

经皮颅底卵圆孔穿刺技术的研究进展*

丁卫华¹ 陈淑萍¹ 汪 荣² 张洪海¹

经皮颅底卵圆孔(foramen ovale)穿刺治疗原发性三叉神经痛由于创伤小、并发症少、疗效确切,并克服了开颅手术固有的风险,在国内外被大量文献报道,因颅底卵圆孔形态多变且与周围解剖结构毗邻复杂,其内侧有破裂孔、外侧有棘孔、后内侧有咽鼓管、前上方有眶下裂,故经皮卵圆孔穿刺时具有较大的神经、血管损伤的风险,大量临床工作者致力于研究影像设备在卵圆孔穿刺术中的临床应用,力求最大限度减少组织损伤,同时提高穿刺的效率,经过近20余年的发展,经皮卵圆孔穿刺技术日臻成熟。

原发性三叉神经痛(trigeminal neuralgia, TN)为临床上常见的医学顽症,表现为头面部和唇齿反复发作性剧烈疼痛、持续时间数秒、自行缓解和突发突止,间歇期无不适等症状,严重影响患者的生存质量,甚至可增加卒中发生的危险^[1]。文献报道其患病率约为182/10万人,其年发病率为3—5/10万人,随年龄的增长而增加,至今确切病因尚不清楚^[2]。国内有人通过低场强磁共振CBASS序列对原发性TN进行研究认为三叉神经脑池段血管压迫或接触是其首要原因^[3],也有学者认为HSV-1病毒感染可能是TN又一致病因素^[4]。其常见的治疗方法有卡马西平、加巴喷丁等抗癫痫类药物治疗,酒精毁损,开颅微血管减压和微创治疗等^[5-6]。Kirchner于1931年率先采用经皮穿刺半月神经节电凝法治疗原发性三叉神经痛;1965年Sweet改用经皮穿刺半月神经节射频热凝毁损术治疗三叉神经痛,经过不断改进,安全有效,得到了广泛应用,国内于1983年由王忠诚等首先报告。由于半月神经节穿刺时颅底卵圆孔是必经之路,为了在降低并发症的同时提高穿刺成功率,C形臂X光机、CT等各种影像工具被逐一应用于三叉神经痛的微创治疗,现综述如下:

1 X线C形臂透视下卵圆孔穿刺技术

由于卵圆孔是颅底一椭圆形骨孔,其长径平均为6.4mm,宽径平均为3.2mm,文献报道有椭圆形、肾形、梨形、圆形、长条形5种形状^[7],三叉神经第Ⅲ支从此出颅。由于卵圆孔内侧有破裂孔,内有颈内动、静脉和迷走神经通过;外侧有棘孔,内有脑膜中动脉通过,周围毗邻解剖结构复杂,传统的Hartel徒手穿刺法很难有效避免并发症的发生。为了减

