

3D Slicer 三维影像重建技术在显微血管减压术治疗原发性三叉神经痛中的应用

单 明 王 毅 吕 波 毛宏亮 程宏伟

【摘要】 目的 探讨 3D Slicer 三维影像重建技术在显微血管减压术(MVD)治疗原发性三叉神经痛(PTN)中的应用价值。**方法** 回顾性分析 2020 年 1 月至 2022 年 12 月 MVD 治疗的 56 例 PTN 的临床资料。术前行 3D-TOF-MRA、3D-FIESTA 扫描,并应用 3D Slicer 软件进行三维影像重建,了解血管与神经的关系、责任血管走行并模拟手术;术中显微镜下不能充分暴露或操作困难时,应用神经内镜进行观察及操作。**结果** 55 例术中确认存在责任血管,其中 12 例在神经内镜下确认;1 例术中未发现责任血管。53 例术前三维重建影像发现的责任血管与术中发现一致;3 例术前三维重建影像为阴性,包括术中证实为静脉压迫 2 例、未发现责任血管 1 例。42 例术后疼痛即刻消失,明显减轻 13 例,无变化 1 例。术后出现面部麻木 4 例、口周疱疹 1 例,对症治疗后缓解。术后随访 15~47 个月,BNI 疼痛分级 I~II 级 53 例,III 级 2 例,IV 级 1 例;有效率为 94.6%。**结论** 应用 MVD 治疗 PTN 时,3D Slicer 三维影像重建技术有助于术前明确责任血管及其走行,可模拟手术以优化手术规划,减少术中不必要的探查与牵拉。神经内镜可弥补显微镜视野盲区,有助于暴露责任血管,减少责任血管遗漏,并可辅助确认及调整棉片的位置,提高手术效果。

【关键词】 原发性三叉神经痛;显微血管减压术;3D-TOF-MRA;3D-FIESTA;3D Slicer 三维重建技术;神经内镜

【文章编号】 1009-153X(2024)02-0065-05 **【文献标志码】** A **【中国图书资料分类号】** R 745.1⁺; R 651.1⁺

Application of 3D image reconstruction using 3D Slicer software in microvascular decompression for patients with primary trigeminal neuralgia

SHAN Ming, WANG Yi, LÜ Bo, MAO Hong-liang, CHENG Hong-wei. Department of Neurosurgery, The First Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei 230022, China

【Abstract】 Objective To investigate the application value of three-dimensional (3D) image reconstruction in microvascular decompression (MVD) for primary trigeminal neuralgia (PTN). **Methods** A retrospective analysis was conducted on the clinical data of 56 patients with PTN who underwent MVD from January 2020 to December 2022. Pre-operatively, 3D-TOF-MRA and 3D-FIESTA scans were performed, and the 3D Slicer software was used for 3D image reconstruction to understand the relationship between vessels and nerves, identify the running course of responsible vessels, and simulate the surgery. An endoscope was used during surgery when the responsible vessels were not fully exposed under a microscope. **Results** The responsible vessels were confirmed during surgery in 55 patients, of whom 12 were confirmed by endoscope, and no responsible vessels were found in one case during surgery. The responsible vessels identified by the preoperative 3D reconstruction images was consistent with those found during surgery in 53 patients. The preoperative 3D reconstruction images were negative in 3 patients, including 2 patients confirmed as vein compression during surgery and 1 without finding the responsible vessel. The pain disappeared immediately in 42 patients after surgery, significantly improved in 13, and did not change in 1. Postoperative facial numbness occurred in 4 patients and herpes zoster in 1, which were improved after symptomatic treatment. The follow-up ranged from 15 months to 47 months. The BNI grade I~II was achieved in 53 patients, grade III in 2, and grade IV in 1. The effective rate was 94.6%. **Conclusions** For patients with PTN undergoing MVD, 3D image reconstruction using 3D Slicer software can assist in pre-operative clarification of the responsible vessels and their running course, which can simulate surgery to optimize surgical planning and reduce unnecessary exploration and traction during surgery. The endoscope can complement the blind area of the microscope and help expose the responsible vessels, reducing the risk of missing responsible vessels, and can also assist in confirming and adjusting the position of Teflon pads in order to improve the surgical outcomes.

