

中国三叉神经痛伽玛刀放射外科治疗 专家共识(2020 版)

世界华人神经外科医师协会放射神经外科专业委员会

通信作者:赵洪洋,华中科技大学同济医学院附属协和医院神经外科,武汉 430022,

Email:hyzhao750@sina.com;孙时斌,首都医科大学附属北京天坛医院神经外科 100070,

Email:ssbwyl@vip.sina.com;吴瀚峰,上海伽玛医院神经外科 200235,Email:wolf2yy@

qq.com;熊南翔,武汉大学中南医院神经外科 430071,Email:mozhuoxiong@163.com

基金项目:国家自然科学基金(81371380,81671210);湖北省科技厅软科学项目(2019ADC034)

DOI: 10.3760/cma.j.cn112050-20200403-00203

一、背景

三叉神经痛是一种较常见的神经系统疾病,以一侧面部针刺、刀割或电击样的发作性疼痛为特征。疼痛可被洗脸、刷牙、说话所诱发。三叉神经痛分为原发性和继发性两类。原发性三叉神经痛的发病机制主要与三叉神经被血管压迫有关;继发性三叉神经痛的发生可由脑膜瘤、神经鞘瘤、颅内血管畸形、多发性硬化、表皮样囊肿等压迫三叉神经引起。三叉神经痛有多种治疗方法,首选药物治疗,在患者疼痛加重,药物疗效不佳的情况下,可选择手术治疗^[1]。目前,手术治疗主要包括显微血管减压术、球囊压迫术、射频治疗、伽玛刀放射外科(gamma knife radiosurgery, GKRS)治疗等。其中, GKRS 治疗作为一种微创放射外科技术,对三叉神经痛有确切的疗效且风险低,应作为治疗三叉神经痛的重要方法之一^[2]。本共识旨在建立我国三叉神经痛 GKRS 治疗的适应证、禁忌证、治疗要点、疗效评价等,以规范和指导临床对三叉神经痛的 GKRS 治疗。

二、GKRS 治疗三叉神经痛的机制

GKRS 治疗三叉神经痛的机制尚不清楚。一般认为,放射线照射后可使神经纤维发生放射性损伤,特别是 γ 纤维的轴突出现变性和溶解,从而干扰三叉神经的电生理活动。其中,被广泛接受的理论是放射线使钠通道破坏从而影响神经纤维电生理信号传导^[3]。由于 γ 纤维较 α 和 β 纤维对放射线更为敏感,因此放射线照射可影响三叉神经的感觉纤维,特别是痛觉神经传导阻滞,以达到减轻或缓解疼痛

的目的。需要说明的是, GKRS 治疗的剂量远低于完全阻断神经感觉传导所需的剂量^[4]。

三、GKRS 治疗的适应证与禁忌证

GKRS 治疗的适应证包括^[5]:诊断为原发性三叉神经痛,同时伴有以下情况:(1)药物治疗效果不满意或不能耐受药物不良反应者;(2)高龄、体弱和(或)合并严重全身疾病,心、肺、肾等脏器功能不良,不能耐受全身麻醉手术者;(3)凝血功能差,有出血倾向者;(4)既往行三叉神经显微血管减压术、射频治疗、球囊压迫术失败或复发者;(5)拒绝开颅手术者。

GKRS 治疗的相对适应证包括:(1)继发于小脑脑桥角区肿瘤和颅内血管畸形的三叉神经痛,不能手术或拒绝手术者;(2)继发于多发硬化性的三叉神经痛,经药物治疗效果不佳者。

GKRS 治疗的禁忌证包括:(1)经头颅高分辨率 MRI 扫描确认三叉神经脑池段被迂曲扩张的椎-基底动脉压迫,且在 MRI 图像上显示不清;(2)不能明确诊断为三叉神经痛的面部疼痛。

推荐意见: GKRS 治疗可作为不能耐受全身麻醉、有出血倾向、拒绝开颅手术的三叉神经痛患者的首选;还可作为不能手术或拒绝手术的继发性三叉神经痛患者的选择。 GKRS 治疗的前提是明确诊断为三叉神经痛,且影像学资料可显示和定位三叉神经(高等级证据,强推荐)。