少穿刺时组织损伤,马松鹤^[8]、刘靖芷^[9]等报道通过C形臂X光机定位可明显提高卵圆孔穿刺的成功率。穿刺时患者头后仰,一般从特殊角度的斜前位进行透视,适合于卵圆孔影像清晰时穿刺;当卵圆孔影像模糊或者不能识别时可从侧位透视下参考颞骨岩部、蝶鞍和斜坡等骨性结构进行穿刺。通过调整C臂机球管和影像增强器合适的投照角度,一般可在影像上识别骨性卵圆孔。但是部分患者由于头后仰角度受限,尤其是高龄患者难维持手术操作时头位,体位的不适给手术的配合增加了难度。王君等^[10]对C形臂介导下治疗三叉神经痛时卵圆孔穿刺技术进行了改良,将患者肩部垫高5cm,头后仰,听鼻线垂直台面,C臂机管球向足侧倾斜12°—18°,头向健侧旋转60°。据报道^[10]改良定位技术与传统颅底位相比,术中患者体位舒适、术者操作方便并能清晰地显示卵圆孔,在避免与岩骨等周围颅骨结构重叠的同时更容易选择合适的穿刺点及穿刺路线。而且该改良定位技术不受个体差异影响,显示卵圆孔最佳影像且具有实时观察、卵圆孔定位准确、可重复性高等优点。为了进一步提高C臂机引导下卵圆孔穿刺的精度,王君等^[11]在C形臂引导下对卵圆孔内不同区域进行穿刺治疗三叉神经痛进行了探讨,研究发现采用改良定位技术通过C臂机引导下在卵圆孔内侧、中间、外侧分组分别进行穿刺并在半月神经节周围注入0.5%阿霉素0.5ml,三组均有效且疗效差异无显著性。由于该技术一般可在手术室操作,无菌条件及设施完善,成本相对较低,是国内卵圆孔穿刺时应用较多的定位方法之一,有人报道穿刺成功率多为100%^[12-13]。邵君飞等^[14]通过148例成人颅骨研究发现卵圆孔个体差异很大,大小、形状多变,理论上可增加卵圆孔的影像识别和穿刺难度;由于C臂机对卵圆孔的透视需要特定的角度,在患者头后仰受限或体位受限的情况下可能会使影像上的卵圆孔变得模糊,造成穿刺困难,有报告称穿刺失败率可达4%^[15-16],所以X线C形臂定位下穿刺仍有很多不确定因素。该技术除了部分患者无法见到卵圆孔的缺点外,主要的缺点是无法测量针尖进入卵圆孔后的深度,深度过浅导致疗效不佳容易疼痛复发,过深则导致第一支误伤或误伤动眼神经等支配眼球运动的神经,产生严重的并发症。

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2013.12.023

*基金项目:浙江省卫生厅资助课题(2011KYB064)

1 杭州市第一人民医院疼痛科,杭州,310006;2 杭州市第一人民医院放射科

作者简介:丁卫华,男,主治医师;收稿日期:2013-01-22

2 CT定位下卵圆孔穿刺技术

CT是计算机技术和X线检查技术结合的产物,能提供断层、立体的图像显示,自1971年问世以后促进了医学诊疗的快速发展。CT与X线影像不同,X线是将立体器官的影像投射在一水平面上,影像中各种组织相互重叠,骨性结构相对清晰,但无法辨认精细解剖结构;而CT是利用X线对检查部位进行扫描,透过人体的X线强度由检测器测量,经信号转换装置和电子计算机处理,构成被检查部位的横断面图像,最大的优势在于避免了X线摄影中各种组织影像互相重叠的缺陷,因此在扫描颅底卵圆孔时,通过调节骨窗可辨识卵圆孔并精确测量其大小。资料显示近20余年来已有大量临床工作者将CT应用于三叉神经痛治疗中的卵圆孔穿刺^[17-19]。一般在CT室操作,调整合适的角度即可采集到卵圆孔的断层影像,穿刺前可通过卵圆孔断层图像的观测,选取最佳解剖层面进行定位,通过计算机工作站设置从卵圆孔与同侧下颌骨内缘的连线投射到体表作为穿刺点,同时可测量穿刺的角度和深度。在穿刺困难时可通过三维重建进行评估;穿刺针通过卵圆孔进入颅内以后通过反复扫描不仅可以观察针尖的位置和深度,还可以检查穿刺针入颅后是否损伤血管造成颅内出血等并发症,以便在第一时间快速处理。张秀双等^[19]报道CT定位下卵圆孔穿刺时取患者平卧头后仰位,CT扫描将卵圆孔与最佳体表穿刺点连线作为进针路线,测量进针深度和角度,标记皮肤穿刺点及进针路线所在平面。根据术者手感和穿刺针进入卵圆孔瞬间患者的疼痛反应可初步判断卵圆孔穿刺的准确性,而半月神经节射频术的准确性依赖于以下三方面指标:①CT扫描见穿刺针针尖位于卵圆孔内;②方波刺激试验;③电生理引导定位。根据以上研究结果,说明CT定位下穿刺针到达卵圆孔后再进入三叉神经半月节内靶点仍有一些不确定因素。王燕^[20]、李维方^[21]等利用三维CT指导颅底卵圆孔穿刺半月神经节射频治疗三叉神经痛,该研究是在卵圆孔穿刺后以听一眉线为基线行CT平扫,层厚为0.625mm,扫描平面经过卵圆孔,经过三维重建指导穿刺针的进针角度和深度,力求在提高卵圆孔穿刺效率的同时提高半月神经节内射频靶点的准确性,取得了良好的治疗效果。