【Key words】 Primary trigeminal neuralgia; Microvascular decompression; 3D-TOF-MRA; 3D-FIESTA; 3D Slicer software; Neuroendoscopy

doi:10.13798/j.issn.1009-153X.2024.02.001

基金项目:安徽省自然科学基金(2208085MH224)

作者单位:230022 合肥,安徽医科大学第一附属医院神经外科(单明、王毅、吕波、毛宏亮、程宏伟)

三叉神经痛是神经外科常见的颅神经疾病,其中原发性三叉神经痛(primary trigeminal neuralgia, PTN),即经典型三叉神经痛,系静脉或动脉压迫三叉神经根出入脑干区(root exit zone, REZ)所引起的。显微血管减压术(microvascular decompres-

sionMVD)是当前治疗PTN的首选外科方法^[1],而手术的关键在于责任血管的辨认及可靠充分的减压^[2]。磁共振断层血管成像(magnetic resonance tomographic angiography, MRTA)系三叉神经MRI常规序列影像,是二维空间影像,不能直观地显示责任血管及其局部解剖的三维空间关系,导致临床判断主观性大。另外,显微镜存在视野盲区,使视野受限,常导致责任血管暴露困难、血管遗漏、手术困难、减压无效等,直接影响PTN病人的疗效。2020年1月至2022年12月收治56例PTN,术前应用3D Slicer三维重建技术优化手术计划,术中应用神经内镜辅助,临床效果满意,现报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 本研究共纳入56例PTN,其中男性17例,女性39例;年龄31~78岁,平均(60.8±11.1)岁;疼痛位于左侧20例、右侧36例;疼痛分布三叉神经第Ⅱ支4例,第Ⅲ支17例,第Ⅰ、Ⅱ支9例,第Ⅱ、Ⅲ支23例,第Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ支3例。52例有卡马西平等药物治疗史,2例既往采用射频消融治疗,1例既往采用封闭治疗。

1.2 术前评估 所有病人均符合PTN的临床诊断标准且排除手术禁忌症,术前常规行MRTA(3D-TOF-

MRA、3D-FIESTA序列)、头颅CT检查,应用3D Slicer软件进行影像融合并三维重建三叉神经区域结构,了解责任血管及其走行,模拟手术入路,观察术野,优化手术切口设计及暴露范围。

1.3 手术方法 所有病人均采用患侧头肩部抬高仰卧体位,做耳后横切口,采用枕下乳突后入路。术中使骨窗充分暴露横窦乙状窦转角,充分释放脑脊液。根据模拟手术的结果解剖蛛网膜、显露术区,常规行显微镜下操作,逐步暴露责任血管及其相关解剖结构。对于术中显微镜下无法满足暴露的结构或显微镜下操作困难时,灵活应用神经内镜进行术区观察及手术操作。

1.4 随访 末次随访使用巴罗神经病学研究所(Barrow Neurological Institute, BNI)疼痛分级评估疼痛的严重程度:Ⅰ级,疼痛消失,停药;Ⅱ级,偶有疼痛,无需服药;Ⅲ级,疼痛药物可控;Ⅳ级,疼痛较术前好转,但药物不可控;Ⅴ级,疼痛严重或无缓解^[3]。Ⅰ~Ⅱ级认定为治疗有效。

