

· 论 著 ·

3D 打印个体化穿刺导板辅助经皮穿刺微球囊压迫术 治疗原发性三叉神经痛

詹维强 姜士炜 寿纪新

【摘要】目的 探讨 3D 打印个体化穿刺导板辅助经皮穿刺微球囊压迫术(PBC)治疗原发性三叉神经痛(PTN)的可行性、安全性及疗效。**方法** 2019 年 1 月至 2023 年 6 月前瞻性收集 62 例 PTN, 根据病人的意愿分为观察组($n=30$)和对照组($n=32$)。观察组术前制作 3D 打印个体化穿刺导板, 术中利用导板设计的穿刺角度和进针位点辅助穿刺, 对照组术中利用经验性 Hartel 路径穿刺。术中记录手术时间、卵圆孔穿刺时间、重复穿刺次数、移动 X 线照射次数; 术后记视觉模拟量表(VAS)评分、并发症情况(面部麻木、咀嚼肌无力、口周疱疹、脑脊液渗漏等)。**结果** 观察组手术时间(42 min; IQR: 37~48 min)较对照组(49.5 min; IQR: 41.5~53)明显缩短($P=0.003$); 观察组卵圆孔穿刺时间(7.5 min; IQR: 5~9 min)较对照组(10.5 min; IQR: 7~16 min)明显缩短($P=0.004$); 观察组术中穿刺次数(2 次; IQR: 2~3 次)较对照组(3 次; IQR: 2~4 次)明显减少($P=0.002$); 观察组术中 X 线照射次数(5 次; IQR: 4~6 次)较对照组(7 次; IQR: 5~8 次)明显减少($P<0.001$)。术后两组 VAS 评分较术前均明显降低($P<0.05$), 但两组之间无统计学差异($P>0.05$)。两组术相关并发症发生率无统计学差异($P>0.05$)。**结论** PBC 治疗 PTN 时, 相比传统的经验性穿刺, 3D 打印个体化穿刺导板辅助能达到相同的治疗效果, 而且明显缩短手术时间、穿刺时间, 明显减少穿刺次数及 X 线照射次数。

【关键词】 原发性三叉神经痛; 经皮穿刺微球囊压迫术; 3D 打印个体化穿刺导板

【文章编号】 1009-153X(2024)03-0139-05 **【文献标志码】** A **【中国图书资料分类号】** R 745.1⁺; R 651.1⁺

Safety and efficacy of percutaneous balloon compression assisted by a 3D printed personalized guide plate for patients with primary trigeminal neuralgia

ZHAN Wei-qiang¹, JIANG Shi-wei¹, SHOU Ji-xin². 1. Department of Neurosurgery, Xinyang Central Hospital, Xinyang 464000, China; 3. Department of Neurosurgery, The Fifth Affiliated Hospital, Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China

【Abstract】 Objective To investigate the feasibility, safety, and efficacy of 3D printing individualized guide plate assisted percutaneous balloon compression (PBC) for patients with primary trigeminal neuralgia (PTN). **Methods** Between January 2019 and June 2023, 62 patients with PTN were prospectively collected and divided into an observation group ($n=30$) and a control group ($n=32$) according to the patient's preference. The 3D printing individualized puncture guide plate was prepared before surgery in the observation group, and the puncture angle and needle insertion site were assisted by the guide plate during surgery. The experience-based Hartel path for puncture was used during surgery in the control group. The surgical time, foramen ovale puncture time, number of repeated punctures and number of X-ray exposures were recorded during surgery. After surgery, the visual analog scale (VAS) score and complications (facial numbness, trismus, herpes zoster around the mouth, cerebrospinal fluid leakage, etc.) were recorded. **Results** The surgical time in the observation group (42 min; IQR: 37~48 min) was significantly shorter than that (49.5 min; IQR: 41.5~53 min) in the control group ($P=0.003$). The foramen ovale puncture time in the observation group (7.5 min; IQR: 5~9 min) was significantly shorter than that (10.5 min; IQR: 7~16 min) in the control group ($P=0.004$). The number of punctures in the observation group (2 times; IQR: 2~3 times) was significantly reduced compared with that (3 times; IQR: 2~4 times) in the control group ($P=0.002$). The number of X-ray exposures in the observation group (5 times; IQR: 4~6 times) was significantly reduced compared with that (7 times; IQR: 5~8 times) in the control group ($P<0.001$). The VAS scores in both groups were significantly lower after surgery than those before surgery ($P<0.05$), but there was no statistical difference between the two groups ($P>0.05$). There was no statistically significant difference in the incidence of procedure-related complications between the two groups ($P>0.05$). **Conclusions** Compared with traditional empirical puncture, 3D printed individualized puncture guide plate can achieve the same therapeutic effect in PBC treatment of PTN, and significantly shorten the operation time, puncture time, and the number of punctures and X-ray exposures.

