

原发性三叉神经痛术前 MRI 特征与疼痛程度及射频热凝术预后的关系 *

何睿林 冉 娅 胡 鑫 周增华 许圣荣 耿泽阳 吴逸伦 蒋宗滨[△]

(广西医科大学第二附属医院疼痛科, 南宁 530007)

摘 要 目的: 回顾性分析 95 例原发性三叉神经痛 (idiopathic trigeminal neuralgia, ITN) 病人的三叉神经 MRI 形态学特征, 探讨其与疼痛程度以及经皮穿刺射频热凝术 (percutaneous radiofrequency thermocoagulation, PRT) 预后的相关性。**方法:** 收集经 PRT 治疗的 95 例单侧 ITN 病人的一般资料及 MRI 影像。测量并比较其 MRI 形态学指标包括双侧三叉神经根 (trigeminal nerve root, TR) 长度及截面积、神经脑桥夹角、神经跨岩尖转角、血管神经位置关系, 计算三叉神经萎缩程度。评估三叉神经 MRI 形态学特征与 NRS 评分的相关性。通过电话随访获取病人 PRT 术后疗效信息并分为复发组和未复发组, 采用单因素和 Logistic 多因素回归分析评价影响 PRT 预后的独立危险因素。**结果:** ITN 病人症状侧三叉神经根截面积、神经脑桥夹角小于非症状侧 ($P < 0.05$); 神经脑桥夹角与 NRS 评分呈负相关 ($r = -0.206$, $P < 0.05$); 单因素统计分析显示: 病人病程、TR 长度和萎缩程度与 PRT 的预后有关 ($P < 0.05$); 进一步行 Logistic 多因素回归分析显示: 病程是影响 PRT 术后复发的独立危险因素 ($OR = 2.834$, $P < 0.05$)。**结论:** 症状侧三叉神经萎缩以及较小的神经脑桥夹角对 ITN 的诊断具有一定的参考价值; 神经脑桥夹角与病人的疼痛程度有关; 病程的长短是影响 PRT 预后的独立危险因素。

关键词 原发性三叉神经痛; 形态学; 射频热凝术; 预后

Study on the correlation of idiopathic trigeminal neuralgia MRI morphology with pain degree and prognosis of percutaneous radiofrequency thermocoagulation *

HE Ruilin, RAN Ya, HU Xin, ZHOU Zenghua, XU Shengrong, GENG Zeyang, WU Yilun, JIANG Zongbin[△]

(Department of Pain Medicine, the Second Affiliated Hospital of Guangxi Medical University, Nanning 530007, China)

Abstract Objective: To retrospectively analyze the morphology factors of trigeminal nerve in 95 patients with idiopathic trigeminal neuralgia (ITN), and to explore its correlation with pain degree and the prognosis of percutaneous radiofrequency thermocoagulation (PRT). **Methods:** The general data and MRI images of 95 patients with unilateral ITN treated by PRT were collected. The MRI morphological indexes including the length and cross-sectional area of trigeminal nerve root, trigeminal-pontine angle, angle of trigeminal nerve root across petrous apex on both sides, and neurovascular relationship were measured and compared. The atrophy degree of trigeminal nerve root was calculated. The correlation between MRI morphology of trigeminal nerve and NRS score was evaluated. The postoperative efficacy of PRT was obtained through telephone follow-up and the patients were divided into recurrence group and non-recurrence group. Univariate and Logistic multivariate regression analyses were used to evaluate the independent risk factors affecting the prognosis of PRT. **Results:** The trigeminal root cross-sectional area and trigeminal-pontine angle on the symptomatic side of ITN patients were smaller than those on the asymptomatic side ($P < 0.05$). The trigeminal-pontine angle was negatively correlated with NRS score ($r = -0.206$, $P < 0.05$). Univariate analysis showed that the course of disease, the TR length and the atrophy degree were related to the prognosis of PRT ($P < 0.05$), and logistic regression analysis showed that the course of disease was an independent risk factor for recurrence after PRT ($OR = 2.834$, $P < 0.05$). **Conclusions:** The symptomatic side trigeminal nerve atrophy and the

* 基金项目: 广西卫健委课题 (Z20200369); 广西医科大学第二附属医院科研项目 (EFYKY2020002)

[△] 通信作者 蒋宗滨 2010pm@163.com



small trigeminal-pontine angle have reference value for the diagnosis of ITN. The trigeminal-pontine angle is related to pain degree and the course of disease is an independent risk factor for the prognosis of PRT.