与X线C臂机引导相比,CT定位具有断层影像显示、卵圆孔形态清晰、可测量相关数据和穿刺准确等优势。C形臂X光机引导下穿刺的优点是对设备要求低,但在常规的手术治疗体位下,往往不能清晰显示卵圆孔结构,只能以蝶鞍、颞骨岩部和斜坡等结构作为参照引导穿刺,所以给穿刺的准确性增加了一定难度。而CT定位下穿刺克服了C臂机引导的这一缺点,通过反复扫描判断和调整,达到精确穿刺和定位,又可以测量针尖进入卵圆孔的深度,防止了穿刺过浅或过深的缺点,因而是目前最佳的引导方法,不断成为目前此项穿刺技术的主流方法。不足之处在于占用CT机房的时间成本

较高,医疗单位CT手术室的缺乏、无菌条件值得担忧,一旦颅内感染后果严重;另外,扫描卵圆孔需要特定的角度,由于CT机架最大倾斜角度仅30°,患者需头后仰位以配合卵圆孔的扫描,在患者头后仰受限或患者体位配合欠佳的情况下同样将会使穿刺变得比较困难。

3 立体定向卵圆孔穿刺技术

由于Hartel前入路法徒手穿刺卵圆孔有损伤周围重要血管、神经的可能,文献报道约10%的并发症与穿刺的准确性有很大关系^[22];因X线C臂机定位卵圆孔穿刺和CT室定位下卵圆孔穿刺的局限性,尤其是手术条件以及射线反复的辐射,罗唯师^[23]、范崇军^[24]等人对立体定向下卵圆孔穿刺治疗原发性三叉神经痛进行了研究。穿刺时仍以CT影像资料为导向,首先在局麻下安装立体定向仪头架,框架需安装至卵圆孔平面以下并与眶耳线平行,CT扫描基线与框架平行,采用薄层颅底CT骨窗扫描,直接取卵圆孔中心为靶点,分别测定X、Y、Z轴坐标值,然后进入手术室,患者取仰卧位,根据测定值安装X、Y、Z坐标,取患侧口角外侧3cm左右为穿刺点进行卵圆孔穿刺,与CT定位下卵圆孔穿刺不同的是在CT扫描下确定靶点后即可进入手术室完成穿刺。该技术最早被应用于精神外科颅内微小病灶的切除,由于误差多可控制在1mm左右,精度较高,用于颅底卵圆孔穿刺具有穿刺准确、可靠、创伤小和并发症少等优点。由于卵圆孔特殊的解剖位置,常规的立体定向仪安装方法很难满足卵圆孔位于坐标显示板覆盖范围内的要求,既影响视野又影响操作,顿志平^[25]、袁邦清等^[26]用反戴头架的方法进行了研究,操作时使定向仪底座位于头顶,固定立柱在底座下方,调整定向仪底座至适当位置,使CT坐标显示板自然向下,这样反戴脑立体定向仪,以便定向仪弧弓向下,能使导针指向颅底卵圆孔,方便定位。同时CT转接器也反转180°,以便使底座与CT转接器在CT床上的连接,此时连接的位置将位于患者的头顶,而不是常规戴法的颈部。然后进行CT扫描定位,扫描以底座为起点,从上至下扫描,利用立体定向技术,计算出卵圆孔外口的坐标轴X、Y、Z值^[27]。通过反戴头架,有效克服了常规头架操作时的缺陷,明显提高了穿刺的效率。通过有框架导航技术的临床应用,显著提高了穿刺的成功率,同时减少了穿刺造成的神经、血管等重要组织结构的损伤,在以CT影像为导向的同时克服了CT室手术条件的缺陷,为发展无框架导航下穿刺提供了临床依据。