2 结果

2.1 术前三维重建影像的判断效果 55例术中明确责任血管,其中12例在神经内镜下确认(图1)。术前三维重建影像共发现责任血管53例,与术中所见

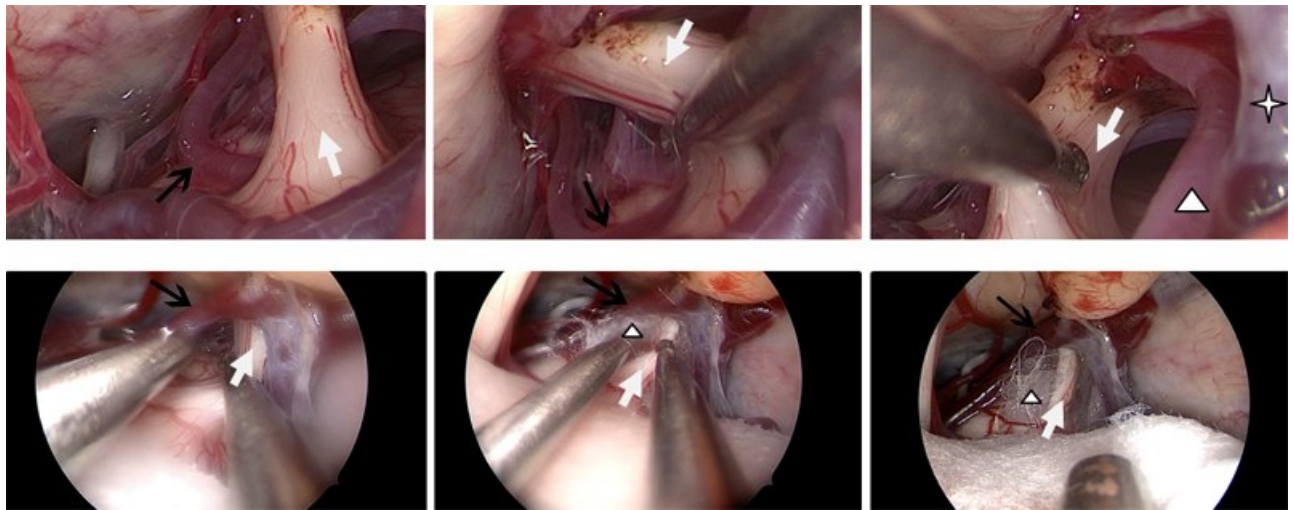


图1 原发性三叉神经痛显微血管减压术中应用神经内镜辅助观察责任血管、调整Teflon棉片

A~C. 神经内镜下观察术区,清晰显示三叉神经(白色↑示)、小脑前下动脉位于三叉神经腹侧(黑色↑示)、小脑上动脉(△示)、岩静脉(☆示); D~F. 神经内镜下放置、调整Teflon垫片,白色↑示三叉神经,黑色↑示岩静脉,△示Teflon垫片

Figure 1 Application of a neuroendoscope to observe the responsible vessels and adjust the Teflon pad during microvascular decompression for a patient with primary trigeminal neuralgia

A~C: Neuroendoscopic observation of the surgical area, clearly showing the trigeminal nerve (white ↑), anterior inferior cerebellar artery located at the ventral side of the trigeminal nerve (black ↑), superior cerebellar artery (△), and petrosal vein (☆). D~F: Placement and adjustment of the Teflon pad under the neuroendoscope, white ↑ showing the trigeminal nerve, black ↑ showing the petrosal vein, and △ showing the Teflon pad.

吻合度高。三维重建影像可实现多视角观察,优化手术路径(图2);三维重建影像可实现从骨窗到术区的手术全程模拟,引导实际手术路径准确度高(图3)。

2.2 手术效果 42例术后疼痛即刻消失,13例明显减轻,1例无变化。术后出现面部麻木4例、口周疱疹1例,经对症治疗后均缓解。

2.3 随访结果 56例术后随访15~47个月,中位数31个月;BNI分级Ⅰ~Ⅱ级53例,Ⅲ级2例,Ⅳ级1例;有效率为94.6%。

3 讨论

目前,MVD仍是PTN最有效的外科治疗手段,责任血管的辨认及其充分减压是手术的关键,充分的术前评估、准确的术区暴露、有效的手术操作是手术质量的重要保障。术后出血是MVD最严重的并发症之一,这与术中过多解剖与探查密切相关。因此,术前三维影像重建及模拟手术、术中灵活应用神经内镜暴露责任血管、减少盲目探查及无效操作尤为重要。