四、GKRS 的诊疗流程

1. 治疗前检查:患者于治疗前需行头颅 MRI 检查,初步确定三叉神经痛的性质。在影像学上辨别

患侧的三叉神经脑池段,并确定三叉神经周围是否存在责任血管或占位性病变压迫。建议采用三维稳态构成干扰序列(three dimensional constructive interference in steady state, 3D-CISS)或三维稳态采集快速成像(3D-fast imaging employing steady-state acquisition, 3D-FIESTA)+三维时间飞跃(three dimensional time of flight, 3D-TOF)序列,还可采用 CUBE-T2 序列,以明确三叉神经的位置及周围血管走行。患者填写三叉神经痛 GKRS 治疗前评估表,以完善患者档案。

2. 治疗前准备:治疗前患者无需禁饮食,常规洗头并消毒。因合并疾病需服药的患者按照常规服药。治疗前应给予患者心理疏导,告知 GKRS 的治疗过程,以缓解其紧张心理。

3. 安装头架:在局部麻醉下安装 Leksell 立体定向头架。要点是使患者听眶线与头架的基环尽量平行,使三叉神经脑池段的走行与 MRI 轴位像平行;头架位置可适当后移,使靶点尽量位于框架的中心^[2]。

4. 头颅 MRI 扫描:一般定位方法采用 1.5 T 及以上的头颅 MRI 扫描,通常选择 3D-CISS 或 3D-FIESTA+3D-TOF 序列(层厚为 1~2 mm),可清晰显示三叉神经及其周围血管。头颅 CT 扫描不能直接显示三叉神经,只能根据解剖学标志进行大致定位,且存在一定误差,故不推荐采用头颅 CT 作为首选定位方法,但可作为不能接受头颅 MRI 检查患者的选择。对于 GKRS 治疗后复发的患者,可行头颅增强 MRI 检查。若发现三叉神经有增强表现,可考虑降低放射剂量、调整照射靶点位置或分次治疗,以减少治疗后出现面部麻木的概率^[6]。目前有文献报道,头颅 CT 结合 MRI 的融合影像对精确定位三叉神经具有一定的优势^[7]。

5. 治疗规划:治疗前先设计放射靶点,再规划放射剂量。

(1)放射靶点:主要推荐三叉神经脑池段。可采用单靶点照射三叉神经根入脑干区或靠近三叉神经半月节区;也可采用双靶点覆盖三叉神经整个脑池段^[8-9]。单靶点的设计既往有 2 种选择,即三叉神经根入脑干区或靠近麦氏囊区。由于三叉神经半月节对放射线的敏感度低,同时为减少对脑干的照射剂量,目前多数单位采用单靶点照射,靶点中心选择在三叉神经根入脑干区前方的 2~4 mm。临床正常组织效应的定量分析提出,当脑干的最大受照剂量 < 12.5 Gy 时,发生放射性改变的可能性 < 5%。

Xue 等^[10]研究指出,由于伽玛刀存在放射剂量锐减的现象,患者的实际耐受量可能高于该数值;建议在进行治疗前规划时应注意脑干的受照剂量 < 15 Gy,与脑桥连接的三叉神经区域受照剂量应 ≤ 20 Gy。关于单靶点与双靶点的疗效比较,虽然采用双靶点的有效率有更高的趋势,但两者的差异并无统计学意义^[8-9]。同时,采用双靶点放射治疗的患者面部麻木的发生率略高。各单位可根据自身的临床经验选择不同的放射靶点,一般选择 4 mm 的准直器。

此外,放射靶点也有推荐采用三叉神经半月节,但因效果不佳临床上很少采用。2019 年, Somaza 等^[11]以 8 mm 的准直器单靶点照射可覆盖迈克尔氏腔,同时以 4 mm 准直器单靶点照射从三叉神经半月节发出的神经纤维,中心剂量为 86 Gy;治疗后中位随访时间为 28.5 个月,86.6% (26/30) 的患者疼痛明显缓解,平均起效时间为 7 d。但关于该法的临床报道还较少,随访时间也较短,仍需更多的临床试验进一步验证。

