, 确定治疗目的为以可忍受的麻木换取疼痛的自由。

2) 穿刺置管, 常规采用 Hartel 前入路, 在透视引导下将穿刺针尖端置入卵圆孔内中后部。

3) 球囊置入与初始定位: 导入球囊导管。注入少量造影剂使球囊微微膨起, 侧位透视观察其初步形态, 保证球囊置入麦氏囊内。

4) 压力监测下压迫(核心步骤):

连接压力监测系统并进行校准。缓慢、匀速充盈造影剂, 注意压力读数和透视形态。

当压力达到有效阈值下限(如 130 KPA)时停止充盈, 观察此时球囊的形态。缓慢充盈到目标治疗压力窗, 根据中心经验以及患者的状况确定压力窗范围为 150~200 KPA (适用于南微组诺医学科技南京有限公司生产的一次性使用三叉神经压迫球囊装置, 产品注册证号: 苏械注准 20222030353)。以压力值为主要达标标准。进入目标压力窗后开始计时, 压迫 180 秒。期间保证压力稳定。记录峰值压力和实际维持时间。时间一到, 立刻、完全地瘪掉球囊。

5) 结束压迫及术后处理, 拔出球囊导管及穿刺针, 压迫穿刺点 5 分钟。术后常规观察生命体征, 处理可能出现的头痛、恶心、咀嚼肌无力等。

6) 该流程主要基于近些年国内外的相关研究, 尚需多中心、前瞻性研究进一步验证。

## 6. 展望

临床应用场景分析表明,以压力为依据的PBC改进方案适用范围更广,基层医院或者经验欠缺的手术医生可以借助标准化的压力参数来缩减对个人经验的依赖,学习曲线也会变短;大型医院复杂病例加上3D打印、机器人导航等技术之后,可以提高治疗的精准性;对于复发患者,采用压力调节和影像引导联合的方式,可以有效地改善手术效果。

尽管优势明显,但是压力量化PBC的普及还存在一定的困难,专用设备初期成本高,不同中心报道的最佳“治疗压力窗”仍有细微差别,需要更大的样本、多中心研究来标准化,压力与神经损伤的病理生理关系以及根据患者个体特征(年龄、神经脱髓鞘程度)精细化调整压力目标还需要基础研究进一步探索。

未来发展方向包括:

1) 多模态监测融合就是三叉神经体感诱发电位(TSEP)监测结合,观察波幅变化,给神经功能损伤提供电生理层面的实时反馈,和压力监测形成力学-电生理双保险。

2) 数据驱动的个性化,用人工智能分析大量的术前影像、术中压力曲线和长期预后的数据,建立预测模型,为每一个患者推荐最佳的压力时间组合方案。

3) 技术器械更新,开发更加灵敏、更加集成的传感器,甚至带有反馈调节功能的智能压迫系统。

## 7. 结论

经皮球囊压迫术治疗三叉神经痛正在发生一场从经验驱动到数据驱动的变革。术中实时压力量化监测技术的使用,把治疗的核心由间接、主观的形态观察,转向直接、客观的压力测量。大量的临床证据显示,该种改进策略可以明显改善疗效的可预测性、一致性,使面部麻木程度等并发症得到更精确的控制,在疗效与安全性之间找到更好的、个体化的平衡点。它代表了PBC技术发展的必然趋势,即从依靠个人经验的“手艺”变成了一套可以量化的、可以重复的、可以优化的精准医疗程序。建议在临床实践当中积极采用、推广压力监测技术,使之成为提高PBC治疗质量的新标准。

## 参考文献

- [1] Headache Classification Committee of the International Headache Society (IHS) (2018) The International Classification of Headache Disorders, 3rd Edition. *Cephalalgia*, **38**, 1-211.
- [2] Di Stefano, G., Biasiotta, A., La Cesa, S., Leone, C., Pepe, A., Piroso, S., *et al.* (2015) Natural History and Outcome of 200 Outpatients with Classical Trigeminal Neuralgia Treated with Carbamazepine or Oxcarbazepine in a Tertiary Centre for Neuropathic Pain. *Clinical Neurophysiology*, **126**, e14. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2014.10.080>
- [3] Di Stefano, G., De Stefano, G., Leone, C., Di Lionardo, A., Di Pietro, G., Sgro, E., *et al.* (2021) Real-World Effectiveness and Tolerability of Carbamazepine and Oxcarbazepine in 354 Patients with Trigeminal Neuralgia. *European Journal of Pain*, **25**, 1064-1071. <https://doi.org/10.1002/ejp.1727>
- [4] Di Stefano, G., La Cesa, S., Truini, A. and Cruccu, G. (2014) Natural History and Outcome of 200 Outpatients with Classical Trigeminal Neuralgia Treated with Carbamazepine or Oxcarbazepine in a Tertiary Centre for Neuropathic Pain. *The Journal of Headache and Pain*, **15**, Article No. 34. <https://doi.org/10.1186/1129-2377-15-34>
- [5] Gronseth, G., Cruccu, G., Alksne, J., Argoff, C., Brainin, M., Burchiel, K., *et al.* (2008) Practice Parameter: The Diagnostic Evaluation and Treatment of Trigeminal Neuralgia (an Evidence-Based Review): Report of the Quality Standards Subcommittee of the American Academy of Neurology and the European Federation of Neurological Societies. *Neurology*, **71**, 1183-1190. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000326598.83183.04>
- [6] 柴开君, 李晋虎, 刘晓东. 外科手术治疗三叉神经痛的研究进展[J]. 中华神经创伤外科电子杂志, 2018, 4(2): 110-113.
- [7] DeSouza, D.D., Davis, K.D. and Hodaie, M. (2015) Reversal of Insular and Microstructural Nerve Abnormalities Following Effective Surgical Treatment for Trigeminal Neuralgia. *Pain*, **156**, 1112-1123. <https://doi.org/10.1097/j.pain.000000000000156>