3D-TOF-MRA、3D-FIESTA是常规应用于三叉神经的MRI检查的序列,前者突出优势在于能有效显示局部动脉走行,而对静脉的显示相对较差;后者则通过强化脑脊液和脑池内血管和神经的对比度,增强显示神经的形态与走行,缺点在于难以区分神经与血管信号;二者联合可提高对责任血管的识别能力,但作为二维图像,仍无法直观显示三叉神经及其周边血管的空间立体关系,断层扫描对于责任血管的识别及走行亦无法准确判断,根据阅片经验的推测的主观性较大,常导致临床误判,影响手术质量及病人预后。

近年来,影像后处理技术日渐成熟并逐步应用于临床^[4]。本研究应用3D Slicer软件,将3D-TOF-MRA、3D-FIESTA进行配准并重建血管、脑干及三叉神经等结构,进行围绕三叉神经区的三维立体建模,实现三叉神经REZ、责任血管及血管近远端走行的直观显示。此外,本研究进一步融合CT的颅骨信息以模拟手术治疗,通过模拟骨窗下桥小脑角区视野,了解体位差异对术区显露的影响,应用“仿真内镜”技术模拟手术路径,实现局部解剖的多视角观

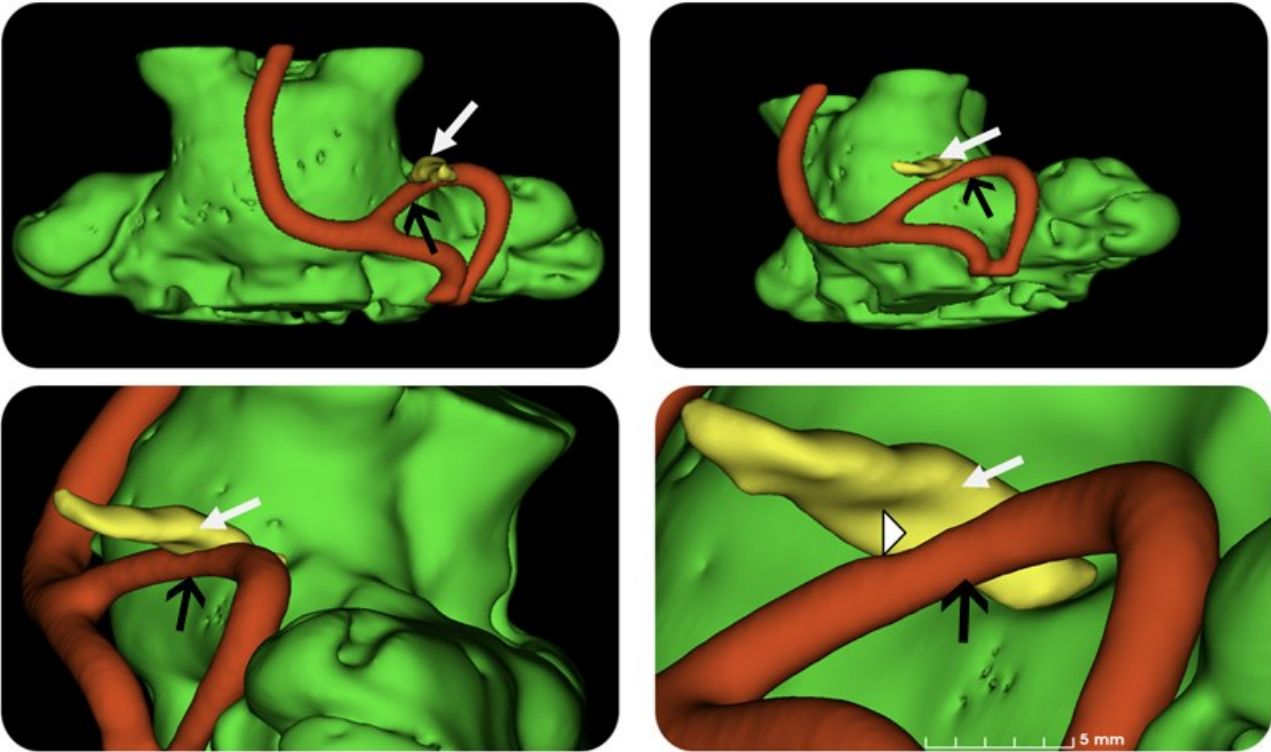


图2 原发性三叉神经痛显微血管减压术前应用3D Slicer软件进行三维影像重建并多景深、多角度观察血管与神经的关系
白色↑示三叉神经,黑色↑示椎动脉,△示血管压迫