(2)放射剂量参数:包括照射剂量、受照射的神经体积或范围以及焦点剂量率,这些参数会影响三叉神经痛患者疼痛的缓解和治疗后并发症的发生。

①照射剂量:目前, GKRS 治疗三叉神经痛的最佳照射剂量尚未确定。一般靶点中心的放射剂量至少应 > 70 Gy,否则疗效不佳^[12]。多数中心采用 85 Gy 的放射剂量,而采用 > 90 Gy 的放射剂量治疗三叉神经痛患者并不能提高疗效,反而会增加并发症的发生率^[8]。故推荐靶点中心的放射剂量为 70~90 Gy,规划的等剂量曲线一般为 50%。②综合剂量:是估算组织从辐射中吸收的总能量,即平均剂量和靶点体积的乘积。Mousavi 等^[13]通过评估不同综合剂量治疗三叉神经痛患者的疗效,发现中等综合剂量组(1.4~2.7 mJ)较低综合剂量组(< 1.4 mJ)有更好的止痛效果。且综合剂量值越大,三叉神经痛患者感觉减退的概率越大^[14]。双靶点 GKRS 治疗主要通过增加照射组织的体积,进而提高综合剂量。③焦点剂量率:射线汇聚靶点单位时间的照射剂量即焦点剂量率。伽玛刀采用 Co₆₀作为放射源,在其半衰期(约 5.26 年)内,随着 Co₆₀源衰变,焦点剂量率也随之降低。这种自然衰变使得在提供相同累积剂量时需增加治疗时间。一般采用 > 2.0 Gy/min 为高焦点剂量率。文献报道,采用高焦点剂量率的放射治疗,更多的三叉神经痛患者在早期随访时可获得疼痛缓解,且在后期随访时复发率较低,但并发症发生率也相应增高。因而,当钴源在低焦点

剂量率时,可适当增加照射剂量,以提高疗效;反之,当钴源在高焦点剂量率时,可适当降低照射剂量,以减少并发症的发生^[15-16]。

推荐意见:靶点设计是 GKRS 治疗的重要内容之一,包括单靶点和双靶点,单靶点多选择在三叉神经靠近麦氏囊区或三叉神经根入脑干区前方的 2~4 mm;双靶点选择覆盖三叉神经整个脑池段。采用双靶点的有效率有更高的趋势,但患者面部麻木的发生率略高。一般均选择 4 mm 的准直器。靶点中心的放射剂量为 70~90 Gy,规划的等剂量曲线一般为 50%。此外,还应考虑综合剂量和焦点剂量率这两个放射剂量参数。在高综合剂量和高焦点剂量率的情况下,同等照射剂量的放射效率更高,因此应根据设备的焦点剂量率调整照射剂量(高等级证据,强推荐)。

五、起效时间及影响因素

(一)起效时间

三叉神经痛采用 GKRS 治疗的起效时间通常为治疗后的 15~81 d^[17]。患者在治疗后起初疼痛发作次数减少;伴有面部感觉异常的患者,症状会随时间逐渐变化或消失。由于 GKRS 治疗后需要一段时间才能起效,因此接受治疗后还需服用控制疼痛的药物。通常,首选卡马西平或奥卡西平,若药物无效或有过敏者,可选用普瑞巴林或加巴喷丁^[18]。

(二)影响 GKRS 疗效的相关因素

Ertiaei 等^[19]和潘绵顺等^[20]均报道,典型三叉神经痛较不典型三叉神经痛患者采用 GKRS 治疗的效果好;对 GKRS 治疗敏感的患者,疗效持续时间更长;三叉神经痛病史长者,疼痛缓解的时间相对较快;对卡马西平敏感的患者较不敏感者的疗效好;有血管压迫的患者疗效较无血管压迫者更好;出现面部麻木的患者预示疗效好。综上,三叉神经痛患者的病史、对卡马西平的敏感度、有无血管压迫及治疗后是否出现面部麻木均会影响 GKRS 治疗的效果。

推荐意见:GKRS 治疗后,需要一段时间才能起效,因此刚接受治疗后还需服用控制疼痛的药物,首选卡马西平或奥卡西平。影响疗效的因素包括临床表现是否典型、对卡马西平是否敏感、有无血管压迫及治疗后是否出现面部麻木(中等级证据,中等推荐)。

六、治疗结果与并发症

(一)GKRS 的治疗结果

GKRS 治疗效果依据巴罗神经学研究所(Barrow Neurological Institute, BNI)疼痛强度量表进

行评级:I 级,疼痛完全缓解,不需要任何药物;II 级,偶有疼痛不需要药物治疗;III 级,有时疼痛服药后可完全控制;IV 级,仍有疼痛,药物治疗不能完全控制;V 级,疼痛持续,无缓解。BNI I~II 级为治愈,≤III 级为有效,IV~V 级为无效;治疗后疼痛好转保持至少 6 个月,再次疼痛加重视为复发。GKRS 治疗效果各中心报道的数据不一,有效率为 50%~100%^[2]。总体来看,GKRS 治疗三叉神经痛的治愈率(BNI 评级为 I~II 级)为 81%,其中 BNI I 级的为 52%^[21-23]。GKRS 治疗三叉神经痛后需要药物辅助治疗的患者中,治疗后 3、5、7 年随访时,疼痛控制良好率(BNI 评级为 I~III 级)分别为 85%、81%、76%,治愈率(BNI 评级为 I~II 级)分别为 71.8%、64.9%、59.7%^[20-21]。在一项 GKRS 治疗后随访时间为 10 年的研究中,约 30%~68% 的三叉神经痛患者保持疼痛减轻的状态且能耐受,不需进一步手术治疗^[22]。