Keywords idiopathic trigeminal neuralgia; morphology; radiofrequency thermocoagulation; prognosis

原发性三叉神经痛 (idiopathic trigeminal neuralgia, ITN) 是指发生于三叉神经所支配区域的无确切病因的神经病理性疼痛。血管神经冲突 (neurovascular conflict, NVC) 是目前公认的主要致病学说^[1]。高分辨率三维 MRI 不仅可以显示三叉神经与周围血管的关系, 还能对形态学进行精细化测量, 研究发现 ITN 病人存在三叉神经萎缩、神经脑桥夹角减小等形态学改变^[2,3]。经皮穿刺射频热凝术 (percutaneous radiofrequency thermocoagulation, PRT) 是 ITN 的微创介入治疗技术, 其即时疼痛缓解率高, 但许多病人存在疼痛复发的现象, 以往研究表明, 其复发率在 17.2%~46.0% 之间^[4-6]。同时, 目前很少有文献专门研究 ITN 病人三叉神经 MRI 的形态学特征与其疼痛程度以及 PRT 术后疗效的关系。因此, 本研究采用三叉神经薄层 MRI 检查, 通过对三叉神经脑池段行多平面重建, 分析 ITN 病人两侧神经、血管及其邻近结构的解剖特点及形态学改变, 准确、直观地测量各组解剖学数据, 进而评价三叉神经 MRI 的形态学特征与 ITN 发病、疼痛程度及 PRT 治疗预后的关系, 为 ITN 的临床诊断和治疗提供参考。

方 法

1. 一般资料

本研究经广西医科大学第二附属医院医学伦理委员会批准, 收集 2018 年 1 月至 2019 年 8 月由我科收治的符合纳入和排除标准的 95 例 ITN 病人。其中男性 44 例, 女性 51 例; 平均年龄为 (63.6±10.9) 岁; 左侧 49 例, 右侧 46 例; 合并高血压 19 例, 糖尿病 3 例; 累及 V₁ 支 2 例, V₂ 支 19 例, V₃ 支 29 例, V₁+V₂ 支 8 例, V₂+V₃ 支 27 例, V₁+V₂+V₃ 支 4 例; 中位病程 4 年。

纳入标准: ①符合 2013 年国际头痛学会关于 ITN 诊断标准^[7]; ②PRT 术前均在我院行三叉神经薄层 MRI 扫描; ③均由于药物保守治疗效果不佳, 首次行 PRT 治疗; ④均由我院同一组主任医师行 PRT 治疗。

排除标准: ①继发性三叉神经痛、双侧 ITN 病人; ②既往接受 MVD、外周神经切断、伽马刀照射等相关手术治疗病人; ③面部穿刺部位有感染; ④合并凝血功能异常; ⑤有严重心肺脑等脏器疾病。

2. 方法

(1) 疼痛程度评估: 病人治疗开始前的基线疼痛评估采用疼痛数字评分法 (numerical rating scale, NRS)。0 分为无痛, 1~3 分为轻度疼痛, 4~6 分为中度疼痛, 7~10 分为重度疼痛。本研究的所有 ITN 病人基线 NRS 评分均在 4 分以上, 中位基线 NRS 评分为 6 分。