【Key words】 Primary trigeminal neuralgia; Percutaneous balloon compression; 3D printed individualized puncture guide plate

doi:10.13798/j.issn.1009-153X.2024.03.003

基金项目: 2022 年信阳市重点研发与推广专项基金(20220057)

作者单位: 464000 河南, 信阳市中心医院院外科医学部神经外科(詹维强、姜士炜); 450052 郑州, 郑州大学第五附属医院神经外科(寿纪新)

通信作者: 姜士炜, Email: 13837699718@163.com

原发性三叉神经痛 (primary trigeminal neuralgia, PTN) 是一种慢性神经性疼痛,其特征是面部区域自发性电击样疼痛或刺痛^[1,2],老年人多见^[3],疼痛可能导致病人情绪低落,甚至自杀等^[4]。显微血管减压术 (microvascular decompression, MVD) 为 PTN 的主要手术方法^[5,6],经皮穿刺微球囊压迫术 (percutaneous balloon compression, PBC) 是常用的手段,特别是一些老年病人或 MVD 后复发的病人^[7],PBC 较为简单,术后症状缓解率与 MVD 类似^[8]。但是,PBC 后可能出现神经或肌肉相关的并发症,如面部麻木、咬肌无力、带状疱疹等^[9,10],甚至出现卵圆孔穿刺失败以及出血等。PBC 的技术难点在于如何实现针对不同病人卵圆孔的个体化准确穿刺。目前,利用 CT 三维重建技术可以测量 Meckel 腔的形状和体积,观察卵圆孔的形状及入口面积^[11]。而 3D 打印技术可将获取的三维数据导入三维模拟软件,通过手术仿真将获取的穿刺数据用于生成穿刺导板并指导手术中的穿刺操作^[12]。本研究探讨 3D 打印个体化穿刺导板辅助 PBC 治疗 PTN 的可行性、安全性及疗效。

1 资料与方法

1.1 病例选择标准 纳入标准:确诊为 PTN;经规范的药物治疗,疼痛症状未见明显缓解;存在 MVD 的禁忌;术后未出现缓解或复发;在详细了解手术相关内容后,病人及其家属自愿选择 PBC;在手术前已经征得了病人或其家属的知情同意。排除标准:合并严重冠心病、重度高血压、哮喘、慢性阻塞性肺病、帕金森病;合并精神和行为障碍,如抑郁症、精神分裂症等;合并凝血功能异常;穿刺部位存在感染。

1.2 研究对象 2019 年 1 月至 2023 年 6 月前前瞻性收集 62 例 PTN,其中男 31 例,女 31 例;年龄 56~68.5 岁,平均 (62.7±9.8) 岁;病程中位数 6.95 年 (IQR: 3.4~10.3 年);左侧疼痛 32 例,右侧疼痛 30 例。

根据病人的意愿分为两组,其中 30 例采用基于 CT 重建的 3D 打印穿刺导板辅助穿刺 (观察组),32 例采用移动 X 线 C 臂机引导下经验性手动穿刺 (对照组)。两组病人基线资料无统计学差异 ($P>0.05$; 表 1)。

