

微血管减压术治疗三叉神经痛研究进展

庄乾杰^{1*}, 张浩^{2#}

¹济宁医学院临床医学院(附属医院), 山东 济宁

²济宁医学院附属医院神经外科, 山东 济宁

收稿日期: 2025年7月1日; 录用日期: 2025年7月24日; 发布日期: 2025年8月1日

摘要

目的: 综述微血管减压术(MVD)治疗三叉神经痛的研究进展, 明确其疗效、影响因素及优化方向。方法: 通过分析临床研究数据, 比较MVD与其他疗法(药物、射频热凝、微球囊压迫、伽玛刀)的疗效差异; 总结患者因素(年龄、病程)、手术技术(垫棉放置、责任血管判定)及影像学评估(MRTA序列)对预后的影响; 评估技术创新(机器人辅助、AI预测、3D外窥镜)的应用潜力。结果: MVD作为一线根治性方案, 总有效率 > 90% (老年患者达97.1%), 15年长期缓解率75%, 复发率仅4.76%。但术后并发症发生率约20% (脑脊液漏3.7%~6.1%、听力损失4.17%~6.77%), 9%患者出现复发。疗效对比显示: MVD显著优于药物 (耐受性差)、射频热凝(并发症47.62%)及伽玛刀(老年患者1个月缓解率仅37.9%); 微球囊压迫虽费用低, 但面部麻木发生率高达45.76%。影像学与AI技术(如MRTA序列、神经网络预测模型)可精准指导手术, 提升安全性。结论: MVD通过解除神经血管压迫实现病因治疗, 疗效与安全性俱佳, 但仍需优化手术策略以降低并发症及复发风险。未来需整合机器人辅助、个体化垫棉设计及增强现实导航等技术, 推动精准化、微创化发展。

关键词

微血管减压术, 三叉神经痛, 疗效对比, 并发症, 技术创新

Research Progress in Microvascular Decompression for Trigeminal Neuralgia

Qianjie Zhuang^{1*}, Hao Zhang^{2#}

¹School of Clinical Medicine (Affiliated Hospital), Jining Medical University, Jining Shandong

²Department of Neurosurgery, Affiliated Hospital of Jining Medical University, Jining Shandong

Received: Jul. 1st, 2025; accepted: Jul. 24th, 2025; published: Aug. 1st, 2025

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 庄乾杰, 张浩. 微血管减压术治疗三叉神经痛研究进展[J]. 临床个性化医学, 2025, 4(4): 49-56.

DOI: 10.12677/jcpm.2025.44415

Abstract

Objective: To review the research progress of microvascular decompression (MVD) in treating trigeminal neuralgia, clarifying its efficacy, influencing factors, and optimization directions. **Methods:** By analyzing clinical research data, we compared the efficacy differences between MVD and other therapies (medication, radiofrequency thermocoagulation, microballoon compression, Gamma Knife); summarized the impact of patient factors (age, disease duration), surgical techniques (Teflon padding placement, identification of offending vessels), and imaging assessments (MRTA sequences) on prognosis; and evaluated the application potential of technological innovations (robot-assisted surgery, AI prediction, 3D exoscopes). **Results:** As a first-line curative treatment, MVD demonstrates an overall efficacy rate > 90% (reaching 97.1% in elderly patients), with a 75% long-term remission rate over 15 years and a recurrence rate of only 4.76%. However, postoperative complication rates are approximately 20% (cerebrospinal fluid leakage: 3.7%~6.1%; hearing loss: 4.17%~6.77%), and recurrence occurs in 9% of patients. Efficacy comparisons revealed that MVD significantly outperforms medication (poor tolerance), radiofrequency thermocoagulation (complication rate 47.62%), and Gamma Knife (only 37.9% one-month remission rate in elderly patients). Although microballoon compression has lower costs, it carries a high incidence of facial numbness (45.76%). Imaging and AI technologies (such as MRTA sequences and neural network prediction models) can precisely guide surgery and enhance safety. **Conclusion:** MVD addresses the etiology by relieving neurovascular compression, offering excellent efficacy and safety. However, surgical strategies still need optimization to reduce complication and recurrence risks. Future efforts should integrate technologies like robot assistance, personalized Teflon padding design, and augmented reality navigation to advance precision and minimally invasive development.