(2) MRI 检查及测量: 所有病人在 PRT 治疗前进行三叉神经薄层 MRI 检查, 均由放射科同一医师采用 3.0T GE 超导型磁共振扫描仪进行 MRI 扫描。检查时病人均取平卧位, 行横轴位 T₁WI、T₂WI 序列以及矢状位 T₁WI 序列扫描, 以排除颅脑器质性病变。采用三维循环相位稳态采集快速成像序列 (3D-fast Imaging Employing Steady State Acquisition, 3D-FIESTA) 及三维时间飞跃法血管成像序列 (3D-time of Flight MRA, 3D-TOF MRA) 两个序列分别进行扫描, 扫描平面平行于三叉神经脑池段, 扫描范围以脑桥为中心包括三叉神经的桥前池段。3D-FIESTA 扫描参数: TR 5.1 ms, TE 2.8 ms, 翻转角度 55°, 矩阵 512×512, FOV 153 mm×170 mm, 平均采集次数 2 次, 层厚 0.8mm; 3D-TOF MRA 扫描参数: TR 21 ms, TE 4ms, 翻转角度 20°, 矩阵 512×512, FOV 240 mm×240 mm, 平均采集次数 1 次, 层厚 1.4 mm。扫描完成后, 所有图像上传至 ADW4.5 工作站进行后处理及分析。以横轴位图像为原始图像, 使用 Reformat 软件对 3D-FIESTA 及 3D-TOF MRA 两个序列图像进行冠状位、矢状位图像重建, 分别测量病人双侧三叉神经根 (trigeminal nerve root, TR) 长度、TR 截面积、神经脑桥夹角及 TR 跨岩尖转角。对同一影像资料进行独立两次测量, 测量结果取两次测量的平均值。TR 长度是三叉神经从脑桥发出至 Meckel 囊的距离, 在矢状位测量; TR 截面积是取三叉神经脑池段中点的截面, 在冠状位用鼠标手工勾画出截面的边界, 系统自动测算截面积; 在轴位调整基线位置, 使得同一层面显现病人双侧的三叉神经脑池段, 测量脑桥前缘切线与三叉神经的夹角, 即脑桥神经夹角; 三叉神经跨岩尖转角在能显示三叉神经脑池段全程的矢状位测量 (见图 1)。当 TR 一侧截面积小于对侧截面积时, 定义为三叉神经萎缩, TR 萎缩程度 = (症状侧截面积 - 非症状侧截面积) / 非症状

侧截面积 $\times 100\%$ [8]。

血管神经位置关系判断按如下标准：无接触——血管与神经之间可见脑脊液；接触/可疑接触——1个以上的层面显示神经与血管之间无间隙；压迫——血管与神经之间无间隙，神经有压迹、扭曲或移位。诊断报告由两位较有经验的影像医师采用盲法原则独立阅片并书写。

(3) PRT 疗效判断：95 例病人均行 PRT 治疗，于 2020 年 2 月对病人进行电话随访并记录 PRT 术后疗效，观察时间为 6~25 个月。PRT 术后的疗效判断，采用巴罗神经学研究所疼痛评价方法 (Barrow neurological institute, BNI) [9]。I 级：术后无痛，无需口服药物；II 级：轻度疼痛，无需口服药物；III 级：中度疼痛，口服药物可控制；IV 级：中度疼痛，口服药物不能完全控制；V 级：重度疼痛或疼痛较术前无缓解。术后疼痛 $> \text{II}$ 级定义为复发，术后疼痛 $\leq \text{II}$ 级定义为未复发。

3. 统计学分析

采用 SPSS 25.0 软件进行统计学分析，正态分布计量资料以均数 $\pm$ 标准差 ($\bar{x} \pm SD$) 表示，组间比较采用两独立样本 t 检验或成组 t 检验。非正态分布计量资料以中位数 (四分位数间距) [M(Q)] 表示，组间比较采用 Mann-Whitney U 检验。计数资料比较采用 χ^2 检验。相关性采用 Spearman 相关性分析。影响 PRT 预后的因素先进行单因素分析，筛选出单因素分析中差异有统计学意义的变量再进行二元 Logistic 多因素回归分析。所有检验结果，以 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

结 果

1. ITN 病人症状侧与非症状侧术前三叉神经 MRI 形态学特征比较

所有病人的双侧三叉神经 MRI 形态学比较显示，症状侧 TR 长度及 TR 跨岩尖转角相比于非症状侧，差异无统计学意义；症状侧神经脑桥夹角及 TR 截面积小于非症状侧，差异有统计学意义 ($P < 0.05$ ，见表 1)。