(二)GKRS 的治疗后并发症

GKRS 治疗三叉神经痛的并发症主要为面部感觉减退,多于治疗后 12 个月出现。文献报道,GKRS 治疗三叉神经痛后 5 年随访,患者出现面部麻木的发生率为 20.4%;7 年随访时,发生率为 21.1%;治疗后 14 年依然能够保持稳定;所以随着随访时间延长,三叉神经痛患者面部感觉减退症状会保持稳定,不再继续加重^[24-25]。面部麻木的三叉神经痛患者还存在角膜反射减弱,因此应注意预防角膜炎和角膜溃疡发生。其他并发症还包括:面部蚁行感、眼干、咀嚼无力等。患者的个体差异较大,且随治疗时间延长,并发症均有不同程度的恢复。

推荐意见:随着 GKRS 治疗后时间的延长,三叉神经痛的治愈率逐渐降低。GKRS 治疗三叉神经痛的并发症主要为面部感觉减退,少量患者有还存在面部蚁行感、眼干、咀嚼无力(中证据等级,中等推荐)。

七、三叉神经痛复发的再次 GKRS 治疗

首次采用 GKRS 治愈的三叉神经痛患者出现 1 次或 1 次以上复发的概率约为 32%~34%,复发时间为 GKRS 治疗后 6~48 个月,中位复发时间为 GKRS 治疗后 24 个月。复发的三叉神经痛患者再次行 GKRS 治疗仍是一个有效的治疗选择^[26-27]。首次治疗选择单靶点者,再次治疗的靶点一般略向三叉神经半月节方向移动,与原照射靶点有 50% 左右的重叠。在第 1 次 GKRS 治疗后面部存在麻木症状或治疗后疼痛有效缓解的患者,再次行 GKRS 治

疗会有良好的疗效^[28]。再次 GKRS 治疗的三叉神经痛患者,其疼痛缓解的中位概率为 88% (60% ~ 100%),新发感觉减退的中位概率为 33% (11% ~ 80%),较仅接受 1 次 GKRS 治疗的患者疼痛缓解率略高,但复发率较高^[29-30]。目前,国内外均有 3 次 GKRS 治疗成功的三叉神经痛患者的病例报道^[31-32]。第 1 次和第 2 次 GKRS 治疗的疼痛缓解率(BNI 评级为 I ~ II 级)分别为 80.6%、85.7%;第 1 次和第 2 次 GKRS 治疗间隔时间的中位数约为 17 个月,一般在第 1 次 GKRS 治疗后至少 1 年再行 GKRS 治疗^[30-31]。

推荐意见:复发的三叉神经痛患者可再次行 GKRS 治疗。在靶点设计上,再次治疗的靶点一般略向三叉神经半月节方向移动,与原照射靶点有 50% 左右的重叠。再次 GKRS 治疗也会有良好的疗效,一般间隔至少 1 年(中证据等级,中等推荐)。

八、继发性三叉神经痛的 GKRS 治疗

(一)小脑脑桥角区肿瘤

肿瘤引起的三叉神经痛占继发性三叉神经痛的 3% ~ 13%,通常为良性肿瘤,如脑膜瘤和神经鞘瘤等,大部分因压迫三叉神经根出脑干区或三叉神经半月节所致疼痛,少部分由于头部恶性肿瘤侵犯颅底,直接对三叉神经周围支破坏而产生持续性疼痛。继发于肿瘤的三叉神经痛选择行 GKRS 治疗,肿瘤的直径以 ≤ 3 cm 为宜。