无论是X线C臂机引导还是CT定位和立体定向下卵圆孔穿刺,均存在占机时间长和略显笨重的设备制约了手术操作的便利性,而且患者反复X线照射以及医护人员长期累积性辐射损伤值得担忧。X射线穿透人体后除对医学影像学产生有意义的感光效应与光学密度差等外,还有一个重要的

X射线所致的生物效应。人体接受过量的X射线可以引起人体组织细胞发生一些不可逆的辐射损害如染色体变异或畸形变,受辐射个体或后代均有染色体受到变异的可能^[28]。通过以上影像设备进行卵圆孔穿刺治疗原发性三叉神经痛,是在反复X线照射和薄层扫描等完美和高质量影像图像为导向的基础上完成,而三叉神经痛患者必须以接受更多的X射线辐射剂量为前提。如何在降低X射线辐射剂量的同时提高卵圆孔穿刺的便利性和准确性,这是一项非常有意义的研究工作,也是我们现在需要倡导或努力的目标。

4 神经导航下卵圆孔穿刺技术

导航系统(neuronavigation)又称无框架立体定向系统,是在传统的立体定向技术及无框架式立体定向的基础上发展而来,一般由定位导向系统、计算机工作站和红外线信号传递系统等结构组成,是计算机技术、CT和MRI放射技术等相结合的产物。该系统拥有强大的图像处理软件和计算功能,以卫星定向技术的理论,通过红外线遥感技术获取术中患者头部和手术器械的位置信息,对比CT或MRI等高清影像资料,计算并跟踪显示手术的实时操作位置和周围组织结构的关系。吴承远^[29]、王磊^[30]等报道利用神经导航进行颅底卵圆孔穿刺成功率为100%,而且穿刺中几无并发症发生,开创了三叉神经痛微创射频治疗的新纪元。神经导航下卵圆孔穿刺治疗三叉神经痛一般有以下步骤:①获取量化的空间图像资料,即术前CT、MRI影像学检查;②将影像资料通过计算机工作站进行三维重建,以卵圆孔为靶点设置手术计划并设计穿刺径路;③物理图像和手术器械注册,通过注册可将影像信息与患者头颅相结合,建立同步统一的坐标系统;④射频穿刺针尾固定导航示踪器,术中可动态追踪穿刺针并显示在患者的影像资料上,实时引导手术操作^[31]。神经导航下卵圆孔穿刺最大的优势就是能准确、动态和实时显示射频针与头颅解剖结构的相对位置关系。

尽管神经导航系统是虚拟实时影像跟踪系统,但它是目前最理想的头颅手术辅助工具^[32]。神经导航下卵圆孔穿刺治疗原发性三叉神经痛不仅具有穿刺成功率高,而且能实时显示“可视化”靶点和“可视化”穿刺,理论上较X线和CT定位以及立体定向下卵圆孔穿刺创伤和风险更小。其局限性在于神经导航系统采用的是一种虚拟实时影像跟踪技术,由光学数字化感应技术(optical digitizing technology)、联合注册技术(co-registration)及动态定位技术(dynamic referencing)等组成,虚拟实时影像并非穿刺手术真实影像,尽管有工作站高速精确的计算机运算,卵圆孔穿刺过程中仍不可避免地出现导航影像与物理解剖结构的偏差。提高导航精度主要从机械因素,人为因素,术中漂移等多方面进行考虑。从相关文献报道^[29-30]的研究结果来看,在神经导航下以CT