2. 术前三叉神经 MRI 形态学特征与 ITN 病人疼痛程度的相关性

经 Spearman 相关分析得出，神经脑桥夹角与 NRS 评分呈负相关 ($r = -0.206, P < 0.05$)，而 TR 萎缩程度 ($r = 0.017, P > 0.05$)、TR 跨岩尖转角 ($r = -0.187, P > 0.05$)、TR 长度 ($r = -0.001, P > 0.05$)、血管神经位置关系 ($r = 0.076, P > 0.05$) 与 NRS 评分均无相关性。

3. 随访结果

本研究有 5 例病人因所留电话信息有误失访，最终获取到 90 例病人的术后疗效信息，其中复发 24 例 (26.7%)，未复发 66 例 (73.3%)，有 13 例病人因术后疼痛复发在随访期内行第二次 PRT 治疗，疼痛均缓解至 BNI I-II 级。

4. 单因素分析结果

将可能影响 PRT 预后的变量进行单因素分析。结果显示，病人病程长短、TR 长度、TR 萎缩程度与 PRT 的预后有关 ($P < 0.05$ ，见表 2)。

5. 多因素分析结果

Logistic 多因素回归分析表明病人病程长短是 PRT 复发的独立危险因素 (见表 3)。

讨 论

本研究在三维循环相位稳态采集快速成像序列 (3D-FIESTA)、三维时间飞跃法血管成像序列 (3D-TOF MRA) 两个序列中进行多平面重建，采用盲法对左右两侧各形态学指标进行独立两次测量，取平

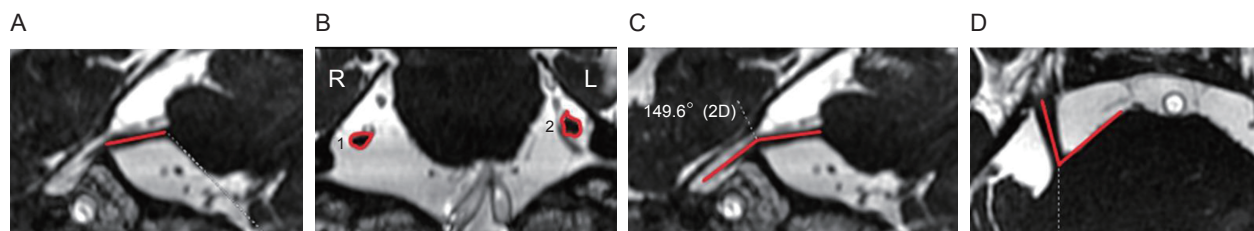


图 1 (A) 矢状位测得的三叉神经根长度；(B) 右侧 ITN 病人的 MRI (MRI 冠状位测得的双侧三叉神经截面积，右侧截面积小于左侧)；(C) 横轴位测得的神经脑桥夹角；(D) 矢状位测得的三叉神经跨岩尖转角

Fig. 1 (A) The length of trigeminal nerve root measured in sagittal position; (B) The MRI of a right ITN patient (the cross-sectional area of the bilateral trigeminal nerve was measured in the coronal position, and the cross-sectional area of the right side was smaller than that of the left side); (C) Trigeminal-pontine angle measured in the horizontal axis position; (D) Angle of TR across petrous apex measured in sagittal position.

表 1 症状侧与非症状侧三叉神经形态学指标比较 ($\bar{x} \pm SD, n = 95$)Table 1 Comparison of morphological indexes of trigeminal nerve between symptomatic and asymptomatic sides ($\bar{x} \pm SD, n = 95$)

测量指标 Measurement indexes	症状侧 Symptomatic side	非症状侧 Asymptomatic side	<i>t</i>	<i>P</i>
TR 长度 (mm) Length of TR (mm)	8.50 ± 1.78	8.38 ± 1.76	0.283	0.508
神经脑桥夹角 (°) Trigeminal-pontine angle (°)	42.40 ± 7.16	44.79 ± 6.26	-3.036	0.003**
TR 跨岩尖转角 (°) Angle of TR across petrous apex (°)	136.55 ± 10.5	138.60 ± 9.67	-1.877	0.064
TR 截面积 (mm ²) Cross-sectional area of TR (mm ²)	5.74 ± 1.56	6.10 ± 1.50	-2.722	0.008**

