·临床教学·

多模态神经导航技术在神经肿瘤手术教学中的应用

周锦鹏　崔晓　王鑫　李龙　景治涛
中国医科大学附属第一医院神经外科，沈阳　110001
通信作者：景治涛，Email：jingzhitao@hotmail.com

【摘要】 目的　探讨多模态导航技术在神经肿瘤手术教学中的作用，以期改善专科医师规范化培训的培养方法。**方法**　通过专家调查法制定调查问卷，获得 20 名住院医师的详细资料，随机分为传统教学组（10 人）和多模态导航组（10 人），利用柯式模型，从反应层、学习层、行为层和结果层四方面进行比较和评价，采用 SPSS 17.0 进行统计分析，定量资料采用（均数 ± 标准差）进行描述，定性资料采取率或百分比描述，同时采用两独立样本 t 检验进行两组的相互对比。**结果**　反应层结果表明，多模态导航组学员在培训内容、培训方法、培训设施和培训后感受四方面的评分都明显比传统教学组高（P<0.05）；学习层结果表明，多模态导航组的住院医师的理论考试成绩、手术技能操作成绩以及总成绩更高（P<0.05）；行为层结果表明，多模态导航组医师实践能力更加突出（P<0.05），集中表现在解剖结构的理解，术前手术方案的设计和术中的手术能力三方面；成果层结果表明，在带教教师的指导下，多模态导航组能够完成全部手术过程的人数比例更高（50% vs. 20%）。**结论**　多模态导航技术的应用对于神经外科专业医师规范化培训具有积极的意义，尤其在神经肿瘤的解剖结构教学、手术教学改革方面发挥着重要作用。

【关键词】 多模态神经导航技术；　专科医师规范化培训；　神经肿瘤；　临床教学；　柯式模型
【中图分类号】 R6
基金项目：辽宁省自然科学基金（20170541022）；中国医科大学医学教育科学研究项目（YDJK2018024）
DOI：10.3760/cma.j.issn.2095-1485.2019.04.019

Neurogastroenterol Motil, 2017, 23(2): 151-163. DOI: 10.5056/jnm16214.

[7] Vork L, Keszthelyi D, Mujagic Z, et al. Development, content validity, and cross-cultural adaptation of a patient-reported outcome measure for real-time symptom assessment in irritable bowel syndrome [J]. Neurogastroenterol, 2018, 30(3): 1-10. DOI: 10.1111/nmo.13244.

[8] Aljarallah B, Hassan MS. Problem based learning (PBL) vs. case based curriculum in clinical clerkship, internal medicine innovated curriculum, student prospective [J]. Int J Health Sci (Qassim), 2015, 9(2): 147-152.

[9] 李小静. 基于问题学习模式在临床医学实践教学中的应用研究[J]. 中国高等医学教育，2017(8)：91-92. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1701.2017.08.047.
Li XJ. Using problem-based learning in the lab sessions of clinical medicine [J]. China Higher Medical Education, 2017(8): 91-92. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1701.2017.08.047.

[10] Koliani-Pace J, Lacy BE. Update on the management of chronic constipation [J]. Curr Treat Options Gastroenterol, 2017, 15(1): 126-134. DOI: 10.1007/s11938-017-0118-2.

[11] Mearin F, Ciriza C, Mínguez M, et al. Irritable bowel syndrome with constipation and functional constipation in adults: Treatment (Part 2 of 2) [J]. Aten Primaria, 2017, 49(3): 177-194. DOI: 10.1016/j.aprim.

[12] Arasteh P, Maharlouei N, Eghbali SS, et al. A comprehensive look at irritable bowel syndrome and its associated factors considering the Rome Ⅳ criteria: a penalized smoothly clipped absolute deviation regression approach in the pars cohort study [J]. Middle East J Dig Dis, 2018, 10(3): 149-159. DOI: 10.15171/mejdd.