Keywords

Microvascular Decompression, Trigeminal Neuralgia, Efficacy Comparison, Complication, Technological Innovation

Copyright © 2025 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

三叉神经是十二对脑神经中的第五对，三叉神经分为三个主要分支，主要是眼神经支，上颌神经支和下颌神经支[1]。三叉神经痛是一种以一侧面部三叉神经分布区域反复发作的剧烈疼痛为特征的神经系统疾病，也被称作“天下第一痛”，疼痛常呈突发突止，每次持续时间可从数秒到数分钟不等。疼痛性质常为电击样或刀割样剧烈疼痛。三叉神经痛的触发一般都存在一个“扳机点”，如日常刷牙、洗脸甚至微风拂面均可诱发疼痛。有研究表明，几乎所有患者的阵发性疼痛与触发因素存在普遍关联，这使得触发因素也作为三叉神经痛的核心诊断特征[2]。经国际疼痛研究协会(IASP)与国际头痛学会(IHS)联合委员会修订，三叉神经痛现分为三类：典型性(伴显著神经血管压迫)、继发性及特发性[3]。其中典型性占有明确病因三叉神经痛病例的主要部分。典型性的主要病因是因为三叉神经根部受到临近血管的压迫，导致神经的脱髓鞘病变，从而引起神经的异常放电。典型性三叉神经痛的核心是神经血管压迫导致的神经根结构性损伤，而非单纯的血管接触，因为无症状人群也可能存在血管接触，因此诊断时依赖高分辨率 MRI 显示明确的血管压迫并导致神经根结构异常[4]。

微血管减压术是在显微镜下找到被压迫的神经, 放置一些减压材料, 通过物理隔离的方法将血管与神经分开, 从而恢复神经正常功能。患者取垫肩仰卧位, 头架固定并旋转 60°。神经导航定位乙状窦-横窦交界, 行 5 cm 弧形切口, 用颅骨钻完成 3 × 2 cm 骨窗。切开硬膜, 释放小脑延髓池脑脊液后, 用显微器械牵开小脑显露三叉神经。显微镜下全面探查神经周围血管压迫点, 将 Teflon 棉片间隔植入责任血管与神经之间完成减压[5]。目前微血管减压术已被国际指南推荐为治疗典型性三叉神经痛的一线治疗方案。

有研究表明, 约 9% 的患者在术后出现疼痛复发, 主要表现为药物难以控制的疼痛。术后并发症的发生率约为 20% 左右, 主要包括脑脊液漏和伤口感染等[6]。本文通过总结术后影响因素、与其他术式的疗效比较等, 可优化手术适应症的筛选, 降低无效手术率。面对不同患者, 针对性制定手术策略, 降低术后复发率以及术后并发症的发生。

2. 术后疗效评估

疗效评估指标术后疗效评估需多维度综合考量, 涵盖疼痛缓解、功能恢复及生活质量改善: **疼痛缓解率:** Barrow 神经学研究所(BNI)疼痛评分是评估三叉神经痛疗效的核心标准化工具, 将术后疼痛缓解分为五级(BNI 1 级为完全无痛无需药物, 5 级为疼痛加重)。 **并发症发生率:** 微血管减压术在治疗三叉神经痛方面总体安全有效, 但术后并发症包括严重危及生命的风险(如小脑梗死、颅内出血、急性脑积水, 发生率约 1.18%)、神经耳科并发症(听力损失 4.17%~6.77%、眩晕 5.73%、面瘫 0.52%)、伤口相关并发症(CSF 渗漏 3.7%~6.1%、感染 5.1%) [7]-[10]。

有研究显示 MVD 治疗原发性三叉神经痛的总有效率超过 90%。在一项针对老年患者的研究中, 34 例老年患者术后有效率为 97.1% (33/34), 其中 91.2% 疼痛完全消失[11]。在围手术期管理得当的情况下, MVD 安全有效, 对高龄患者有一定的适用性。在另一项研究中, 针对 120 例患者的术后总有效率为 95.83% [12]。MVD 通过显微镜清晰视野分离血管与三叉神经, 解除机械压迫, 改善神经解剖关系, 从而提升远期疗效。有研究通过视觉模拟评分(VAS)证实术后疼痛明显减轻。结果显示, 术后 3 个月和 6 个月 VAS 评分较术前显著降低($P < 0.05$) [13]。MVD 具有较低的复发率, 在一项研究中, 针对三叉神经痛患者接受 MVD 手术后复发, 再次接受 MVD 手术, 术后 4 个月复发率仅为 5.88% [14]。大部分接受 MVD 的三叉神经痛患者生活质量评分显著提高。总的来说, 微血管减压术(MVD)是治疗原发性三叉神经痛非常有效的方法, 在充分的围手术期管理下, 其对包括老年人在内的患者群体安全有效。