1.3 CT 三维重建和导板制作

1.3.1 CT 三维重建 两组病人均进行 CT 平扫 (128 排螺旋 CT)。影像重建分别由 2 名影像科主治医师独立完成。将原始 CT 薄层数据导入 Mimics 软件并生成头颈部皮肤的掩膜,通过软件的三维计算工具合

成头部皮肤、血管、骨骼的三维立体模型,测量卵圆孔的形状及入口面积。

1.3.2 构建穿刺针模型 Geomagic Studio 12.0 是机械设计与制造软件,构建穿刺针和穿刺导板引导孔模型。

1.3.3 模拟穿刺 将生成的颅骨、头颈部皮肤和骨骼的三维立体模型导入 Geomagic Studio 12.0 模拟软件中,模拟穿刺并记录穿刺进针位点角度等穿刺数据,根据重建结果生成穿刺导板模型并导出 stl 格式文件。

1.3.4 打印穿刺导板 利用切片软件 Magics 19.0 设计好打印相关参数并导入 3D 打印机生成实物。经过病人配合调试后消毒备用。见图 1。

1.4 手术方法 术前 12 h 禁饮食、4 h 禁饮水,手术在全身麻醉下完成。仰卧位,头架固定头部。在卵圆孔穿刺方法中,对照组病人利用经验性 hartel 路径穿刺^[13],观察组病人佩戴穿刺导板后利用导板设计的穿刺角度和进针位点辅助穿刺。两组病人术中均通过 C 臂透视确认穿刺和球囊充盈情况,穿刺到位后均采用碘海醇充盈球囊。球囊充盈容积为 0.4~1.0

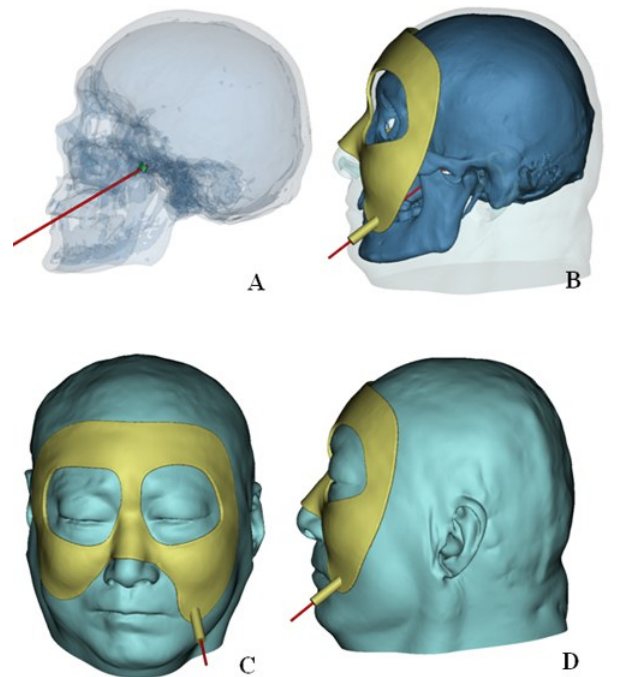


图 1 原发性三叉神经痛经皮穿刺微球囊压迫术前应用 Geomagic Studio 软件模拟穿刺路径以及设计导板模型 A. 穿刺通道的透视图;B~D. 穿刺导板的设计图

Figure 1 Application of Geomagic Studio software to simulate the puncture path and design the guide plate model before percutaneous balloon compression for a patient with primary trigeminal neuralgia

A: Perspective view of the puncture channel. B~D: Design of the puncture guide plate

ml,以“梨形”为目标形态并给予充盈压迫 2~5 min,压迫结束后给予排空并撤出球囊。

1.5 观察指标 术中记录手术时间、卵圆孔穿刺时间、重复穿刺次数、移动 X 线照射次数;术后记视觉模拟量表(visual analogue scale,VAS)评分、并发症情况(面部麻木、咀嚼肌无力、口周疱疹、脑脊液渗漏等)。

1.6 统计学分析 使用 SPSS 25.0 软件进行分析;正态分布计量资料采用 $\bar{x}\pm s$ 描述,采用独立样本 t 检验;非正态分布计量资料用中位数和四分位数间距表示,采用 Mann-Whitney U 检验;计数资料采用 χ^2 检验或 Fisher 精确概率法; $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