对于肿瘤压迫导致三叉神经痛的 GKRS 治疗规划有 2 种:一是继发于复发性的颅底恶性肿瘤的三叉神经痛,GKRS 仅对肿瘤瘤体进行照射^[33],照射剂量可酌情比常规对肿瘤治疗的剂量略大;二是分别将肿瘤及三叉神经根部作为不同靶点,进行剂量规划后同时照射^[34]。GKRS 治疗继发于放射线敏感肿瘤的三叉神经痛,无论是直接对瘤体进行照射还是同时对瘤体及三叉神经痛根部照射均能取得较满意的疼痛缓解效果。治疗后症状若出现反复,往往提示肿瘤复发^[34]。

(二)血管性病变

继发于血管性病变(如颅内动静脉畸形、颅内动静脉瘘、颅内海绵状血管畸形)的三叉神经痛并不少见^[35],由于 GKRS 治疗对颅内动静脉畸形的疗效确切,因而治疗这类继发性三叉神经痛也是一种可行的选择^[36]。治疗规划根据血管病变的大小及与三叉神经的关系行个体化设计。一般以三叉神经和血管性病变作为共同靶点。若颅内血管畸形包绕三叉神经,可选择血管畸形的照射剂量;若颅内血管

畸形仅压迫三叉神经,可分别对三叉神经和颅内血管畸形进行剂量规划^[37]。

(三)多发性硬化

多发性硬化是以中枢神经系统白质炎性脱髓鞘病变为主要特点的自身免疫性疾病。发病的高危地区包括美国北部、加拿大、冰岛、英国、北欧、澳洲的塔斯马尼亚岛和新西兰南部,患病率为 40/10 万或更高,亚洲和非洲国家发病率较低,约为 5/10 万^[38]。在高发区,约 1.9% ~ 4.9% 的多发性硬化症患者继发三叉神经痛;2% ~ 14% 的三叉神经痛患者罹患多发性硬化。我国属于低发区^[38]。GKRS 治疗多发性硬化继发的三叉神经痛与原发性三叉神经痛治疗方案一致。文献报道,GKRS 治疗多发性硬化继发性三叉神经痛的 1 年疼痛缓解率为 51% ~ 62%,3 年为 29% ~ 39%,5 年为 22% ~ 29%,疗效较原发性三叉神经痛差^[39-40]。

推荐意见:继发性三叉神经痛的病因有多种,其原发病变对放射线的敏感性是影响疗效的重要因素。三叉神经根附近动静脉畸形引起的三叉神经痛,采用 GKRS 治疗的效果较好;多发性硬化继发的三叉神经痛,采用 GKRS 治疗的效果一般;因肿瘤压迫引起的三叉神经痛,将肿瘤和三叉神经根部作为不同靶点进行剂量规划后同时照射(低证据等级,中等推荐)。

九、总结

三叉神经痛是一种较复杂的脑神经疾病。药物治疗可以控制多数患者的疼痛发作,但部分患者需要进一步手术治疗。对于不适合或不能接受手术治疗的三叉神经痛患者,无论原发性或继发性,GKRS 治疗都是一种选择。多年的临床实践证实,GKRS 对三叉神经痛的治疗确实有效。尽管有一定比例的复发率,但复发后可行 GKRS 再次治疗,同样可以获得较高的疼痛缓解率。GKRS 治疗后并发症主要为面部麻木,在进行 GKRS 治疗前需告知患者,并采取预防角膜反射减退可能导致的角膜溃疡的措施。

共同执笔

熊南翔(武汉大学中南医院)、姚东晓(华中科技大学同济医学院附属协和医院)、付朋(华中科技大学同济医学院附属协和医院)、王强平(华中科技大学同济医学院附属协和医院)、饶竟(华中科技大学同济医学院附属协和医院)、李俊俊(华中科技大学同济医学院附属协和医院)、柴松山(华中科技大学同济医学院附属协和医院)、肖冬冬(华中科技大学同济医学院附属协和医院)、王艺淇(华中科技大学同济医学院附属协和医院)、王佳静

(华中科技大学同济医学院附属协和医院)、刘如恩(北京大学人民医院)、潘力(复旦大学附属华山医院、上海伽玛医院)

共识专家组成员(按姓氏汉语拼音排序)