***P* < 0.01, 症状侧与非症状侧相比; ***P* < 0.01, compared between symptomatic and asymptomatic sides.

表 2 影响 PRT 治疗的预后因素的单因素分析

Table 2 Univariate analysis of prognostic factors for PRT

变量 Variable	复发组 (<i>n</i> = 24)	未复发组 (<i>n</i> = 66)	$\chi^2/t/z$	<i>P</i>
年龄 (例) Age (<i>n</i>)				
≤ 60 岁	10	27	0.004	0.948
> 60 岁	14	39		
性别 (例) Gender (<i>n</i>)				
男性 Male	9	33	1.105	0.293
女性 Female	15	33		
患病侧别 (例) Affected side (<i>n</i>)				
左侧 Left	14	33	0.490	0.484
右侧 Right	10	33		
病程 (例) Disease duration (<i>n</i>)				
< 4 年	7	35	4.027	0.045*
≥ 4 年	17	31		
累及三叉神经分支 (例) Distribution of pain (<i>n</i>)				
V1	1	1	2.585	0.764
V2	7	11		
V3	7	20		
V1 + V2	3	11		
V2 + V3	5	20		
V1 + V2 + V3	1	3		
基线疼痛强度 (例) Baseline pain intensity (<i>n</i>)				
中度痛 Moderate pain	13	36	0.001	0.975
重度痛 Severe pain	11	30		
并存疾病 (例) Co-morbidity (<i>n</i>)				
高血压 Hypertension	7	11	1.719	0.190
糖尿病 Diabetes	1	2	0.000	1.000
血管神经位置关系 (例) Neurovascular relationship (<i>n</i>)				
无接触 No contact	4	10	0.062	0.970
接触/可疑接触 Contact/suspicious contact	14	38		
压迫 Compression	6	18		
神经脑桥夹角 (°) Trigeminal-pontine angle (°)	43.63 ± 8.18	41.99 ± 7.01	-0.935	0.352
TR 跨岩尖转角 (°) Angle of TR across petrous apex (°)	139.10 ± 11.67	135.42 ± 10.02	-1.474	0.144
TR 长度 (mm) Length of TR (mm)	7.95 ± 1.86	8.67 ± 1.76	-1.691	0.034*
TR 萎缩程度 [%; M(Q)] Atrophy degree of TR [%; M(Q)]	12.33 (11.20)	17.36 (14.58)	1.693	0.011*

**P* < 0.05, 与未复发组相比; **P* < 0.05, compared with no recurrence group.

表 3 影响 PRT 治疗的预后因素的 Logistic 回归分析
Table 3 Logistic regression analysis of prognostic factors for PRT

变量 Variable	β	SE	Wald	P	OR	95% CI
病程 Disease duration	-1.042	0.525	3.938	0.047*	2.834	1.013-7.928
TR 长度 Length of TR	-0.258	0.162	2.534	0.111	0.773	0.563-1.061
TR 萎缩程度 Atrophy degree of TR	-0.020	0.023	0.747	0.387	0.981	0.938-1.025

* $P < 0.05$

均值作为测量结果，以尽可能减少测量误差，以更全面、多角度的指标来反映三叉神经的形态改变。结果显示，症状侧的脑桥神经夹角小于非症状侧，推测症状侧由于脑桥神经夹角较小，会增加神经血管接触的机会，进而引发了 ITN 的临床症状，这与 Ha 等^[10]的研究结果一致。TR 症状侧的截面积明显小于非症状侧，说明症状侧 TR 发生了萎缩改变。这一结果符合微血管减压术 (MVD) 术中的观察，即高达 42% 的 ITN 病人症状侧存在肉眼可见的神经萎缩现象^[11]。三叉神经感觉根的局灶性脱髓鞘等改变已被认为是三叉神经痛的病理基础^[12]，由此我们推测症状侧的 TR 萎缩可能继发于血管的长期慢性压迫或其他未知原因造成的 TR 局灶性脱髓鞘。症状侧较小的神经脑桥夹角以及神经的萎缩，提示形态学改变与 ITN 的发生有一定的关联。