（收稿日期：2019-01-12）
（本文编辑：蔡骏翔）

Application of Multimodal Neuronavigation System in clinical teaching of neural tumor surgery

Zhou Jinpeng, Cui Xiao, Wang Xin, Li Long, Jing Zhitao

Department of Neurosurgery, the First Affiliated Hospital of China Medical University, Shenyang 110001, China

Corresponding author: Jing Zhitao, Email: jingzhitao@hotmail.com

【**Abstract**】 **Objective** To improve the system of specialized training by exploring the role of multimodal navigation in the teaching of neurosurgery. **Methods** The questionnaire was conducted by the experts to obtain the detailed information of 20 residents. They were randomly divided into two groups: the traditional teaching group (n=10) and the multimodal navigation group (n=10). The details were evaluated from the reaction layer, the learning layer, the behavior layer and the result layer by the Kirkpatriek's model. The data were analyzed by SPSS 17.0. The quantitative data were described by mean ± standard deviation and the qualitative data was described by rate or percentage. Two independent-samples t test was used to compare the results of two groups. **Results** The results of the reaction layer showed that the scores of the multimodal navigation group were significantly higher than those of the traditional teaching group, which were statistically significant (P<0.05) in the training content, training methods, training facilities and experience after training. The learning results showed that the multimodal navigation group had higher scores in the theoretical examinations, surgical skills and overall scores (P<0.05). The behavioral results showed that the clinical ability of the multimodal navigation group was more prominent (P<0.05). The result layer showed that under the guidance of professors, the percentage of residents who can complete the whole surgical operation is higher in multimodal navigation group (50% vs. 20%). **Conclusion** The application of multimodal navigation technology has a positive effect on the teaching of neurosurgery and specialized training of residents.

【**Key words**】 Multimodal neuronavigation system; Specialized training; Neuroneoplasm; Clinical teaching; Kirkpatriek's model

Fund program: Natural Science Foundation of Liaoning Province (20170541022); Medical Education Research Project of China Medical University (YDJK2018024)

DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-1485.2019.04.019

神经系统肿瘤位置多变,涉及复杂的神经和血管解剖结构,手术操作难度极大;因此,如何最大范围地切除病变并保留神经系统功能成为手术治疗的关键,这对神经外科医师提出了极高的要求。传统的手术教学主要依靠解剖图谱、文字、模型或标本等了解颅内解剖结构,并结合影像学资料具体分析病例;术中以导师演示及讲授,青年医师观摩学习为主,不仅学习内容枯燥,形式被动,而且导致主体意识及独立思考能力的弱化和缺失,极大地制约了青年神经外科医师的成长[1]。

多模态神经导航作为一种人工智能化的神经外科手术辅助系统, 利用术前 CT 和 MRI 等影像学资料作为导航源,从而制定术前计划。术前能够从解剖学上定位脑功能区和病灶,并且通过先进的注册配准技术,将影像坐标系统与手术视野内的位置动态链接起来,提供了术中实时持续定位[2]。它使神经外科手术的定位更精准,术中精细测量变得更简单,误差降至最小,减少了手术时间和侵袭性,能够保证手术的精确定位、最大限度地切除病灶、最小的神经功能损伤,使一些神经外科手术禁区得以突破[3]。

近年来,专科医师规范化培训将神经外科作为首批试点[2],而中国医科大学附属第一医院神经外科作为教学试点单位,一直不断探索如何更有效地开展神经肿瘤手术教学工作。随着科技的不断进步,本研究将多模态导航技术引入神经肿瘤手术临床教学中,通过对病变组织和功能区的实时定位,为手术医生提供更加完善的信息;帮助青年住院医师理解解剖关系、制定手术计划、模拟手术进程和辅助切除病变;为提高教学效率,加快青年神经外科医师的成长提供了新途径。

1　对象与方法

1.1　教学对象

本研究所选取的教学对象均是在中国医科大学附属第一医院神经外科进行专科医师规范化培训且已完成住院医师规范化培训的住院医师，分为多模态导航组和传统教学组。多模态导航组随机选取 2015 年 9 月到 2017 年 9 月在中国医科大学附属第一医院进行专科医师培训的 10 名住院医师；传统教学组随机选取同时期在本院神经外科进行培训的 10 名住院医师。两组住院医师在年龄、性别、学习经验等方面差异无统计学意义，授课教师均为我院神经外科具有独立手术资格的临床教授。

1.2　教学方法

传统教学组的教学方式为，主刀教授在术前根据患者的 CT 或 MRI 影像学表现估计肿瘤位置、大小和形态，利用临床经验确定合适的手术体位、手术入路和制定完善的手术方案。主要采用口头讲述的方式向住院医师讲解相关解剖位置，周围神经血管组织和手术入路的选择；住院医师通过查阅资料来预想手术情况。在术中，住院医师主要通过显微镜下同步观察（或手术同步录像）以及术者基于自己经验的讲解，学习相关解剖结构、肿瘤边界确认和手术切除技巧。