陈劲草(武汉大学中南医院)、出良钊(贵州医科大学附属医院)、邓印辉(广州医科大学第二医院)、樊跃飞(山东省立医院)、何永生(四川省人民医院)、梁军潮(中国人民解放军南部战区总医院)、刘晓民(天津医科大学第二医院)、刘东(天津医科大学第二医院)、龙浩(南方医科大学南方医院)、罗斌(首都医科大学附属北京天坛医院)、马志明(中南大学湘雅医院)、孟喜君(西安交通大学第一附属医院)、潘隆盛(中国人民解放军总医院第一医学中心)、潘斯俭(上海交通大学医学院附属瑞金医院)、秦坤明(广西医科大学第一附属医院)、单永治(首都医科大学宣武医院)、孙君昭(中国人民解放军总医院第六医学中心)、孙时斌(首都医科大学附属北京天坛医院)、塔依尔(新疆维吾尔自治区人民医院)、汤旭群(上海伽玛医院)、童鹰(浙江大学附属第一医院)、王恩敏(复旦大学附属华山医院)、王宏伟(内蒙古医科大学附属医院)、王伟(四川大学华西医院)、许自强(郑州大学第五附属医院)、姚东晓(华中科技大学同济医学院附属协和医院)、张金伟(哈尔滨医科大学附属第二医院)、张南(复旦大学附属华山医院)、周东学(河北一洲国际质子医学中心)

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] 中华医学会神经外科学分会功能神经外科学组, 中国医师协会神经外科医师分会功能神经外科专家委员会, 北京医学会神经外科学分会, 等. 中国显微血管减压术治疗三叉神经痛和舌咽神经痛专家共识(2015)[J]. 中华神经外科杂志, 2015, 31(3): 217-220. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-2346.2015.03.001.
- [2] Tuleasca C, Régis J, Sahgal A, et al. Stereotactic radiosurgery for trigeminal neuralgia: a systematic review[J]. J Neurosurg, 2018, 130(3): 733-757. DOI: 10.3171/2017.9.JNS17545.
- [3] Al-Otaibi F, Alhindi H, Alhebshi A, et al. Histopathological effects of radiosurgery on a human trigeminal nerve[J]. Surg Neurol Int, 2013, 4(Suppl 6): S462-S467. DOI: 10.4103/2152-7806.125463.
- [4] Gorgulho A. Radiation mechanisms of pain control in classical trigeminal neuralgia[J]. Surg Neurol Int, 2012, 3(Suppl 1): S17-S25. DOI: 10.4103/2152-7806.91606.
- [5] 中华医学会神经外科学分会功能神经外科学组, 中国医师协会神经外科医师分会功能神经外科专家委员会, 上海交通大学颅神经疾病诊治中心. 三叉神经痛诊疗中国专家共识[J]. 中华外科杂志, 2015, 53(9): 657-664. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0529-5815.2015.09.005.
- [6] Tang K, Zhao Y, Yu J, et al. Image Fusion: A novel approach in Gamma Knife surgery treating trigeminal neuralgia[J]. J Craniofac Surg, 2019, 30(5): e392-e395. DOI: 10.1097/SCS.0000000000005307.
- [7] Mousavi SH, Akpinar B, Niranjan A, et al. The clinical significance of persistent trigeminal nerve contrast enhancement in patients who undergo repeat radiosurgery[J]. J Neurosurg, 2017, 127(1): 219-225. DOI: 10.3171/2016.5.JNS16111.
- [8] Morbidini-Gaffney S, Chung CT, Alpert TE, et al. Doses greater than 85 Gy and two isocenters in Gamma knife surgery for trigeminal neuralgia: updated results[J]. J Neurosurg, 2006, 105 Suppl: 107-111. DOI: 10.3171/sup.2006.105.7.107.
- [9] 刘海鹏, 杨辉, 黄其林, 等. 双靶点伽玛刀治疗原发性三叉神经痛[J]. 中国微侵袭神经外科杂志, 2007, 12(9): 426-426. DOI: 10.3969/j.issn.1009-122X.2007.09.017.
- [10] Xue J, Goldman HW, Grimm J, et al. Dose-volume effects on brainstem dose tolerance in radiosurgery[J]. J Neurosurg, 2012, 117 Suppl: 189-196. DOI: 10.3171/2012.7.GKS12962.