Figure 2 Observation of the responsible vessels and nerves of a patient with primary trigeminal neuralgia by 3D images re-constructed using the 3D Slicer software
White ↑ showing the trigeminal nerve, black ↑ showing the vertebral artery, and △ showing the mark comprssed by the responsible vessel.

察,最后结合上述结果对实际手术的体位、切口、骨窗及手术路径进行个体化设计优化,有效减少术中不必要的暴露、探查及牵拉,提高手术质量。本文 53 例影像后处理结果发现的责任血管与术中所见基本一致,其余 3 例因 TOF 动脉成像不清、术中证实为静脉压迫或无责任血管等原因导致术前阴性发现。我们发现,实景模拟手术与术中所见相似度较高,藉此进行引导解剖更具方向性,责任血管暴露更为精准,无效暴露及牵拉明显减少,术中、术后均未出现严重出血及神经功能障碍。与此同时,必须认识到影像后处理技术仅是一种术前评估工具,受限于术前影像分辨率及软件阈值调整、处理失真等因素影响,并不能成为临床决策的依据,加之实际手术中脑脊液丢失等客观存在,以及三叉神经 MRTA 对于静脉成像的不足,目前仍需紧密结合临床实际,如病人疼痛范围与动脉压迫的临床-解剖关系是否一致作出静脉压迫等可能的合理预测,术中灵活应用神经内镜辅助进行三叉神经全程多角度探查,为手术保驾护航,提高手术质量,改善病人预后。

传统 MVD 在显微镜下进行,视觉路径可经骨窗至术区全程,双目视野能感知术野深浅,手术操作安全有效,目前仍是临床最常用的术式^[5]。但相关研究

表明,显微镜视野下 MVD 对于责任血管的识别存在较大误差^[6],常导致术中误判、减压失败,影响病人预后。此外,显微镜轴向视角常存在盲区,对于存在岩骨遮挡等显露较为困难的病人,虽然部分可通过磨除岩骨、牵拉小脑、调整视野角度进行弥补,但会增加手术时间及损伤、出血等风险。近年来,神经内镜技术逐步应用于临床,能多角度、多深度进行术区观察,特有的鱼眼效应可经微小空间获得广阔视野。一项荟萃分析表明神经内镜下 MVD 的疗效及安全性均明显优于单纯显微镜下手术^[7]。我们在临床实践中体会到:神经内镜辅助显微镜下 MVD,术区清晰开阔,责任血管遗漏少、减压充分,安全可靠,特别是对于单纯静脉压迫的手术决策尤为重要,可有效减少显微镜下的探查、责任血管遗漏,提高术中决策的准确性。此外,神经内镜可对遗漏部位实施 Teflon 垫片的调整。本文 12 例因术前影像学评估不确切、术中岩骨遮挡、责任血管陷入脑干腹侧深部等无法有效暴露,均在神经内镜下探查责任血管及其走行,其中 2 例经神经内镜证实为静脉压迫,1 例证实无血管压迫并予感觉根切断术,术后疼痛立即缓解;5 例在神经内镜下调整 Teflon 垫片,术后证实减压满意。但是,必须认识到神经内镜二维图像缺乏立体