多模态导航组则对需要手术的患者在术前行常规 CT、MRI、MRV、MRA 等检查，并且通过 DTI 和 fMRI 分别重建传导束及功能区皮层的定位。将术前影像学检查的数据结果，通过光盘导入神经导航系统（Stealth Station 7；Medtronic，Minneapolis，MN，USA），分别在 CT 和 MRI 等图像中选择相同的结构（如眼球和脑室系统等进行吻合），利用 Stealth-Merge 软件（Medtronic）进行图像融合及三维重建，同时实现病变、传导束、功能皮层及其他关键结构的三维可视化。教师和住院医师可以在任意角度观察病变与重要功能结构及解剖结构的三维位置关系，从而可以有理有据地设计最优化的手术入路，制定最合理的手术计划，也可对手术操作过程中可能发生的神经血管损伤情况进行预测，并做好充分的术前准备。且住院医师可以在导航系统中利用虚拟现实和增强现实技术模拟手术过程，充分了解肿瘤位置、功能结构和手术路径。在术中，住院医师通过导航系统对于肿瘤位置的实时确认来设计手术切口和选择合适的骨瓣，术者也可以利用导航系统直观而详细地为住院医师讲解肿瘤与功能区的关系、手术中可能出现的问题和如何对肿瘤进行全切。

1.3　效果评价方法

本研究主要采用柯式模型对专科医师规范化培训的效果进行评价，主要包括反应层、学习层、行为层和成果层四个层次[3]。为了得出柯式模型中四个层次评价的相关指标，通过专家调查法制定调查问卷，一共邀请 10 位省内著名神经外科学专家进行信件咨询。初步拟订的问卷采用 Likert 5 评分法，每项指标分别分为很重要、重要、一般、不重要、很不重要 5 个级别，并相应赋予 5、4、3、2、1 分，专家对每项指标的重要性进行评价，同时可对每项指标做出修改和注明删除的意见，从而确立四个层次相应的指标及分值，得出一套科学、客观且具有实用性的调查问卷。本研究采用定稿问卷，在培训后向两组学员共发放问卷 20 份，回收有效问卷 20 份，问卷有效回收率为 100%。其中对于行为层的每个指标，按 3 分制进行区分，分数从高到低分别是满意、一般满意和不满意。通过对结果的分析和评价，客观地说明多模态导航在神经外科专科医师培训中的意义。

1.4　统计学方法

本研究中的所有数据均采用 SPSS 17.0 统计软件进行分析，计数资料采用率或百分比表示，计量资料采用（均数 ± 标准差）表示，检验水准 α=0.05。为比较分析传统教学组和多模态导航组两组学生在柯式模型中四个层次的差异，均采用两独立样本 t 检验。

2　结果

2.1　反应层结果

反应层主要是用来评价住院医师对于专科医师规范化培训的满意度，本研究分别从培训态度、培训内容、培训方法、培训师资、培训设施和培训后的感受这几方面进行调查并记录。结果发现，两组住院医师在培训态度和培训师资评分上并无明显差异（P>0.05），表明住院医师本人和本院神经外科对于专科医师培训的高度重视。而多模态导航组在培训内容、培训方法、培训设施和培训后感受这四方面评分，都高于传统教学组，差异具有统计学意义（P<0.05）（表 1）。

2.2　学习层结果

学习层主要是通过理论和手术技能考试来评价住院医师对于解剖结构、手术入路、手术切除和手术切除等方面的掌握情况。与传统教学组相比，多模

态导航组住院医师的理论考试成绩、手术技能操作成绩以及总分均更高，差异具有统计学意义（$P<0.05$）（表 2）。

2.3 行为层结果

行为层主要是通过住院医师自我评价，考察住院医师在专科医师培训中的行为变化和技能运用情况。结果显示，住院医师的自我评价方面，多模态导航组的行为变化各项自评分都明显高于传统教学组（$P<0.05$）；主要体现在解剖结构的理解，术前手术方案的设计和术中手术能力这三方面（表3）。