杨登法等^[13]研究显示三叉神经痛病人的血管神经接触程度与疼痛程度有关，血管对神经的压迫程度越重，疼痛表现越剧烈。但本研究结果显示两者无相关性。根据显微解剖学研究，三叉神经中枢部髓鞘由少突胶质细胞构成，该区域对机械刺激非常敏感，而周围部髓鞘由施万细胞构成，保护能力强，不易受到压迫损伤，移行区位于中枢部与周围部连接处，两种髓鞘均存在^[14]。由此我们推测三叉神经的疼痛程度可能主要与神经纤维受损伤的解剖位点有关，即中枢部受到血管压迫容易发生损伤后脱髓鞘改变，脱髓鞘引起两相邻纤维传导“短路”，导致激痛点样剧烈疼痛反复发生，而外周部受到同等程度的压迫并不会表现明显的疼痛症状或疼痛程度更轻微。本研究与既往研究的差异可能是由于纳入病例 NVC 位点构成比不同，而 NVC 发生的不同位置与疼痛程度的确切关系尚待进一步研究。本研究得出脑桥神经夹角与 NRS 评分呈负相关。Sindou 等^[15]发现神经根的内上方是多数 ITN 病人的 NVC 发生部位，而小脑上动脉是最多见的责任血管，当它从基底动脉发出进入脑桥时，常会形成

血管攀经过 TR 的背侧和内上方。我们推测当脑桥神经夹角过小时，小脑上动脉和神经根内侧的关系更紧密，进而更容易压迫三叉神经中较为脆弱的中枢部及移行区，从而产生强烈的疼痛症状。

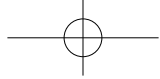
本研究随访成功的 90 例病人中，复发 24 例 (26.7%)，未复发 66 例 (73.3%)，与国内外研究报道基本一致^[4,16]。Logistic 回归分析显示病程长短与 PRT 治疗预后相关，病人的病程 ≥ 4 年复发的风险性是病程 < 4 年的 2.925 倍，Holste 等^[17]认为病程超过 5 年者，其 MVD 术复发率明显高于不超过 5 年者。这提示三叉神经根体积及横截面积的减小可能是由于血管长期压迫，导致神经炎症及脱髓鞘，最后出现神经的萎缩及体积的减小，因此对于保守治疗效果不佳的病人应建议其早期行 PRT 治疗，避免神经根发生萎缩致手术疗效下降。

本研究 Logistic 多因素回归分析结果显示三叉神经各形态学指标不是 PRT 预后的独立危险因素。推测可能的原因：① PRT 术中的热凝温度和热凝时间参数由术者根据病人对射频测试的反应进行个体化调控，并没有统一的标准，而热凝温度和时间被普遍认为与疼痛缓解时间有关^[18-20]，本研究结果可能受不同热凝参数的影响；②部分病人卵圆孔形态有变异，卵圆孔过大或形态不规则会影响靶点定位，导致毁损范围不足，术后疗效可能受卵圆孔形态这一混杂因素影响；③观察时间不够长，不足以说明 PRT 的远期疗效，还需延长随访时间进一步观察形态学与远期疗效的关系。

综上所述，症状侧三叉神经萎缩以及较小的神经脑桥夹角对 ITN 的诊断有一定的参考价值；神经脑桥夹角与病人疼痛程度呈负相关；病程长短是影响 PRT 术后复发的独立危险因素。