3. 影响微血管减压术疗效的因素

3.1. 患者因素

3.1.1. 年龄与病程

年轻患者的术后恢复更快, 但高龄的患者预后可能更好, 可能是由于随着年龄的增大, 脑萎缩逐渐加重, 利于术中暴露而成为保护因素[15]。从而提高长期治愈率而病程超过 10 年的患者因神经不可逆损伤风险增高, 复发率上升。病程的长短对患者术后恢复仍存在一定的争议, 仍需要一定的临床实验来证实这一观点。

3.1.2. 基础疾病

高血压、糖尿病患者的微血管病变可能增加术中操作难度及术后并发症风险。

3.2. 手术因素

3.2.1. 术者经验

一些患者存在多根血管压迫, 需术中神经电生理监测辅助判断主要责任血管。术中充分减压(如分离

蛛网膜粘连、彻底松解神经根)可降低复发风险,而术中减压不充分与复发显著相关。

3.2.2. 垫棉材质与放置技术

微血管减压术(MVD)中垫隔材料的合理应用是影响手术疗效的关键因素。研究表明,垫棉的形状(团状或分层片状)与疗效无显著关联,但其用量、压紧程度及吸液后膨胀特性会直接影响三叉神经与责任血管的间隔距离及神经弯曲程度,进而决定手术效果。若垫棉过小或位置不当,可能导致血管搏动传导至神经根,或垫棉移位后引发再次压迫甚至自身压迫神经,增加复发风险。尽管临床建议术中需垫入适量特氟龙棉或涤纶垫片以避免神经受压或血管成角,但缺乏量化标准(如具体距离或形态)导致疗效预测困难[16]。

3.2.3. 影像学因素

磁共振神经成像(MRTA)是评估三叉神经痛微血管减压术(MVD)疗效的重要辅助检查。研究发现,术前行 OX-3D-FIESTA-C 序列扫描,能高清显示神经和血管的压迫和接触关系,与手术中看到的几乎一致。术后复查显示,血管压迫基本解除(从 84%降到 2%),且影像结果与患者疼痛缓解程度挂钩,说明 MRTA 不仅能术前评估,还能评估患者术后恢复情况。此外,OX-3D-FIESTA-C 序列在斜矢状位下,能清楚看到垫棉的位置(显示率 100%),比传统方法更靠谱[17]。在未来,伴随技术的不断发展,能成为三叉神经痛诊疗的“金标准”。

4. 微血管减压术与其他治疗方法的比较

4.1. 药物治疗

卡马西平和奥卡西平为治疗三叉神经痛的一线药物,通过阻断钠/钙通道抑制神经异常放电,卡马西平疗效显著,但副作用较多奥卡西平疗效相当且耐受性更优。当出现不良反应不可耐受时,可考虑加用拉莫三嗪或巴氯芬。一种新的钠通道阻滞剂正在临床实验中,耐受性更好,有望填补现有治疗的耐受性缺陷[18]。卡马西平作为一线药物,但长期使用易出现嗜睡、头晕等副作用;奥卡西平疗效相似且耐受性更佳,但价格较高。MVD 在彻底治愈疼痛方面显著优于药物,尤其适用于难治性病例。

4.2. 其他手术方法

手术治疗适用于药物无效或继发性病因(如血管压迫、肿瘤)患者:微血管减压术(MVD)通过解除神经压迫实现长期缓解(1 年有效率 88%,15 年 75%),但需开颅且存在听力损伤等风险(0.2%~4.5%);伽玛刀放射手术无需开颅(88%患者生活质量改善),但起效延迟 1~2 个月且可能引发感觉障碍[19]。

4.2.1. 射频热凝术

研究对比显示,微血管减压术与半月节射频热凝术治疗三叉神经痛的疗效存在显著差异。MVD 通过解除血管对三叉神经的压迫,有效率达 97.62%,术后疼痛评分显著降低,并发症发生率(16.67%)和 1 年复发率(4.76%)均较低,且从病因上改善症状,适合多数无开颅禁忌患者。而射频热凝术通过高温破坏痛觉纤维,虽能缓解疼痛(有效率 80.95%),但并发症风险高(47.62%),术后复发率达 23.81%,主要适用于高龄或无法耐受开颅手术者[20]。综合而言,微血管减压术因其疗效优、安全性高、复发少,应作为首选治疗方案;射频热凝术则作为替代方案,需谨慎评估风险后选择。