2.4 成果层结果

成果层主要通过调查和统计来总结住院医师在专科医师培训后所达到的最终结果和对科室或医院作出的贡献。参与本研究的 20 名住院医师在两年期间的手术事故发生率均为 0；在多模态导航组，有 50%的住院医师培训结束后在教师的指导下可完成全部手术过程，而在传统教学组则只有 20%的住院医师可完成全部手术过程。另外，两组共 20 名住院医师在完成培训后参加主治医师资格考试的通过率为 100%。

3 讨论

3.1 结果分析

反应层结果表明，多模态导航组住院医师在培训内容、培训方法、培训设施和培训后感受等方面拥有更高的满意度，其他方面两组则并无差异。学习层结果表明相比传统组，多模态导航组住院医师的专业水平有了更大的提高。行为层结果表明多模态导航组住院医师对于手术技能的临床应用更加令人满意。结果层表明，多模态导航组的个人手术水平提高更加明显，并能对科室和医院作出贡献。多模态导航技术的应用使专科医师对于培训内容拥有极大的兴趣，更加容易去接受和理解新知识。多模态导航的直观性和科学性使住院医师更加容易掌握复杂的手术入路及其相关解剖结构，并在临床实践中加以应用。

3.2 解剖结构教学

目前常规应用于临床的影像学检查主要为断层扫描影像，该检查方式最明显的弊端就是无法全面展示各种解剖结构及其相互关系。多模态技术可以将多种影像学资料融合重建，将所需要的信息整合到一起，全面展示解剖关系，实时为医生提供完整的病变信息，明确手术器械相对于手术区域的位置[4]，便于青年医师理解和学习（图 1）。中枢神经系统还存在这一些“不可见”的结构，如神经核团、传导束等。这些结构往往有着重要的神经功能，一旦损伤则严重影响患者预后情况。利用多模态技术平台，将弥散张量成像（DTI）与功能磁共振（fMRI）影像融合

表 1　传统教学组和多模态导航组的反应层结果比较（$\bar{x}\pm s$，分）

项目	培训态度（10）	培训内容（35）	培训方法（20）	培训师资（10）	培训设施（15）	培训后感受（20）
传统教学组（n=10）	8.40 ± 1.07	27.80 ± 1.48	15.20 ± 1.48	8.20 ± 0.92	10.80 ± 1.48	10.50 ± 1.96
多模态导航组（n=10）	9.10 ± 0.74	30.40 ± 2.07	17.20 ± 2.04	8.90 ± 0.74	12.70 ± 1.89	13.20 ± 1.48
t 值	−1.698	−3.239	−2.509	−1.878	−2.507	−3.482
P 值	0.107	0.005	0.022	0.077	0.022	0.003

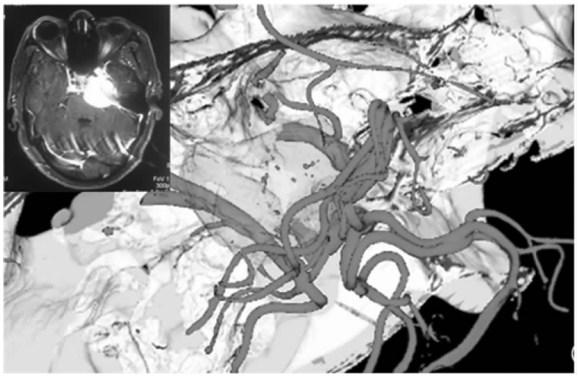
表 2　传统教学组和多模态导航组的学习层结果比较（$\bar{x}\pm s$，分）

组别	理论考试	手术技能	总成绩
传统教学组（n=10）	36.90 ± 5.22	34.20 ± 2.62	71.10 ± 7.34
多模态导航组（n=10）	42.50 ± 3.24	43.40 ± 2.41	85.90 ± 5.47
t 值	−2.884	−8.174	−5.114
P 值	0.001	0.000	0.000

表 3　传统教学组和多模态导航组的行为层结果比较（$\bar{x}\pm s$，分）

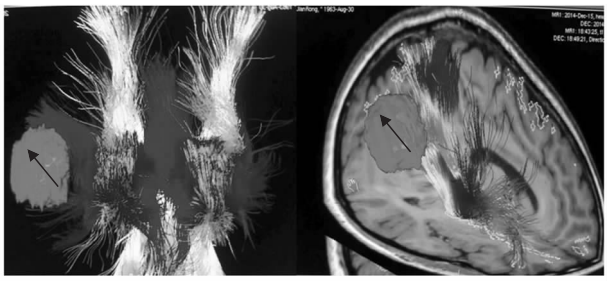
组别	解剖知识	手术方案制定能力	手术切除能力
传统教学组（n=10）	1.60 ± 0.84	1.40 ± 0.52	1.20 ± 0.42
多模态导航组（n=10）	2.50 ± 0.71	2.40 ± 0.52	2.10 ± 0.57
t 值	−2.586	−4.330	−4.025
P 值	0.019	0.000	0.001