观察组手术时间和卵圆孔穿刺时间较对照组明显缩短($P<0.05$,表 2),观察组术中穿刺次数和 X 线照射次数较对照组均明显减少($P<0.05$,表 2)。

两组术后 VAS 评分较术前均明显降低($P<0.05$),但两组之间无统计学差异($P>0.05$,表 3)。两组术后并发症发生率无统计学差异($P>0.05$,表 3)。

3 讨论

PTN 是一种常见的脑神经疾病,具有突发、短暂、针刺样、反复发作的特点^[4],长期疼痛可对病人

表 1 两组原发性三叉神经痛病人的基线资料
Table 1 Baseline characteristics of patients with primary trigeminal neuralgia

临床资料	观察组(n=30)	对照组(n=32)	统计值	P 值
性别(例)			$\chi^2=1.033$	0.309
男	13(43.33%)	18(56.25%)		
女	17(56.67%)	14(43.75%)		
年龄(岁)	62.5±8.48	62.9±11.1	$t=-0.161$	0.873
体质指数(kg/m ²)	24.9±2.59	26.1±2.78	$t=-1.673$	0.1
合并基础疾病(例)				
高血压	9(30%)	11(34.38%)	$\chi^2=0.136$	0.713
糖尿病	8(26.67%)	10(31.25%)	$\chi^2=0.158$	0.691
冠心病	14(46.67%)	16(50%)	$\chi^2=0.069$	0.793
侧别(例)			$\chi^2=0.419$	0.517
左侧	17(56.67%)	15(46.88%)		
右侧	13(43.33%)	17(53.13%)		
病程(年)	6.3(3.4~10.35)	7.65(3.27~10.53)	$Z=-0.599$	0.549
术前 VAS 评分(分)	8(7~9)	8(7~9)	$Z=-0.647$	0.517
卵圆孔解剖				
长径(mm)	7.9±1.44	8.2±1.85	$t=-0.684$	0.496
短径(mm)	4.9±0.77	5.1±0.67	$t=0.245$	0.416
入口面积(mm ²)	31.0±7.96	32.4±8.26	$t=0.97$	0.676

表 2 两组原发性三叉神经痛病人手术效果的比较
Table 2 Comparison of surgical outcomes of patients with primary trigeminal neuralgia

观察指标	观察组(n=30)	对照组(n=32)	统计值	P 值
手术时间(min)	42(37~48)	49.5(41.5~53)	$Z=-2.997$	0.003
卵圆孔穿刺时间(min)	7.5(5~9)	10.5(7~16)	$Z=-2.895$	0.004
穿刺次数(min)	2(2~3)	3(2~4)	$Z=-3.075$	0.002
术中 X 线照射次数(次)	5(4~6)	7(5~8)	$Z=-3.695$	<0.001
术后 VAS 评分(分)	2(2~4)	3(2~4.5)	$Z=-0.667$	0.504
面部麻木(例)	6(20%)	10(31.25%)	$\chi^2=1.024$	0.312
咀嚼肌无力(例)	1(3.33%)	3(9.38%)	$\chi^2=0.203$	0.652
口周疱疹(例)	2(6.67%)	4(12.5%)	$\chi^2=0.12$	0.729
脑脊液渗漏(例)	1(3.33%)	0(0%)	Fisher 精确检验	0.484

的身心健康造成损害。目前,PTN 的治疗方法大致可以分为三类:神经减压(最常见的是解除相邻动脉压迫),神经破坏(球囊压迫、射频消融等)和神经功能调节^[15,16]。MVD 是伴有神经血管压迫和三叉神经根形态学改变的经典 PTN 病人的主要手术方法,可以保持三叉神经的解剖完整性,听力损失、面部感觉损失等并发症的发生率大大降低^[17]。然而,它也有许多局限性,例如手术风险高、成本高,手术操作复杂。射频热凝治疗 PTN 是有效的,技术门槛低,手术时间和成本更具优势,特别适用于基础疾病严重、不能忍受开颅手术的病人,或老年和身体虚弱的病人^[18,19]。