- [11] Somaza S, Montilla EM, Mora MC. Gamma knife radiosurgery on the trigeminal ganglion for idiopathic trigeminal neuralgia: Results and review of the literature[J]. Surg Neurol Int, 2019, 10: 89. DOI: 10.25259/SNI-134-2019.
- [12] Boling W, Song M, Shih W, et al. Gamma knife radiosurgery for trigeminal neuralgia: a comparison of dose protocols[J]. Brain Sci, 2019, 9(6): 134. DOI: 10.3390/brainsci9060134.
- [13] Mousavi SH, Niranjan A, Akpinar B, et al. A proposed plan for personalized radiosurgery in patients with trigeminal neuralgia[J]. J Neurosurg, 2018, 128(2): 452-459. DOI: 10.3171/2016.10.JNS16747.
- [14] 王宏伟, 窦长武, 何占彪, 等. 三叉神经根受照长度对伽玛刀治疗三叉神经痛疗效的影响[J]. 立体定向和功能性神经外科杂志, 2014, 27(2): 70-72.
- [15] 程铁峰, 刘东, 徐德生, 等. 伽玛刀治疗原发性三叉神经痛焦点剂量率的临床研究[J]. 中国微侵袭神经外科杂志, 2018, 23(11): 485-487. DOI: 10.11850/j.issn.1009-122X.2018.11.002.
- [16] Lee JY, Sandhu S, Miller D, et al. Higher dose rate Gamma knife radiosurgery may provide earlier and longer-lasting pain relief for patients with trigeminal neuralgia[J]. J Neurosurg, 2015, 123(4): 961-968. DOI: 10.3171/2014.12.JNS142013.
- [17] Hu YS, Lee CC, Guo WY, et al. Trigeminal nerve atrophy predicts pain recurrence after Gamma knife stereotactic radiosurgery for classical trigeminal neuralgia[J]. Neurosurgery, 2019, 84(4): 927-934. DOI: 10.1093/neuros/nyy122.
- [18] Gambeta E, Chichorro JG, Zamponi GW. Trigeminal neuralgia: an overview from pathophysiology to pharmacological treatments[J]. Mol Pain, 2020, 16: 1744806920901890. DOI: 10.1177/1744806920901890.
- [19] Ertiaei A, Ataiezhad Z, Bitaraf M, et al. Application of an artificial neural network model for early outcome prediction of gamma knife radiosurgery in patients with trigeminal neuralgia and determining the relative importance of risk factors[J]. Clin Neurol Neurosurg, 2019, 179: 47-52. DOI: 10.1016/j.clineuro.2018.11.007.
- [20] 潘福顺, 李勇, 邱书珺, 等. 伽玛刀放射外科治疗原发性三叉神经痛的长期疗效及相关因素分析[J]. 中国医学装备, 2014, 11(10): 61-63, 64. DOI: 10.3969/J. ISSN. 1672-8270.2014.10.021.
- [21] Martínez Moreno NE, Gutiérrez-Sárraga J, Rey-Portolés G, et al. Long-term outcomes in the treatment of classical trigeminal neuralgia by Gamma knife radiosurgery: a retrospective study in patients with minimum 2-year follow-up[J]. Neurosurgery, 2016, 79(6): 879-888. DOI: 10.1227/NEU.0000000000001404.
- [22] Régis J, Tuleasca C, Resseguier N, et al. Long-term safety and efficacy of Gamma knife surgery in classical trigeminal neuralgia: a 497-patient historical cohort study[J]. J Neurosurg, 2016, 124(4): 1079-1087. DOI: 10.3171/2015.2.JNS142144.