4.2.2. 微球囊压迫术

大多数观点表明,微球囊压迫术的整体有效率比微血管减压术更高,但微血管减压术的术后复发率更低。微球囊压迫术的并发症发生率(3.39%)显著低于微血管减压术(19.05%),但术后面部麻木和咀嚼肌无力发生率更高(45.76% vs. 2.38%)[21]。微球囊压迫术的住院时间(12.36 天)、手术时间(83.26 分钟)和费用(2.63 万元)均

显著低于微血管减压术(20.32 天、165.33 分钟、5.56 万元)[22]。微球囊压迫术的血清氧化应激指标改善更明显, 且不良反应发生率更低。在治疗效果和安全性上优于 MVD [23]。微血管减压术因保留神经功能和低复发率, 推荐用于年轻患者; 微球囊压迫术以微创、恢复快和费用低的优势, 更适合老年或高风险人群。

4.2.3. 伽马刀

微血管减压术术后 1 个月、6 个月的缓解率显著高于伽马刀, 微血管减压术的长期缓解率也明显优于伽马刀, 在总并发症的发生率上, 微血管减压术有着更高的发生率, 但复发率明显更低[24]。伽马刀的起效相对较慢, 在老年患者中, 术后 1 个月缓解率仅 37.9%, 术后效果需数月逐渐提升。在面部麻木、听力下降、感染等并发症的发生率上并无显著差异[25]。伽马刀治疗原发性 TN, 缓解率 87%~92%, 治愈率 55%~70%。虽然该治疗方式在 TN 起效较慢, 且缓解率和治愈率也不如 MVD, 但由于其具有非侵袭性、安全性高等特点, 适用人群较 MVD 更广泛。微血管减压术在疗效(尤其是长期)、复发率方面显著优于伽马刀, 但并发症风险略高; 伽马刀凭借非侵入性优势, 适用于手术禁忌患者。在临床选择时需综合考虑综合患者年龄、健康状况、治疗意愿及对疗效与风险的权衡。对老年患者, 若可耐受手术, 仍建议优先选择微血管减压术; 若存在禁忌, 伽马刀仍是安全有效的替代方案。

5. 微血管减压术最新研究进展

5.1. 机器人辅助手术

通过立体定向系统实现毫米级精准定位, 减少人为误差。机器人手术具备三维全景视野、消除术者手部震颤及器械多角度操作等优势, 理论上无需牵拉小脑即可完成减压, 可能降低听力损失等并发症风险。然而, 现有工具直径较大(8 毫米)、缺乏神经外科专用器械(如钻头)及触觉反馈, 且 3D 模型无法完全模拟真实脑组织动态, 加之设备成本高昂、临床证据不足, 限制了当前应用。未来需开发更小专用器械、验证人体手术安全性与有效性, 以推动机器人手术成为 MVD 的潜在补充或替代方案[26]。

5.2. 人工智能辅助决策

基于深度学习算法分析术前影像数据, 预测术后复发风险。AI 通过分析 MRI 影像辅助识别神经血管冲突, 区分三叉神经痛类型, 并提升诊断准确性。例如, 治疗方面, AI 通过 3D 神经血管分割模型优化微血管减压术规划, 实时术中导航提升手术精准度, 预测术后疗效。然而, AI 在老年患者或罕见病例中表现受限, 未来需结合临床经验完善模型, 加强数据多样性[27]。

5.3. 疗效预测模型

基于机器学习算法整合临床特征、影像学参数(血管压迫角度、神经萎缩程度)构建预测模型, 例如: 通过人工神经网络模型分析三叉神经痛患者微血管减压术后的远期疼痛结局, 识别出四大关键预测因素: 压迫血管位置与疼痛区域对应性、术后即刻疼痛缓解、神经压迫程度及血管类型。人工神经网络模型预测准确率达 95.2%, 验证了微血管减压术作为病因治疗的有效性。次要发现表明, 年龄、性别等人口学因素对预后无显著影响, 研究凸显了人工神经网络模型在整合多因素非线性关系中的优势, 为临床优化手术决策及术后随访提供了数据支持, 但需结合多中心前瞻性数据提升模型泛化能力[28]。