影像图像为导向的卵圆孔穿刺过程中,理论上存在的偏差对卵圆孔穿刺的成功率无显著影响。

神经导航技术的发展为颅底卵圆孔穿刺治疗原发性三叉神经痛提供了一种简便、快捷的定位手段,同时也拓宽了三叉神经痛的微创、精细治疗领域,在各种定位影像设备中显示出了其独特的优势^[33]。

5 功能核磁共振术中定位技术

在手术室使用影像设备引导手术由来已久,随着科学技术的发展,北京、上海等地已拥有核磁共振手术室,诸葛启钊^[34]、刘建杰^[35]等报道术中使用核磁共振扫描取得了良好的外科治疗效果。核磁共振技术是近几年来新的研究穿刺引导的领域,已经有了一定的进展,核磁共振引导半月神经节成功后具有能够直接观察靶点与神经和血管的优势,为此类穿刺技术提供了新的解决方法。目前受限于射频穿刺的金属针对影像的干扰较大,新开发的碳素穿刺针可能解决这一问题。医用碳纤维材料是近年开发的新型高分子材料,具有无细胞毒性、无刺激、无致敏性等特点。如果使用碳纤维穿刺针在MRI定位下进行颅底卵圆孔穿刺则可能具有更准确、更安全等优势。立体定向和神经导航多年来不能被广泛推广的原因是,虽然在术前能够在理论上精确的定位,但是定位机会仅在术前一次性,在穿刺中任何面部肌肉的收缩都可以导致定位偏移,导致穿刺失败,因而无法在临床上普及。另外,神经导航的设备也十分昂贵。

6 展望

虽然目前学术界对选择三叉神经痛的治疗方法存在争议,但近年来有关治疗原发性三叉神经痛的长期疗效比较研究显示,开颅微血管减压术和半月神经节射频热凝术是目前最理想的治疗方法。射频热凝术虽然在一定程度上造成三叉神经的感觉功能障碍,但因其创伤小、操作简便、风险较低而易被患者接受,因此被认为是原发性三叉神经痛的首选外科治疗方法^[36-37]。该方法关键在于穿刺的准确性,因为颅底卵圆孔与周围解剖结构特殊的毗邻关系,如果穿刺方向偏前可经眶下裂损伤视神经;如果穿刺方向偏内可损伤颅外段颈内动脉,甚至穿刺至颈内静脉孔损伤颅神经;如果穿刺进入卵圆孔位置过深或太偏内侧,又可伤及海绵窦段颈内动脉以及海绵窦侧壁上的相关颅神经,反复穿刺可能造成出血或其他严重并发症^[38]。因此影像定位技术在三叉神经痛的微创治疗领域备受重视。

科技的不断进步促进了医疗技术的持续发展,从上世纪50年代常用的Hartel法徒手穿刺颅底卵圆孔技术到新世纪前沿的神经导航下穿刺,三叉神经痛微创治疗技术不断被革新。作为融合计算机技术、影像学技术和立体定向技术以及

人工智能技术于一体高科技产物,神经导航系统在数字化影像与实际头颅解剖结构之间建立了虚拟的立体动态的联系,通过术前虚拟手术规划和卵圆孔穿刺路径的设计,不仅提高了穿刺的精度,而且最大限度地减少了组织损伤。随着计算机图形技术和传感器技术,以及多模式医学影像融合技术的快速发展,推动了虚拟医学仿真系统的研究。可以预期神经导航技术经过持续不断的改进,体积会越来越小,操作会越来越简单,精度会越来越高,在不远的将来就可以通过先进的虚拟医学仿真系统连接手术机器人,进行人工编程和全自动机器人手术,高速互联网可能会为虚拟医学仿真系统带来新的推广模式,即使身处异地的医生们可合作开展同一例虚拟手术。在以微创治疗为趋势的未来神经导航技术将有更广阔的利用与发展空间。