参 考 文 献

[1] Leal PR, Barbier C, Hermier M, et al. Atrophic changes



- in the trigeminal nerves of patients with trigeminal neuralgia due to neurovascular compression and their association with the severity of compression and clinical outcomes[J]. *J Neurosurg*, 2014, 120(6):1484-1495.
- [2] Pang H, Sun H, Fan G. Correlations between the trigeminal nerve microstructural changes and the trigeminal-pontine angle features[J]. *Acta Neurochir (Wien)*, 2019, 161(12):2505-2511.
- [3] Cheng J, Meng J, Liu W, *et al*. Nerve atrophy in trigeminal neuralgia due to neurovascular compression and its association with surgical outcomes after microvascular decompression[J]. *Acta Neurochir (Wien)*, 2017, 159(9):1699-1705.
- [4] Liu P, Zhong W, Liao C, *et al*. The role of percutaneous radiofrequency thermocoagulation for persistent or recurrent trigeminal neuralgia after surgery[J]. *J Craniofac Surg*, 2016, 27(8):e752-e755.
- [5] Son BC, Kim HS, Kim IS, *et al*. Percutaneous radiofrequency thermocoagulation under fluoroscopic image-guidance for idiopathic trigeminal neuralgia[J]. *J Korean Neurosurg Soc*, 2011, 50(5):446-452.
- [6] Ran B, Wei J, Zhong Q, *et al*. Long-term follow-up of patients treated with percutaneous radiofrequency thermocoagulation via the foramen rotundum for isolated maxillary nerve idiopathic trigeminal neuralgia[J]. *Pain Med*, 2019, 20(7):1370-1378.
- [7] Maarbjerg S, Sørensen MT, Gozalov A, *et al*. Field-testing of the ICHD-3 beta diagnostic criteria for classical trigeminal neuralgia[J]. *Cephalalgia*, 2015, 35(4):291-300.
- [8] 张开鹏, 刘德财, 刘学军, 等. 三叉神经萎缩对原发性三叉神经痛的诊断价值[J]. *中华神经外科杂志*, 2018, 34(10):1045-1049.
- [9] Rogers CL, Shetter AG, Fiedler JA, *et al*. Gamma knife radiosurgery for trigeminal neuralgia: The initial experience of the barrow neurological institute[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2000, 47(4):1013-1019.
- [10] Ha SM, Kim SH, Yoo EH, *et al*. Patients with idiopathic trigeminal neuralgia have a sharper-than-normal trigeminal-pontine angle and trigeminal nerve atrophy[J]. *Acta Neurochir (Wien)*, 2012, 154(9):1627-1633.
- [11] Devor M, Govrin-lippmann R, Rappaport ZH. Mechanism of trigeminal neuralgia: An ultrastructural analysis of trigeminal root specimens obtained during microvascular decompression surgery[J]. *J Neurosurg*, 2002, 96(3):532-543.
- [12] Araya EI, Claudino RF, Piovesan EJ, *et al*. Trigeminal neuralgia: Basic and clinical aspects[J]. *Curr Neuropharmacol*, 2020, 18(2):109-119.
- [13] 杨登法, 王林友, 杨铁军, 等. MRI 增强 3D FLASH 联合 3D CISS 评估原发性三叉神经痛三叉神经形态学改变及与疼痛程度相关性[J]. *温州医科大学学报*, 2018, 48(9):662-666.
- [14] 徐佳鸣, 漆松涛, 张喜安, 等. 三叉神经移行区的显微解剖学研究及其临床意义[J]. *中国临床解剖学杂志*, 2012, 30(4):367-370.
- [15] Sindou M, Howedy T, Acevedo G. Anatomical observations during microvascular decompression for idiopathic trigeminal neuralgia (with correlations between topography of pain and site of the neurovascular conflict). Prospective study in a series of 579 patients[J]. *Acta Neurochir (Wien)*, 2002, 144(1):1-13.
- [16] 姜鹏, 刘东, 赵序利, 等. C 臂引导下射频热凝治疗三叉神经痛的回顾性分析[J]. *中国疼痛医学杂志*, 2018, 24(3):181-185.
- [17] Holste K, Chan AY, Rolston JD, *et al*. In reply: pain outcomes following microvascular decompression for drug-resistant trigeminal neuralgia: A systematic review and Meta-analysis[J]. *Neurosurgery*, 2020, 86(3):E355-E356.
- [18] Xie E, Garzon-muvdi T, Bender M, *et al*. Association between radiofrequency rhizotomy parameters and duration of pain relief in trigeminal neuralgia patients with recurrent pain[J]. *World Neurosurg*, 2019, 129:e128-e133.
- [19] Wu H, Zhou J, Chen J, *et al*. Therapeutic efficacy and safety of radiofrequency ablation for the treatment of trigeminal neuralgia: A systematic review and Meta-analysis[J]. *J Pain Res*, 2019, 12:423-441.
- [20] 苏同刚, 黄绍宽, 杨光, 等. 三叉神经半月节射频热凝治疗后复发原因分析及对策[J]. *立体定向和功能神经外科杂志*, 2014, 27(1):26-29.