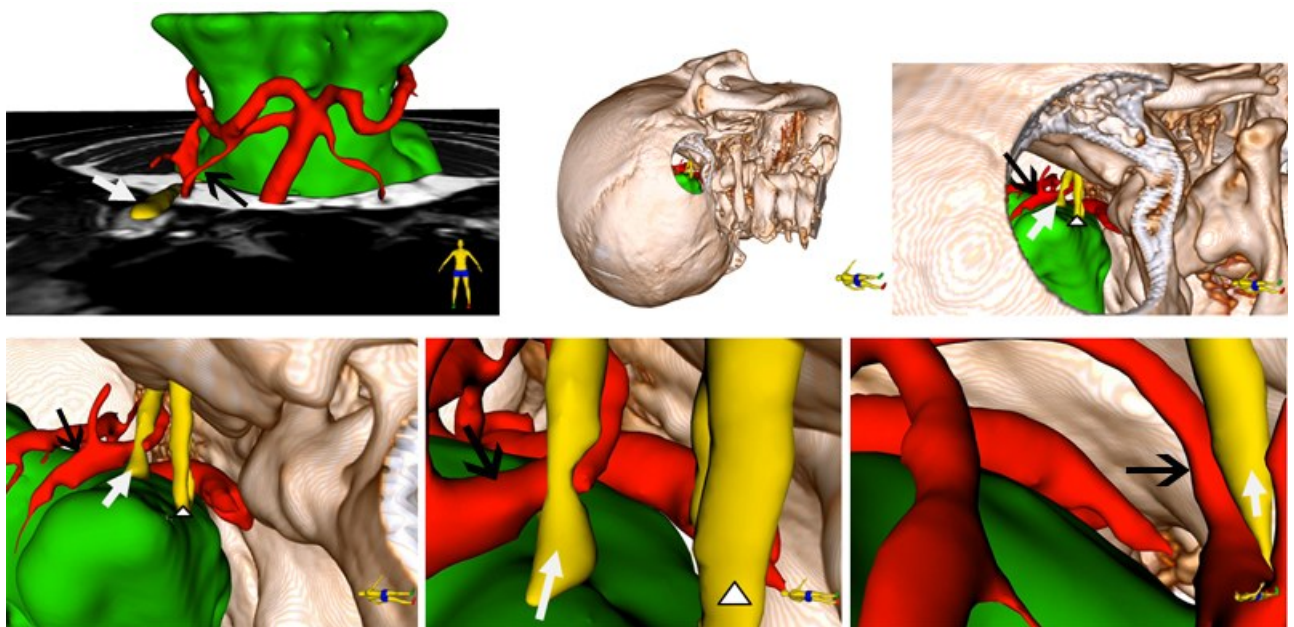


图3 原发性三叉神经痛显微血管减压术前应用 3D Slicer 三维影像重建模拟从骨窗到术区的手术全过程
白色↑示三叉神经,黑色↑示小脑上动脉,△示面听神经

Figure 3 Application of a 3D image model reconstructed by the 3D Slicer software to simulate the entire surgical process from bone window to surgical area before microvascular decompression for primary trigeminal neuralgia
White ↑ indicating the trigeminal nerve, black ↑ indicating the superior cerebellar artery, and △ indicating the facial and auditory nerves.

感且易受干扰,镜头后方盲区的手术误伤风险增加,加之设备本身占据较大空间,在桥小脑角区空间狭小且岩静脉异常粗大等情况下风险更高,如遇术中出血等情况,神经内镜下止血往往很困难,常需转为显微镜视野下操作方可快速有效止血。我们在临床实践中体会到:神经内镜下操作应坚持“同进同出”原则,手术器械置入前应退出神经内镜,在神经内镜监控下逐步深入术区,神经内镜始终跟随器械进出,并尽可能实现轴向一致。此外,神经内镜下机械、热力损伤客观存在,镜头固定臂及专业的神经内镜器械等配套仍不健全,尚待完善,术者对于神经内镜技术的熟练掌握度及学习曲线也在一定程度上会影响手术质量,这些无疑会限制神经内镜技术在 MVD 中的应用。虽然通过盐水冲洗、放置湿润棉片、加强术者专项操作训练等方式弥补以上不足,但对于完全神经内镜下 MVD,目前仍争议较大,其安全有效性仍需进一步研究^[8]。神经内镜辅助显微镜下 MVD 仍是该技术应用的主流。此外,本文 3 例术前三维重建影像有阳性发现,末次随访疼痛改善不佳,其中 2 例责任血管系椎动脉,1 例系小脑上动脉,临床-解剖关系相对一致,术中并未进行神经内镜辅助操作;因此,我们推测术前影像后处理技术本身的局限性及术中神经内镜辅助操作的缺失可能导致了责任血管的遗漏。另外,我们也注意到对于手术减压完全与否的判断仍存在一定的主观性,目前尚无有效的术中评估手段;而且,必须认识到的是,PTN 及 MVD 有效的机制仍系假说阶段,确切机制尚未完全明确,这可能也是预后不佳的潜在原因。