参考文献

- [1] Pan SL, Chen LS, Yen MF, et al. Increased risk of stroke after trigeminal neuralgia--a population-based follow-up study [J]. *Cephalalgia*, 2011, 31(8):937—942.
- [2] Zakrzewska JM. Facial pain: neurological and neurological [J]. *Neurol Neurosurg Psychiatry*, 2002, 72:27—32.
- [3] 布桂林,宾精文,彭俊玲,等.低场强磁共振CBASS序列在三叉神经痛病因诊断中的应用价值[J].*医学影像学杂志*,2012,22(2):149—152.
- [4] 姬广福,陈剑,李刚,等.三叉神经痛合并根区蛛网膜粘连的病毒病因学研究[J].*中华神经外科杂志*,2011,27(4):401—405.
- [5] Koopman JS, de Vries LM, Dieleman JP, et al. A nationwide study of three invasive treatments for trigeminal neuralgia[J]. *Pain*, 2011, 152(3):507—513.
- [6] Verheul JB, Hanssens PE, Lie ST, et al. Gamma Knife surgery for trigeminal neuralgia: a review of 450 consecutive cases[J]. *J Neurosurg*, 2010, 113(Suppl):160—167.
- [7] 沈兴模,朱亚文.卵圆孔穿刺术解剖与临床研究进展[J].*临床与解剖*,2012,17(2):167—139.
- [8] 马松鹤,夏令杰,陶熔.C型臂引导下半月神经节射频热凝治疗原发性三叉神经痛的技术探讨[J].*中国疼痛医学杂志*,2011,17(11):695—696.
- [9] 刘靖芷,郑宝森,王君.X线和神经刺激器双引导卵圆孔半月神经节周围注射阿霉素治疗三叉神经痛的效果[J].*中华麻醉学杂志*,2010,30(3):327—330.
- [10] 王君,韩悦,杨连海,等.C型臂介入下治疗三叉神经痛卵圆孔定位技术的改良方法[J].*实用放射学杂志*,2012,28(2):313—314.
- [11] 王君,张雪宁,韩悦,等.C型臂引导穿刺针位于卵圆孔内不同区域治疗三叉神经痛疗效观察[J].*中国疼痛医学杂志*,2012,18(9):533—537.
- [12] 时成英,郝凤娟,张云霞.C型臂下射频热凝半月神经节治疗三叉神经痛的中远期疗效评估[J].*医学影像学杂志*,2010,20(9):1355—1357.
- [13] 王慧星,郑宝森,史可梅,等.X线和神经刺激仪定位法阿霉素介入治疗原发性三叉神经眼支痛[J].*中国疼痛医学杂志*,2011,17(5):286.
- [14] 邵君飞,王海秋,姚建社,等.SAC-R-2型机器人导航下射频治疗三叉神经痛的基础与临床研究[J].*临床神经外科杂志*,2006,3(2):70—72.
- [15] Taha JM, Tew JM Jr. Comparison of surgical treatments for trigeminal neuralgia: reevaluation of radiofrequency rhizotomy[J]. *Neurosurg*, 1996, 38(5):865—871.
- [16] 刘灵慧,黄仁辉.射频热凝治疗三叉神经痛的并发症探讨[J].*中国神经精神疾病杂志*,2002,28(3):215—216.
- [17] 倪家骧,郭玉娜,李彩英,等.CT引导下乙醇或阿霉素半月神经节毁损术对三叉神经痛患者的效应[J].*中华麻醉学杂志*,2005,25(2):136—138.
- [18] 周煦燕,黄冰,姚明,等.CT引导下半月节射频热凝治疗顽固性三叉神经痛[J].*中国微创外科杂志*,2011,11(10):953—954.
- [19] 张秀双,杨立强,何明伟.CT引导下半月神经节射频热凝治疗三叉神经痛的远期疗效分析[J].*中国康复医学杂志*,2011,26(9):865—866.