在 20 世纪 80 年代, Mullan 和 Lichtor^[20] 首先将 PBC 用于 PTN 的临床实践。PBC 具有全身麻醉时间短、创伤小等优势,而且所需设备简单、操作便捷,病人恢复快,在各级医院被广泛开展^[21,22]。临床研究显示 PTN 病人 PBC 后症状缓解率接近 100%^[23]。正确的穿刺和成功的压迫是 PBC 成功治疗 PTN 的关键和难点,卵圆孔最大纵径的大小是影响穿刺难度的重要因素。Liu 等^[24]发现,相比于健康志愿者,PTN 病人的双侧卵圆孔尺寸更小。程敏等^[25]发现卵圆孔最大横径<6.0 mm 或最大纵径<3.2 mm(认为是小卵圆孔)的 PTN 病人,术中重复穿刺次数增多。传统的穿刺手法需要在 C 臂 X 线透视引导下以卵圆孔体表投射点作为参照进行穿刺,穿刺的成功率取决于手术医生的水平,其缺点是:精度仍然较差,通常需要重复穿刺,既延长了手术时间,又可能导致穿刺区域神经血管的损伤^[26,27];由于麦氏囊形态学的个体差异,“梨形”的影像学特点不适合于所有病人;反复的 X 线照射也会对病人和医生造成损害。近些年来,随着各种辅助定位方法的出现,如 CT 引导定位、神经导航辅助定位、3D 打印导板辅助定位等,极大地提高了穿刺准确性,提高了手术效果,减少了并发症^[28,29]。PBC 的技术核心在于将球囊精准地经过卵圆孔放置入 Meckel 腔中,其操作大致可以分为两部分,包括卵圆孔穿刺和 Meckel 腔穿刺。在卵圆孔穿刺方面,我们采用 CT 三维重建图像在术前测量卵圆孔开口方向、形态、面积;在 Meckel 腔穿刺方面,我们观察了 Meckel 腔的模拟透视形态并测量了容积。另外,我们将获取的穿刺数据用于指导调整模拟穿刺时的进针方位、角度、深度;所测量的 Meckel 腔数据用于指导术中造影剂用量和观察球囊在 X 线下充盈的目标形态,最终打印生成的穿刺导板指导手术穿刺。

相比于传统 X 线引导下的徒手穿刺方法,3D 打

印导板引导下的穿刺技术具有以下优势:①可以在术前获取卵圆孔和 Meckel 腔的客观数据;②可以降低穿刺的技术门槛,提高穿刺精度,并尽量减少因调整穿刺对附近结构(如动眼肌和外展神经)的潜在损伤,能有效降低术后病人的复视或角膜炎的发生率,既往研究报道的两者发生率分在 1%~4% 和 5%~12%^[30,31];③减少因反复 X 线照射造成的损害。在实际手术操作中,我们发现观察组在穿刺时间、重复穿刺次数、球囊一次性成形次数、X 线照射次数均优于对照组。我们也发现一些现象:观察组仍然有 4 例至少给予了 3 次重复穿刺,观察其卵圆孔测量数据时发现其中 2 例为小卵圆孔,说明对于小卵圆孔病人穿刺使用穿刺导板依然可以导致穿刺失败;观察组 10 例并未采用标准的“梨形”作为目标形态,而是以 CT 重建后的 Meckel 腔的模拟透视形态为标准,术后缓解率和“梨形”病人并未出现明显差异,说明术前形态模拟对术中仍有指导意义。

我们在研究中也发现了一些需要解决的问题:①固定问题,由于皮肤具有一定滑动性,3D 打印导板可能因为滑动导致定位失败。我们查阅了相关文献,也参考了其他研究的设计思路,认为通过骨性结构固定相对牢固且不易滑动,但是手术病人需要经口气管插管,因此无法通过固定下颌骨固定该装置,所以,我们通过双侧颧骨、颞骨、鼻翼形态轮廓固定,效果较好。②穿刺导板的设计和优化问题,由于每个病人的头颅形态和半月节位置都有差异,因此 3D 打印个体化穿刺导板需要根据每个病人的 CT 数据进行定制设计,期间涉及到穿刺导板的形状、大小、厚度、孔径、角度等参数的选择和优化,以保证穿刺导板的稳定性、精确性和舒适性。这些参数可能需要通过数学模型或有限元分析等方法进行计算和验证,也可能需要与临床医生进行多次沟通和协调,以达到最佳的效果。