6. 未来研究方向与挑战

6.1. 优化手术策略

6.1.1. 个体化垫棉设计

基于患者血管压迫角度和神经形态, 开发 3D 打印定制垫棉。

6.1.2. 微创入路探索

经迷路入路或乙状窦前入路可减少术后脑脊液漏风险, 但需平衡手术暴露与创伤。

6.1.3. 神经修复技术

术后联合神经营养因子注射, 促进受损神经再生。

6.2. 个体化治疗

分子标志物筛选

通过血液或脑脊液中的 microRNA、蛋白质组学标志物预测术后疗效。

6.3. 新技术整合

6.3.1. 增强现实(AR)导航

结合术中实时影像与虚拟模型, 提升手术精准度。结合术前影像学资料与术中所见相结合生成 3D 模型, 对神经血管结构进行精准定位。有研究以一名三叉神经痛患者为例, 验证了 AR 系统在术中实时叠加血管神经信息、提升复杂解剖区域定向能力的潜力, 但技术应用需面对视野干扰、系统注册耗时等挑战。尽管 AR 在术前规划和教学培训中具有优势, 但其在非肿瘤性血管手术中的实际效益仍需通过前瞻性研究进一步验证, 未来需优化显示模式与流程以平衡技术价值与临床效率[29]。虚拟现实技术通过高精度三维规划与动态模拟, 可以显著提升微血管减压术的安全性与疗效[30]。通过将抽象的影像变得更加直观, 更有助于手术的进行, 进而减少并发症的发生。虚拟现实技术通过整合影像学数据, 高精度构造出复杂的颅内三维模型, 进而清晰展示出责任血管与三叉神经的位置关系, 尤其是对于一些存在复杂血管变异的疑难病例, 手术医师得以提前模拟及规划手术过程, 通过提前预演手术关键步骤, 进而提高手术安全性及疗效。另一方面, 虚拟现实技术, 通过更直观地展示颅内解剖结构, 使得学生更容易理解与接受, 成为神经外科教学中的有力工具。但虚拟现实技术仍有一些问题需要面对, 例如, 手术时脑脊液流失、牵拉导致的组织移位会导致术前影像与术中的解剖并不一致, 这就使得我们需要动态解决组织移位问题进而提高虚拟现实技术的精度。

6.3.2. 纳米材料应用

开发具有抗炎和促修复功能的纳米纤维垫棉, 减少术后粘连和炎症反应。纳米材料具有更优的组织贴合性, 能够减少移位风险, 降低复发率。另一方面, 可将纳米材料作为载体, 负载抗炎药、神经营养因子等, 持续作用于减压部位, 减轻术后炎症反应, 保护神经。但纳米材料在颅内减压部位长期滞留的风险性仍未可知, 另外, 纳米材料的研究与制作成本较高, 在临床中的安全性与实用性仍需进一步验证。

6.3.3. 3D 外窥镜技术

通过高分辨率和窄带成像技术, 可在狭窄区域提供一个良好的手术视野。手术操作更加灵活。外窥镜置于术者身后, 3D 摄像头位于胸前, 术者全程保持直立姿势, 有一个更加舒适的操作环境。手术过程中, 整个手术团队可共享 3D 视图。3D 外窥镜在深部狭窄通道中基本无需内镜辅助即能清晰显露神经血管冲突(如岩骨后或 Dandy 静脉区), 显著提升操作安全性与团队协作效率[31]。机械臂外窥镜通过智能动态追踪与协同式 3D 术野, 显著提升 MVD 手术中对复杂血管神经冲突的处理效率, 尤其适用于深部静脉压迫的精细操作, 是传统显微镜及固定外窥镜的重要技术升级[32]。

7. 结论

微血管减压术通过解除血管压迫, 从病因层面治疗三叉神经痛, 其长期疗效与安全性已得到广泛验

证。未来需进一步整合多模态影像、人工智能及新型材料技术, 推动 MVD 向精准化、微创化发展, 最终实现“零复发、零并发症”的治疗目标。此外, 加强多中心大样本研究、优化成本效益分析, 并探索术后康复管理模式, 将是提升患者整体预后的关键方向。随着技术的不断进步和跨学科合作的深化, MVD 有望在未来十年内成为三叉神经痛治疗的唯一金标准, 彻底改变患者的生活质量。