总之,应用 MVD 治疗 PTN 时,3D Slicer 三维重建技术可进行术前精准评估,并模拟手术;术中神经内镜技术与显微镜下手术操作的灵活应用,实现了多技术的相互验证、优势互补,可有效提高责任血管的识别能力及减压有效率,同时减少了盲目探查及不必要的牵拉创伤等,降低手术相关并发症。

【伦理学声明】:该研究于 2022 年 10 月 25 日获得安徽医科大学第一附属医院伦理委员会的批准(批号 2024036)。

【利益冲突声明】:本文不存在任何利益冲突。

【作者贡献声明】:单明提供资源,负责研究设计、数据整理和分析、项目验证、撰写初稿;王毅提供资源,参与数据整理;吕波提供资源;毛宏亮参与研究设计、数据分析;程宏伟提供资源,参与研究设计、项目管理与监督、项目验证,负责修改文章。

【参考文献】

[1] ZHANG SY, LIAO J, JIANG YM, *et al.* Treatment of difficult decompression during microvascular decompression for primary trigeminal neuralgia [J]. Chin J Clin Neurosurg, 2021, 26(10): 772-775, 779.
张施远,廖进,蒋永明,等.原发性三叉神经痛微血管减压术中困难减压的处理[J].中国临床神经外科杂志,2021,26(10):772-775,779.

[2] BICK SKB, ESKANDAR EN. Surgical treatment of trigeminal neuralgia [J]. Neurosurg Clin N Am, 2017, 28(3): 429-438.

[3] KUMAR S, RASTOGI S, KUMAR S, *et al.* Pain in trigeminal neuralgia: neurophysiology and measurement: a comprehensive review [J]. J Med Life, 2013, 6(4): 383-388.

[4] DING HC, GUAN JH, XIE TH, *et al.* Application of imaging post-processing techniques to microvascular decompression through retrosigmoid approach for primary trigeminal neuralgia [J]. Chin J Clin Neurosurg, 2022, 27(11): 895-897.
丁慧超,管江衡,谢天浩,等.影像后处理技术辅助乙状窦后入路手术治疗原发性三叉神经痛[J].中国临床神经外科杂志,2022,27(11):895-897.

[5] PIAZZA M, LEE JY. Endoscopic and microscopic microvascular decompression [J]. Neurosurg Clin N Am, 2016, 27(3): 305-313.

[6] LIN XN, ZHANG FL, TIAN XH, *et al.* Fully neuroendoscopic microvascular decompression for the treatment of trigeminal neuralgia and hemifacial spasm [J]. Chin J Neurosurg, 2017, 33(10): 996-999.
林晓宁,张峰林,田新华,等.神经内镜下显微血管减压术治疗三叉神经痛和面肌痉挛[J].中华神经外科杂志,2017,33(10):996-999.

[7] LI Y, MAO F, CHENG F, *et al.* A meta-analysis of endoscopic microvascular decompression versus microscopic microvascular decompression for the treatment for cranial nerve syndrome caused by vascular compression [J]. World Neurosurg, 2019, 126: 647-655. e7.

[8] HAO HT, BAI YH, ZHAN YP, *et al.* Neuroendoscopy assisted microvascular decompression for patients with MRTA negative primary trigeminal neuralgia [J]. Chin J Neurosurg, 2021, 26(7): 515-517.
郝海涛,白亚辉,占益平,等.神经内镜辅助显微血管减压术治疗 MRTA 阴性原发性三叉神经痛的疗效[J].中国临床神经外科杂志,2021,26(7):515-517.

(2023-12-31 收稿,2024-01-17 修回)