本研究也存在一些不足之处:由于样本量较小,两组病人的术后并发症对比未发现统计学差异;观察组部分病人出现多次重复穿刺或者穿刺失败,我们仅仅分析了卵圆孔大小对穿刺的影响,由于该部分样本量较少,后期仍需要更多病例来进一步研究卵圆孔尺寸在 3D 打印导板引导穿刺中的影响,此外影响穿刺得其他因素,如局部钙化情况、卵圆孔道的走行关系等;本研究仅仅纳入了 CT 资料,因此,仅能评估骨性结构关系,对于卵圆孔及 Meckel 腔中血管神经情况无法评估,后期仍需要纳入更多其他影像学资料比如 MRI 或者血管造影等,通过多模态的评

估手段能更加精确的评估血管神经同骨性结构的位置关系。

综上所述,PBC 治疗 PTN 时,相比传统的经验性穿刺,3D 打印个体化穿刺导板辅助能达到相同的治疗效果,而且明显缩短手术时间、穿刺时间,明显减少穿刺次数及 X 线照射次数。

【伦理学声明】:本研究严格遵循《赫尔辛基宣言》的原则,病人或其家属均充分了解研究内容,并自愿签署知情同意书。本研究方案于 2023 年 3 月 1 日经信阳市中心医院伦理委员会审批,批号为 20230517。

【利益冲突声明】:本文不存在任何利益冲突。

【作者贡献声明】:詹维强设计构思、落实研究方案,撰写论文;姜士炜、寿纪新设计构思,参与论文修改及定稿。

【参考文献】

[1] CHONG MS, BAHRA A, ZAKRZEWSKA JM. Guidelines for the management of trigeminal neuralgia [J]. *Cleve Clin J Med*, 2023, 90 (6): 355–362.

[2] MOORE D, CHONG MS, SHETTY A, *et al.* A systematic review of rescue analgesic strategies in acute exacerbations of primary trigeminal neuralgia [J]. *Br J Anaesth*, 2019, 123(2): e385–e396.

[3] WANG CH, ZHAO R, RAN DW. The progress in diagnosis and treatment of trigeminal neuralgia [J]. *J Clin Neurol*, 2019, 32: 390–393.

[4] ARAYA EI, CLAUDINO RF, PIOVESAN EJ, *et al.* Trigeminal neuralgia: basic and clinical aspects [J]. *Curr Neuropharmacol*, 2020, 18 (2): 109–119.

[5] SINDOU M, LESTON J, DECULLIER E, *et al.* Microvascular decompression for primary trigeminal neuralgia: long-term effectiveness and prognostic factors in a series of 362 consecutive patients with clear-cut neurovascular conflicts who underwent pure decompression [J]. *J Neurosurg*, 2008, 107(6): 1144–1153.

[6] LU W, WANG H, YAN Z, *et al.* Microvascular decompression for the treatment of neurogenic hypertension with trigeminal neuralgia [J]. *BMC Neurol*, 2019, 19(1): 1–6.

[7] RAGIS J, TULEASCA C, RESSEGUIER N, *et al.* The very long-term outcome of radiosurgery for classical trigeminal neuralgia [J]. *Stereotact Funct Neurosurg*, 2016, 94(1): 24–32.

[8] ZHANG H, LEI D, YOU C, *et al.* The long-term outcome predictors of pure microvascular decompression for primary trigeminal neuralgia [J]. *World Neurosurg*, 2013, 79(5–6): 756–762.

[9] YAYAMA T, KOBAYASHI S, NAKANISHI Y, *et al.* Effects of graded mechanical compression of rabbit sciatic nerve on nerve blood flow and electrophysiological properties [J]. *J Clin Neurosci*, 2010, 17(4): 501–505.