后进行 3D 重建，可以明确地显示这些“不可见”结构与病变组织的解剖关系[5]（图 2）。



病变位置深，颅底骨质结构复杂，周围血管丰富；全面了解病变周围解剖结构对手术十分重要；本病例中应用多模态技术平台，将术前颅底 3D-CT 及脑血管 CTA 与病变影像融合重建，明确展示了肿瘤与颅底骨质及周围血管间的相互关系，弥补了各单一检查的不足。为术者设计、实施手术及青年医师学习提供了全面直观的信息

图 1　左侧岩骨尖脑膜瘤



箭头部分为肿瘤组织

图 2　将 DTI 影像与 fMRI 影像融合后进行 3D 重建

3.3　手术教学

3.3.1　手术计划教学

制定完善的手术计划是手术成功的关键。术者对目标区域解剖结构的了解、丰富的经验以及对手术入路的熟悉程度都会影响手术计划的制定。如前文所述，多模态导航技术可以全面展示所需的解剖信息，让青年医师更加直观和形象地了解病变区域结构，便于理解术者在制定手术计划时的意图。

3.3.2　模拟手术教学

多模态技术平台可以模拟手术实施。在获取术前影像学检查、患者信息和手术信息（如手术体位）等临床资料后，系统可建立模拟患者模型，利用系统软件进行模拟手术切除病变。同时也可以利用虚拟现实（virtual reality，VR）技术模拟手术环境、手术器械以及术者的视觉、触觉等信息，让医生可以在虚拟的 3D 环境中模拟手术过程[1]。这样不仅可以让青年医师熟悉手术过程，也可以通过模拟过程评估手术风险和难度，在真正的手术时充分做好技术和心理上的准备。

3.3.3　手术过程教学

目前，在神经肿瘤的手术治疗中，在保证精准切除病变的同时，追求尽可能地将手术的损伤控制到最低。从切口设计到肿瘤切除，微创的理念贯穿整个过程[6]。青年医师从手术创口仅能观察到有限的局部解剖结构，术中经常提出“目前手术处于什么位置”“镜下是什么结构”等问题。如何有效地将术前所掌握的解剖信息与术中结构相结合成为青年医师学习手术的重点和难点。多模态技术可以将术前影像与术中导航结合，术前将患者影像学资料及患者信息注册入系统，术中对手术进程实时导航，并将术前影像学资料、导航信息及镜下影像同时在屏幕上显示，保障了手术的安全与高效，同时使青年医师不再仅仅依靠想象与术者的讲授，还可以直观地了解手术进程与术区结构（图 3）。



术中在导航下实时确定病变位置，避开同侧大脑中动脉分支，保护传导束，完整切除病变

图 3　左侧颞叶深部病变

3.4　教学模式改革

3.4.1　教学内容

神经系统解剖结构复杂，术中暴露范围局限，不利于青年医师理解。传统的教学方法如图谱、文字、传统的影像学资料难以全面展示解剖结构，而手术过程中术者以讲授的形式所提供的信息十分有限，这些都限制了青年医师的培养与成长。多模态导航技术通过有效整合手术所需信息，并进行 3D 重建，可以全面展示解剖结构及其相互关系。从术

前到术中透视化地将整个病变区域呈现在医生面前，让青年医师更加直观地学习解剖结构，了解手术过程。

3.4.2　教学关系

在传统的手术教学中，主要以术者演示及讲授、青年医师观摩学习为主。学习形式被动，参与性差。多模态技术能够提供全部必要的临床信息，青年医师可以通过模拟手术获得作为术者参与手术的实践经验，使得教学过程高度还原临床实践。青年医师在学习中以手术医师的角色参与治疗，极大地提高了教学参与度，有利于提高专业水平和手术技能，调动了青年医师的积极性，提高了其学习自主性。