参考文献

- [1] Huff, T., Weisbrod, L.J. and Daly, D.T. (2024) Neuroanatomy, Cranial Nerve 5 (Trigeminal). StatPearls.
- [2] Di Stefano, G., Maarbjer, S., Nurmikko, T., Truini, A. and Cruccu, G. (2017) Triggering Trigeminal Neuralgia. *Cephalalgia*, **38**, 1049-1056. <https://doi.org/10.1177/0333102417721677>
- [3] (2018) Headache Classification Committee of the International Headache Society (IHS) The International Classification of Headache Disorders, 3rd Edition. *Cephalalgia*, **38**, 1-211.
- [4] Cruccu, G., Finnerup, N.B., Jensen, T.S., Scholz, J., Sindou, M., Svensson, P., *et al.* (2016) Trigeminal Neuralgia: New Classification and Diagnostic Grading for Practice and Research. *Neurology*, **87**, 220-228. <https://doi.org/10.1212/wnl.0000000000002840>
- [5] Theodros, D., Rory Goodwin, C., Bender, M.T., Zhou, X., Garzon-Muvdi, T., De la Garza-Ramos, R., *et al.* (2017) Efficacy of primary microvascular decompression versus subsequent microvascular decompression for trigeminal neuralgia. *Journal of Neurosurgery*, **126**, 1691-1697. <https://doi.org/10.3171/2016.5.jns151692>
- [6] Amaya Pascasio, L., De La Casa-Fages, B., Esteban de Antonio, E., Grandas, F., García-Leal, R. and Ruiz Juretschke, F. (2023) Microvascular Decompression for Trigeminal Neuralgia: A Retrospective Analysis of Long-Term Outcomes and Prognostic Factors. *Neurologia (English Edition)*, **38**, 625-634. <https://doi.org/10.1016/j.nrleng.2021.03.010>
- [7] Yue, Y., Zhao, Z., Liu, D., Liu, H., Lu, D., Zhang, H., *et al.* (2021) Life-threatening Complications after Microvascular Decompression Procedure: Lessons from a Consecutive Series of 596 Patients. *Journal of Clinical Neuroscience*, **86**, 64-70. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2021.01.014>
- [8] Khan, S.A., Lallou, A., Vats, A. and Nath, F. (2020) Microvascular Decompression: Incidence and Prevention of Post-operative CSF Leakage in a Consecutive Series of 134 Patients. *British Journal of Neurosurgery*, **34**, 416-418. <https://doi.org/10.1080/02688697.2020.1749989>
- [9] Bartindale, M., Mohamed, A., Bell, J., Kircher, M., Hill, J., Anderson, D. and Leonetti, J. (2020) Neurologic Complications Following Microvascular Decompression: A Retrospective Study. *Journal of Neurological Surgery Part B: Skull Base*, **81**, 37-42.
- [10] Alford, E.N., Chagoya, G., Elsayed, G.A., Bernstock, J.D., Bentley, J.N., Romeo, A., *et al.* (2020) Risk Factors for Wound-Related Complications after Microvascular Decompression. *Neurosurgical Review*, **44**, 1093-1101. <https://doi.org/10.1007/s10143-020-01296-1>
- [11] 王小言, 曹作为, 陈伟明. 老年性三叉神经痛 34 例微血管减压术临床分析[J]. 中国现代医学杂志, 2012, 22(19): 87-89.
- [12] 庄志军, 林国诗, 周昌富, 等. 微血管减压术对原发性三叉神经痛的治疗效果分析[J]. 中国现代药物应用, 2024, 18(5): 54-56.
- [13] 陈竹, 马鸿元, 李勇军. 显微镜下微血管减压术对原发性三叉神经痛患者远期疗效及疼痛程度的影响[J]. 临床医学工程, 2024, 31(10): 1193-1194.
- [14] 姜成荣, 徐武, 王晶, 等. 微血管减压术后复发三叉神经痛个体化治疗的研究[J]. 临床神经外科杂志, 2021, 18(3): 326-329.
- [15] 孔君, 陈陆飏. 原发性三叉神经痛微血管减压术后预后影响因素研究的进展[J]. 东南大学学报(医学版), 2016, 35(5): 821-823.
- [16] 黄润鑫, 姚麒, 沈剑虹. 原发性三叉神经痛显微血管减压手术疗效的影响因素分析[J]. 中华神经医学杂志, 2024, 23(3): 270-276.
- [17] 王小军, 余清, 朱蔚骏. 磁共振颅神经成像对原发性三叉神经痛微血管减压术疗效的评估价值[J]. 交通医学, 2025, 39(1): 54-56.
- [18] Zakrzewska, J.M., Palmer, J., Ettlin, D.A., Obermann, M., Giblin, G.M., Morisset, V., *et al.* (2013) Novel Design for a Phase IIa Placebo-Controlled, Double-Blind Randomized Withdrawal Study to Evaluate the Safety and Efficacy of CNV1014802 in Patients with Trigeminal Neuralgia. *Trials*, **14**, Article No. 402. <https://doi.org/10.1186/1745-6215-14-402>