[10] DENG S, LUO J, LAI M, *et al.* Percutaneous balloon compression for trigeminal neuralgia: experience and surgical techniques from a single institution [J]. *Acta Neurol Belg*, 2023, 123(6): 2295–2302.

[11] HAN K, ZHANG D, CHEN J, *et al.* Presurgical visualization of the neurovascular relationship in trigeminal neuralgia with 3D modeling using free Slicer software [J]. *Acta Neurochir (Wien)*, 2016, 158(11): 2195–2201.

[12] VIDAURRE AG, HADEED K, DULAC Y, *et al.* Usefulness of 3D printed models of congenital heart diseases as educational tools for medical students [J]. *Arch Cardiovasc Dis*, 2019, 11(3): e329.

[13] LIU P, ZHONG W, LIAO C, *et al.* Narrow foramen ovale and rotundum: a role in the etiology of trigeminal neuralgia [J]. *J Craniofac Surg*, 2016, 27(8): 2168–2170.

[14] BENDTSEN L, ZAKRZEWSKA JM, ABBOTT J, *et al.* European Academy of Neurology guideline on trigeminal neuralgia [J]. *Eur J Neurol*, 2019, 26(6): 831–849.

[15] RUSCHEWEYH R, LUTZ J, MEHRKENS JH. Trigeminal neuralgia: modern diagnostic workup and treatment [J]. *Schmerz*, 2020, 34: 486–494.

[16] AL-QULITI KW. Update on neuropathic pain treatment for trigeminal neuralgia: the pharmacological and surgical options [J]. *Neurosciences (Riyadh)*, 2015, 20(2): 107–114.

[17] HUANG P, LIU H, LIU Z, *et al.* Effectiveness of percutaneous balloon compression (PBC) in improving physical function and quality of life in trigeminal neuralgia: a retrospective study [J]. *Acta Neurochir (Wien)*, 2023, 165(12): 3905–3912.

[18] TANG YZ, MA L, LI N, *et al.* Percutaneous trigeminal ganglion radiofrequency thermocoagulation alleviates anxiety and depression disorders in patients with classic trigeminal neuralgia: a cohort study [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2016, 95(49): e5379.

[19] LI Y, YANG L, NI J, *et al.* Microvascular decompression and radiofrequency for the treatment of trigeminal neuralgia: a meta-analysis [J]. *J Pain Res*, 2019, 12: 1937–1945.

[20] MULLAN S, LICHTOR T. Percutaneous microcompression of the trigeminal ganglion for trigeminal neuralgia [J]. *J Neurosurg*, 1983, 59(6): 1007–1012.

[21] XU R, XIE ME, JACKSON CM. Trigeminal neuralgia: current approaches and emerging interventions [J]. *J Pain Res*, 2021, 14: 3437–3463.

【伦理学声明】:本研究方案于 2021 年 9 月 20 日经谷城县人民医院医学伦理委员会审批,批号为 20210920。

【利益冲突声明】:本文不存在任何利益冲突。

【作者贡献声明】:付强撰写文章;李欢欢、宋雪倩收集病例资料;陈迎春负责影像后处理及静脉影像融合;林爱龙总结病例及分析;马廉亭修改文章。

【参考文献】

[1] AMINOFF MJ. Vascular anomalies in the intracranial dura mater [J]. Brain, 1973, 96: 601–612.

[2] LASJAUNIAS P, CHIU M, TER BRUGGE K, *et al.* Neurological manifestations of intracranial dural arteriovenous malformations [J]. J Neurosurg, 1986, 64: 724–730.

[3] CHUNG SJ, KIM JS, KIM JC, *et al.* Intracranial dural arteriovenous fistulas: analysis of 60 patients [J]. Cerebrovasc Dis, 2002, 13: 79–88.

[4] ZHANG M, YANG M, PAN L, *et al.* Application of 4D–DSA imaging to diagnosis and treatment of dural arteriovenous fistulas [J]. Chin J

Clin Neurosurg, 2020, 25(3): 129–133.

张 敏,杨 铭,潘 力,等. 4D–DSA 在硬脑膜动静脉瘘诊治中的应用[J]. 中国临床神经外科杂志, 2020, 25(3): 129–133.