3.4.3　教学共享

在电子信息化的今天，多模态技术平台对于临床手术教学有着得天独厚的优势。多模态技术不仅可以保存患者的临床资料，对于模拟手术及导航下的术中影像也可以完整保留，使得一些珍贵的手术资料及实践机会不再是一次性的资源。可以根据临床教学的需要反复模拟手术过程，甚至可以通过网络实现远程教学，最大化利用临床教学资源，极大地提升了临床手术教学的效率。

3.5　不足与建议

本次研究虽然首次提出将多模态神经导航技术应用于神经外科专科医师的培训体系，但仍有不足。首先，研究所纳入的专科医师略少，所涉及的医院过于单一，这可能会对结果造成一定的偏差。所以之后的研究应联合 2~3 所大型三甲医院一起进行随机对照试验，加大样本量，进一步巩固研究结论。另外，在手术教学中，多模态导航技术不能纠正“脑漂移”问题，这会影响术中定位的准确性。因此在临床实践中，应联合术中 MRI 等辅助技术解决“脑漂移”，加强手术教学的客观性，进一步促进神经外科的精准治疗。

利益冲突　所有作者均声明不存在利益冲突

作者贡献声明　周锦鹏、崔晓、王鑫：数据的分析、整理和统计；周锦鹏、王鑫：负责设计、发放和收集调查问卷；周锦鹏、景治涛：负责论文的撰写和修改等；崔晓、李龙、景治涛：提出并实施多模态神经导航技术应用于临床手术教学

参考文献

[1] 孙国臣，余新光，陈晓雷，等. 基于多模态功能神经导航的虚拟现实及增强现实技术在神经外科教学中的应用[J]. 中国医学教育技术，2015，29(1)：66-69. DOI: 10.13566/j.cnki.cmet.cn61-1317/g4.201501020.
Sun GC, Yu XG, Chen XL, et al. Application of virtual reality and augmented reality technology based on multi-mode neuronavigation in neurosurgery teaching [J]. China Medical Education Technology, 2015, 29(1): 66-69. DOI: 10.13566/j.cnki.cmet.cn61-1317/g4.201501020.

[2] 赵岩，孙健，杨学军. 多模态影像融合技术在神经外科的应用及进展[J]. 中国现代神经疾病杂志，2012，12(6)：645-650. DOI: 10.3969/j.issn.1672-6731.2012.06.004.
Zhao Y, Sun J, Yang XJ. The application and progress of multimodality image fusion in neurosurgery [J]. Chin J Contemp Neurol Neurosurg, 2012, 12(6): 645-650. DOI: 10.3969/j.issn.1672-6731.2012.06.004.

[3] 李发，曹志恺. 神经导航在脑功能区手术的应用进展[J]. 中国微侵袭神经外科杂志，2017，22(5)：237-240. DOI: 10.11850/j.issn.1009-122X.2017.05.015.
Li F, Cao ZK. The application of nerve navigation in brain functional area surgery [J]. Chin J Minim Invasive Neurosurg, 2017, 22(5): 237-240. DOI: 10.11850/j.issn.1009-122X.2017.05.015.

[4] 马妮娜. 我国专科医师规范化培训的现状、问题与对策[J]. 中国继续医学教育，2017，9(16)：4-6. DOI: 10.3969/j.issn.1674-9308.2017.16.002.
Ma NN. The current situation, problems and countermeasures of the standardized training system of specialists in China [J]. China Continuing Medical Education, 2017, 9(16): 4-6. DOI: 10.3969/j.issn.1674-9308.2017.16.002.

[5] Abdulghani HM, Shaik SA, Khamis N, et al. Research methodology workshops evaluation using the Kirkpatrick's model: translating theory into practice [J]. Med Teach, 2014, 36(S1): S24-29. DOI: 10.3109/0142159X.2014.886012.

[6] Watanabe E, Watanabe T, Manaka S, et al. Three-dimensional digitizer (neuronavigator): new equipment for computed tomography-guided stereotaxic surgery [J]. Surg Neurol, 1987, 27(6): 543-547.

[7] Kumar A, Chandra PS, Sharma BS, et al. The role of neuronavigation-guided funct ional MRI and diffusion tensor tractography along with cortical stimulation in patients with eloquent cortex lesions [J]. Br J Neurosurg, 2014, 28(2): 226-233. DOI: 10.3109/02688697.2013.835370.

（收稿日期：2018-12-11）
（本文编辑：唐宗顺）