- [23] Zhao H, Shen Y, Yao D, et al. Outcomes of two-isocenter Gamma knife radiosurgery for patients with typical trigeminal neuralgia: pain response and quality of life [J]. World Neurosurg, 2018, 109: e531-e538. DOI: 10.1016/j.wneu.2017.10.014.
- [24] Wolf A, Kondziolka D. Gamma knife surgery in trigeminal neuralgia[J]. Neurosurg Clin N Am, 2016, 27(3):297-304. DOI: 10.1016/j.nec.2016.02.006.
- [25] 张欣杰, 李鹏, 张祝均, 等. 原发性三叉神经痛伽玛刀治疗后面部感觉异常情况分析[J]. 中国微侵袭神经外科杂志, 2014, 19(2):58-60. DOI: 10.11850/j.issn.1009-122X.2014.02.004.
- [26] 李勇, 潘绵顺, 邱书珏, 等. 复发性三叉神经痛的伽玛刀放射外科治疗分析[J], 立体定向和功能性神经外科杂志, 2014, 27(3):162-164.
- [27] Helis CA, Lucas JT Jr, Bourland JD, et al. Repeat radiosurgery for trigeminal neuralgia[J]. Neurosurgery, 2015, 77(5):755-761; discussion 761. DOI: 10.1227/NEU.0000000000000915.
- [28] Patra DP, Savardekar AR, Dossani RH, et al. Repeat Gamma knife radiosurgery versus microvascular decompression following failure of GKRS in trigeminal neuralgia: a systematic review and meta-analysis[J]. J Neurosurg, 2018; 1-10. DOI: 10.3171/2018.5.JNS18583.
- [29] Raygor KP, Wang DD, Ward MM, et al. Long-term pain outcomes for recurrent idiopathic trigeminal neuralgia after stereotactic radiosurgery: a prospective comparison of first-time microvascular decompression and repeat stereotactic radiosurgery [J]. J Neurosurg, 2018; 1-9. DOI: 10.3171/2018.5.JNS172243.
- [30] Tuleasca C, Carron R, Resseguier N, et al. Repeat Gamma knife surgery for recurrent trigeminal neuralgia: long-term outcomes and systematic review [J]. J Neurosurg, 2014, 121 Suppl:210-221. DOI: 10.3171/2014.8.GKS141487.
- [31] Tempel ZJ, Chivukula S, Monaco EA 3rd, et al. The results of a third Gamma knife procedure for recurrent trigeminal neuralgia [J]. J Neurosurg, 2015, 122(1):169-179. DOI: 10.3171/2014.9.JNS132779.
- [32] 孙君昭, 张剑宁, 任文庆, 等. 原发性三叉神经痛的第三次伽玛刀治疗的初步经验报告[J]. 立体定向和功能性神经外科杂志, 2018, 31(3):158-161.
- [33] Phan J, Pollard C, Brown PD, et al. Stereotactic radiosurgery for trigeminal pain secondary to recurrent malignant skull base tumors [J]. J Neurosurg, 2018, 130(3):812-821. DOI: 10.3171/2017.11.JNS172084.
- [34] Kim SK, Kim DG, Se YB, et al. Gamma knife surgery for tumor-related trigeminal neuralgia: targeting both the tumor and the trigeminal root exit zone in a single session[J]. J Neurosurg, 2016, 125(4):838-844. DOI: 10.3171/2015.7.JNS15451.
- [35] Pease M, Withrow J, Ozpinar A, et al. Gamma knife radiosurgery for trigeminal neuralgia caused by a cavernous malformation: case report and literature review [J]. Stereotact Funct Neurosurg, 2018, 96(6):412-415. DOI: 10.1159/000495476.
- [36] Okromelidze L, Vilanilam G, Gupta V, et al. Trigeminal neuralgia caused by dural arteriovenous fistula in meckel cave treated with Gamma knife radiosurgery [J]. World Neurosurg, 2019, 122:607-612. DOI: 10.1016/j.wneu.2018.11.177.
- [37] Işık S, Ekşi MŞ, Yılmaz B, et al. Trigeminal neuralgia caused by cerebellopontine angle arteriovenous malformation treated with Gamma knife radiosurgery[J]. J Craniofac Surg, 2016, 27(1):e55-e57. DOI: 10.1097/SCS.0000000000002310.
- [38] Helis CA, McTyre E, Munley MT, et al. Gamma knife radiosurgery for multiple sclerosis-associated trigeminal neuralgia [J]. Neurosurgery, 2019, 85(5):E933-E939. DOI: 10.1093/neuros/nyz182.
- [39] Di Stefano G, Maarbjerg S, Truini A. Trigeminal neuralgia secondary to multiple sclerosis: from the clinical picture to the treatment options[J]. J Headache Pain, 2019, 20(1):20. DOI: 10.1186/s10194-019-0969-0.
- [40] Przybylowski CJ, Cole TS, Baranoski JF, et al. Radiosurgery for multiple sclerosis-related trigeminal neuralgia: retrospective review of long-term outcomes[J]. J Neurosurg, 2018; 1-8. DOI: 10.3171/2018.5.JNS173194.

(收稿:2020-04-03 修回:2020-08-16)

(本文编辑:孙闽)

· 读者 · 作者 · 编者 ·

本刊关于稿件图表的要求

图(表)集中附于文后,分别按其在文中出现的先后次序连续编码。每幅图(表)应有简明的题目。说明性的文字应置于图(表)下方注释中,并注释图表中使用的非公知公用的缩写。建议采用三横线表,要求合理安排表的纵、横标目,并将数据的含义表达清楚;表内数据要求同一指标有效位数相同。线条图的横、纵坐标要有明确的中文标识,图中标注的符号(箭头)要在图说明中描述。病理图片要在图说明中标注染色方法及放大倍数,图片中要有尺度标记。

中华神经外科杂志编辑部