[5] ZHAO YY, QIN J, QIN HL, *et al.* A new method to confirm the aneurysm responsible for hemorrhage in patients with multiple intracranial aneurysms after subarachnoid hemorrhage [J]. Chin J Clin Neurosurg, 2021, 26(5): 321–323.

赵曰圆,秦 杰,秦海林,等. 判断颅内多发动脉瘤出血责任动脉瘤的新方法[J]. 中国临床神经外科杂志, 2021, 26(5): 321–323.

[6] DOBROCKY T, MATZINGER M, PIECHOWIAK EI, *et al.* Benefit of advanced 3D DSA and MRI/CT fusion in neurovascular pathology [J]. Clin Neuroradiol, 2023, 33(3): 669–676.

[7] RAZ E, SHAPIRO M, MIR O, *et al.* Arterial and venous 3D fusion AV–3D–DSA: a novel approach to cerebrovascular neuroimaging [J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2021, 42(7): 1282–1284.

[8] CHOI JH, SHIN YS, KIM BS. Image fusion technique using flat panel detector rotational angiography for transvenous embolization of intracranial dural arteriovenous fistula [J]. J Cerebrovasc Endovasc Neurosurg, 2023, 25(3): 253–259.

(2023–09–26 收稿, 2024–03–28 修回)

(上接第 143)

[22] LI MW, JIANG XF, NIU CS. Efficacy of and risk factors for percutaneous balloon compression for trigeminal neuralgia in elderly patients [J]. Br J Neurosurg, 2021, 35(3): 280–284.

[23] MONTANO N, PAPACCI F, CIONI B, *et al.* The role of percutaneous balloon compression in the treatment of trigeminal neuralgia recurring after other surgical procedures [J]. Acta Neurol Belg, 2014, 114: 59–64.

[24] LIU P, ZHONG W, LIAO C, *et al.* Narrow foramen ovale and rotundum: a role in the etiology of trigeminal neuralgia [J]. J Craniofac Surg, 2016, 27(8): 2168–2170.

[25] CHENG M, WANG H, LI CH, *et al.* Role of 3D CT reconstruction measuring foramen oval on percutaneous radiofrequency thermocoagulation for trigeminal neuralgia [J]. Chin J Lab Diagn, 2018, 22(2): 197–199.

程 敏,王 涵,李朝辉,等. 颅底 3D CT 重建测量卵圆孔在三叉神经射频热凝术中的作用[J]. 中国实验诊断学, 2018, 22(2): 197–199.

[26] TEW JR JM, KELLER JT. The treatment of trigeminal neuralgia by percutaneous radiofrequency technique [J]. Neurosurgery, 1977, 24: 557–578.

[27] ICHIDA MC, DE ALMEIDA AN, DA NOBREGA JCM, *et al.* Sensory abnormalities and masticatory function after microvascular decompression or balloon compression for trigeminal neuralgia compared with carbamazepine and healthy controls [J]. J Neurosurg, 2015, 122(6): 1315–1323.

[28] CHEN J, LIN X, LV Z, *et al.* Use of a 3D–printed body surface percutaneous puncture guide plate in vertebroplasty for osteoporotic vertebral compression fractures [J]. PLoS One, 2022, 17(11): e0276930.

[29] WANG Y, SHI S, ZHENG Q, *et al.* Application of 3–dimensional printing technology combined with guide plates for thoracic spinal tuberculosis [J]. Medicine (Baltimore), 2021, 100(6): e24636.

[30] TEXAKALIDIS P, XENOS D, TORA MS, *et al.* Comparative safety and efficacy of percutaneous approaches for the treatment of trigeminal neuralgia: a systematic review and meta–analysis [J]. Clin Neurol Neurosurg, 2019, 182: 112–122.

[31] NETO NNM, DA SILVA MAIA JT, ROLIM DD, *et al.* Percutaneous balloon compression as treatment to trigeminal neuralgia: 14 years of experience in a single center [J]. Neurosurgery, 2017, 64 (CN_suppl_1): 256.

(2023–11–21 收稿, 2024–03–06 修回)