- [8] Zhong, J., Chen, D.Q., Hung, P.S., Hayes, D.J., Liang, K.E., Davis, K.D., *et al.* (2018) Multivariate Pattern Classification of Brain White Matter Connectivity Predicts Classic Trigeminal Neuralgia. *Pain*, **159**, 2076-2087. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000001312>
- [9] 刘银, 于炎冰, 张黎. 乙状窦后入路三叉神经感觉根部分切断术治疗三叉神经痛的进展[J]. 中华神经外科杂志, 2020, 36(5): 538-540.
- [10] Tanrikulu, L., Scholz, T., Nikoubashman, O., Wiesmann, M. and Clusmann, H. (2015) Preoperative MRI in Neurovascular Compression Syndromes and Its Role for Microsurgical Considerations. *Clinical Neurology and Neurosurgery*, **129**, 17-20. <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2014.11.005>
- [11] Wan, C., Dong, D., Xi, Q., Liu, Y., Cui, W., Wang, Q., *et al.* (2018) Prospective Evaluation of Nasopharyngeal Intubation during Radiofrequency Thermocoagulation of the Trigeminal Ganglion. *Journal of Oral & Facial Pain and Headache*, **32**, e28-e33. <https://doi.org/10.11607/ofph.1785>
- [12] 徐淑军, 陈腾, 吴承远, 等. 神经导航下三叉神经节射频热凝治疗三叉神经痛的临床研究[J]. 中华神经外科杂志, 2005, 21(7): 443-444.
- [13] Mullan, S. and Lichtor, T. (1983) Percutaneous Microcompression of the Trigeminal Ganglion for Trigeminal Neuralgia. *Journal of Neurosurgery*, **59**, 1007-1012. <https://doi.org/10.3171/jns.1983.59.6.1007>
- [14] Du, Y., Yang, D., Dong, X., Du, Q., Wang, H. and Yu, W. (2015) Percutaneous Balloon Compression (PBC) of Trigeminal Ganglion for Recurrent Trigeminal Neuralgia after Microvascular Decompression (MVD). *Irish Journal of Medical Science*, **184**, 745-751. <https://doi.org/10.1007/s11845-014-1163-7>
- [15] Xu, W., Jiang, C., Yu, C. and Liang, W. (2018) Percutaneous Balloon Compression for Persistent or Recurrent Trigeminal Neuralgia After Microvascular Decompression: Personal Experience of 28 Patients. *Acta Neurologica Belgica*, **118**, 561-566. <https://doi.org/10.1007/s13760-017-0858-8>
- [16] Ding, Y., Wang, Y., Wang, Y. and Dong, J. (2023) A Retrospective Study to Examine the Association of Different Pear-Shaped Balloons with Efficacy and Postoperative Complications in Percutaneous Balloon Compression for Trigeminal Neuralgia. *Neurosurgical Review*, **46**, Article No. 60. <https://doi.org/10.1007/s10143-023-01965-x>
- [17] 闫先侠, 张三鹏, 权俊杰, 张熙, 任鹏宇, 屈建强, 周乐. 经皮穿刺微球囊压迫术治疗三叉神经痛术中监测囊内压力的初步探讨[J]. 山西医科大学学报, 2020, 51(6): 588-592.
- [18] 张钧, 宋国智, 常成, 晁艳艳, 乔磊. 经皮穿刺球囊压迫术治疗三叉神经痛术中压迫时长、球囊压力与临床疗效的关系[J]. 西部医学, 2025, 37(6): 842-847.
- [19] 李景辉, 毕莉莉, 卜凡贵, 等. 球囊压力与压迫时间对经皮穿刺微球囊压迫术治疗三叉神经痛疗效的临床研究[J]. 中国保健营养, 2021, 31(31): 48.
- [20] 彭绍鹏, 刘建雄, 王飞, 等. PBC 治疗三叉神经痛术中球囊压力与术后并发症、复发的关系研究[J]. 中华神经医学杂志, 2022, 21(2): 152-156.
- [21] 李春辉, 朱晓, 陈涛, 李欢, 罗刚, 喻坚柏, 梁昊. 经皮穿刺球囊压迫术球囊压力与三叉神经痛疗效和并发症的相关性研究[J]. 中国微侵袭神经外科杂志, 2020, 25(11): 489-492.
- [22] Li, M.W., Jiang, X.F. and Niu, C.S. (2021) Efficacy of and Risk Factors for Percutaneous Balloon Compression for Trigeminal Neuralgia in Elderly Patients. *British Journal of Neurosurgery*, **35**, 280-284. <https://doi.org/10.1080/02688697.2020.1787341>
- [23] Wang, Q., Chen, C., Guo, G., Li, Z., Huang, D. and Zhou, H. (2021) A Prospective Study to Examine the Association of the Foramen Ovale Size with Intraluminal Pressure of Pear-Shaped Balloon in Percutaneous Balloon Compression for Trigeminal Neuralgia. *Pain and Therapy*, **10**, 1439-1450. <https://doi.org/10.1007/s40122-021-00311-7>