- [20] 王燕,华泽权,李欣欣.CT三维成像精确定位卵圆孔行射频热凝治疗原发性三叉神经痛的疗效分析[J].*中国康复医学杂志*,2012,27(7):616—620.
- [21] 李维方,栾国明,王保国,等.CT三维成像引导定位经皮穿刺射频热凝治疗三叉神经痛[J].*中华临床医师杂志*,2011,5(9):2760—2762.
- [22] Lopez BC, Hamlyn PJ, Zakrzewska JM. Systematic review of ablative neurosurgical techniques for the treatment of trigeminal neuralgia[J]. *Neurosurgery*, 2004, 54(4):973—983.
- [23] 罗唯师,张勇,罗国轩,等.半月节立体定向毁损治疗三叉神经痛(附124例报告)[J].*中华神经医学杂志*,2011,10(5):509—512.
- [24] 范崇军,王永照,丁建军,等.立体定向辅助射频热凝治疗原发性三叉神经痛[J].*中国临床医生*,2012,40(3):55—56.
- [25] 顿志平,马传青,尚景瑞,等.64排螺旋CT辅助立体定向穿刺治疗三叉神经痛[J].*医学影像学杂志*,2011,21(1):9—11.
- [26] 袁邦清,王如密,黄绍宽,等.立体定向在卵圆孔定位射频毁损治疗三叉神经痛中的应用[J].*立体定向和功能神经外科杂志*,2011,24(4):221—223.
- [27] 姚礼,袁邦清,黄绍宽,等.反戴立体定向头架定位在三叉神经痛治疗中的应用[J].*中国临床神经外科杂志*,2011,16(7):441—442.
- [28] 蒋瑾.医学影像应用中X射线辐射危害的处理对策[J].*实用医院临床杂志*,2011,8(1):134—135.
- [29] 吴承远,刘玉光,徐淑军,等.神经导航卵圆孔精确定位射频热凝治疗顽固性三叉神经痛[J].*中国疼痛医学杂志*,2006,12(1):9—10.
- [30] 乔梁,朱宏伟,陶蔚,等.神经导航引导下的三叉神经半月节射频热凝术卵圆孔穿刺技术[J].*中国疼痛医学杂志*,2012,18(10):635—637.
- [31] Apuzzo ML. The Richard C. Schneider Lecture. New dimensions of neurosurgery in the realm of high technology: possibility, practicalities, realities[J]. *Neurosurgery*, 1996, 38(4):625—639.
- [32] Sindwani R, Bucholz RD. The next generation of navigational technology[J]. *Otolaryngol Clin North Am*, 2005, 38(3):551—562.
- [33] 李玉,吴承远,徐淑军,等.神经导航在射频热凝治疗原发性三叉神经痛中的应用[J].*中国医疗器械信息*,2006,13(1):9—11.
- [34] 诸葛启钊,李建策,潘进钱,等.功能核磁共振在运动区手术中的应用[J].*中华神经外科杂志*,2005,21(3):175—177.
- [35] 刘建杰.术中开放式核磁共振在神经外科的应用[J].*医疗卫生装备*,2003,(9):43—44.
- [36] Udupi BP, Chouhan RS, Dash HH, et al. Comparative evaluation of percutaneous retrogasserian glycerol rhizolysis and radiofrequency thermocoagulation techniques in the management of trigeminal neuralgia[J]. *Neurosurgery*, 2012, 70(2):407—412.
- [37] Emril DR, Ho KY. Treatment of trigeminal neuralgia: role of radiofrequency ablation[J]. *J Pain Res*, 2010, (3):249—254.
- [38] 饶建华,李仁伟,马瑞英,等.CT引导下经皮穿刺卵圆孔阿霉素注射毁损术治疗三叉神经痛[J].*中国中西医结合影像学杂志*,2011,9(6):500—502.