- [19] 白雪强, 倪衡建, 张志军. 三叉神经痛的药物和手术治疗[J]. 南通大学学报(医学版), 2017, 37(3): 233-238.
- [20] 孙道宾, 陈圣柏, 许东, 等. 三叉神经痛微血管减压术与三叉神经痛半月节射频热凝术治疗三叉神经痛的疗效对比分析[J]. 中外医疗, 2022, 41(31): 14-17, 22.
- [21] 尚毓淳, 赵永轩, 张业森. 经皮穿刺微球囊压迫术与微血管减压术治疗原发性三叉神经痛的临床效果比较[J]. 淮海医药, 2024, 42(6): 604-607.
- [22] 刘永泰, 朱龙, 寇堃. 微球囊压迫术与微血管减压术治疗三叉神经痛的疗效对比[J]. 当代医药论丛, 2024, 22(9): 13-15.
- [23] 谷佳, 张磊, 王斌. 微球囊压迫术与微血管减压术治疗原发性三叉神经痛的疗效分析[J]. 中外医疗, 2023, 42(25): 68-71.
- [24] 欧阳禹权, 石涛涛, 魏俊怀, 等. 微血管减压术与伽玛刀治疗原发性三叉神经痛疗效的 Meta 分析[J]. 中国微侵袭神经外科杂志, 2020, 25(2): 62-67.
- [25] 王宏昭, 焦峻峰, 马琳, 等. 显微血管减压术与伽玛刀治疗老年原发性三叉神经痛近期疗效的对比分析[J]. 中国微侵袭神经外科杂志, 2019, 24(7): 307-309.
- [26] Ji, H.K., Lee, M.H. and Lee, T. (2024) Robotic Surgery for Microvascular Decompression in Hemifacial Spasm: A Feasibility Study. *Neurofunction*, **20**, 28-33. <https://doi.org/10.52662/nf.2023.00108>
- [27] Battistelli, M., Izzo, A., D'Ercole, M., D'Alessandris, Q.G. and Montano, N. (2023) The Role of Artificial Intelligence in the Management of Trigeminal Neuralgia. *Frontiers in Surgery*, **10**, Article 1310414. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2023.1310414>
- [28] Hao, W., Cong, C., Yuanfeng, D., Ding, W., Li, J., Yongfeng, S., et al. (2022) Multidata Analysis Based on an Artificial Neural Network Model for Long-Term Pain Outcome and Key Predictors of Microvascular Decompression in Trigeminal Neuralgia. *World Neurosurgery*, **164**, e271-e279. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2022.04.089>
- [29] Tanrikulu, L. (2024) Microscope-Based Augmented Reality: A New Approach in Intraoperative 3D Visualization in Microvascular Decompression? *Cureus*, **16**, e62417. <https://doi.org/10.7759/cureus.62417>
- [30] Fabrig, O.D., Serra, C. and Kockro, R.A. (2024) Virtual Reality Planning of Microvascular Decompression in Trigeminal Neuralgia: Technique and Clinical Outcome. *Journal of Neurological Surgery Part A: Central European Neurosurgery*, **85**, 585-593. <https://doi.org/10.1055/s-0043-1777762>
- [31] Herta, J., Rössler, K. and Dorfer, C. (2024) Use of a 3D Exoscope in Microvascular Decompression of the Trigeminal Nerve Root. *Neurosurgical Focus: Video*, **10**, V13. <https://doi.org/10.3171/2023.10.focvid23149>
- [32] Khalifeh, J.M., Ahmed, A.K., Ishida, W., Materi, J., Kalluri, A., Lubelski, D., et al. (2024) Initial Institutional Experience Using a Robotic Arm-Enabled 4K 3D Exoscope in Neurosurgical Operations. *Neurosurgical Focus: Video*, **10**, V2. <https://doi.org/10.3171/2023.10.focvid23150>