

电生理监测技术联合解剖定位在脑运动区手术中的应用

邓大丽 牛朝诗 喻廉 熊赤

【摘要】 目的 探讨电生理监测技术联合解剖定位在脑运动区手术中的应用。**方法** 在 Pubmed 和中国知网数据库,以电生理监测技术、解剖定位和脑运动区手术为关键词,查阅 1997 年 5 月—2013 年 12 月关于电生理监测技术与脑运动区解剖定位在脑运动区手术中应用的相关文献,进行分析总结。**结果** 解剖定位包括功能 MR 和影像导航。电生理监测脑功能定位技术包括体感诱发电位位相倒置技术、经颅电刺激运动诱发电位、皮层电刺激运动区定位、皮层电刺激语言区定位、皮质下电刺激定位运动通路。解剖定位和电生理监测技术在脑运动区手术中各有利弊,目前趋势是联合应用。**结论** 在脑运动区手术中,应用电生理监测联合解剖定位可提高脑运动区解剖定位的精确度,达到最大限度切除肿瘤、保留神经功能的作用。

【关键词】 诱发电位; 运动皮质; 神经导航; 电生理监测

The application of intraoperative electrophysiological technology and stereotactic anatomy in brain motor area lesions Deng Dali*, Niu Chaoshi, Yu Lian, Xiong Chi. *Anhui Provincial Hospital, Anhui Provincial Stereotactic Neurosurgical Institute, Hefei 230001, China
Corresponding author: Niu Chaoshi, Department of Neurosurgery, Anhui Provincial Hospital, the Key Laboratory of Brain Function and Diseases of Anhui Province, Hefei 230001, China, Email: niuchaoshi@163.com

【Abstract】 Objective To explore the application of electrophysiological monitoring in anatomical location of cerebral motor area. **Methods** The literatures from May 1997 to December 2013 in Pubmed and National Knowledge Infrastructure database were searched by using keywords electrophysiological monitoring technology, anatomical localization and cerebral motor area surgery, and the electrophysiological monitoring associated with anatomical orientation of cerebral motor areas was summarized. **Results** Anatomical landmarks included functional magnetic resonance images and navigation. It employed various methods such as intraoperative somatosensory and motor evoked potentials monitoring, intraoperative cortical and sub-cortical stimulation, awaking anesthesia and the comprehensive exploitation of neuronavigation. Stereotactic anatomy and electrophysiological technology had its advantages and disadvantages. At present, combination use of the two methods is the trend of clinical application. **Conclusions** In cerebral motor areas, combined of stereotactic anatomy and electrophysiological technology can improve the accuracy of anatomical location. The combined application of two methods can achieve the effects of maximum degree of resection of the tumor and maximize the retention of neural function.

【Key words】 Evoked potentials; Motor cortex; Neuronavigation; Electrophysiological technology

大脑运动区包括与躯体运动和运动性语言功能密切相关的皮层和皮层下传导通路,该区域病变手术治疗的难点是术中难以准确定位。近年来,运用解剖定位、术中电生理技术对术野的靶神经和神经功能区进行识别,已经获得满意效果^[1-2]。为了进一步提高电生理监测技术在脑运动区解剖定位的精确性,避免医源性损伤,降低术后功能障碍或缺失的发生率,本文对电生理技术定位、解剖定位以及两者联合

在脑运动区手术中的应用进行总结。

1 大脑皮质运动区的解剖定位

1.1 躯体运动中枢

躯体运动中枢即第一躯体运动区,位于中央前回和中央旁小叶前部,包括 Brodmann 第 4 区和第 6 区,身体各部在此区的投射特点为:(1)上下颠倒;(2)左右交叉,但是一些与联合运动有关的肌肉如面上部肌、眼球外肌、咽喉肌、呼吸肌和躯干肌、会阴肌受两侧运动区的支配;(3)身体各部在该区代表范围的大小与功能的重要性和复杂程度有关。有研究报道,中央前回中上部有部分向后反折,形成一个“结”,此“结”发生肿瘤或梗死时,出现对侧手部运动障碍,电生理和功能磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)证实此“结”与对侧手部运动有关,命名为“手结”^[3-4]。在 MRI 横断面,“手结”呈 ω 或倒 Ω 形,出现率

DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-7041.2015.02.025

基金项目:安徽省科技攻关项目(11010402165);安徽省重点实验室绩效考核项目(1306c083028)

作者单位:230001 合肥,安徽省立医院 安徽省脑立体定向神经外科研究所(邓大丽、喻廉);安徽省立医院神经外科 脑功能与脑疾病安徽省重点实验室(牛朝诗、熊赤)

通信作者:牛朝诗, Email: niuchaoshi@163.com

100%,与“手结”相连的脑回即中央前回^[5]。利用“手结”定位中央前回,具有非侵入性,其定位效果明显优于体表标志定位。脑功能运动区病变可发生重组和移位,“手结”定位仍然起作用。但是“手结”定位有其局限性,其只在 2~3 个 MR 层面上出现,当病灶与“手结”不在同一层面时,不能通过“手结”判断病变与中央前回的位置关系,应采取其他方法进行运动区定位。在人类,还有第二躯体运动区和补充运动区。第二躯体运动区位于中央前、后回下面的岛盖皮质,管理上下肢运动。补充运动区位于半球内侧面中央旁小叶的前方,额上回的内侧面。第二躯体运动区和补充运动区主要对复杂的运动起协调作用。损伤初级运动区引起肌肉瘫痪或轻瘫,而损伤次级运动区则引起不明显的运动障碍。

1.2 运动性语言中枢

运动性语言中枢位于额下回的后部(44、45 区),又称 Broca 区。此区受损,产生运动性失语症或表达性失语症。语言优势半球的确定是语言区定位的基础。临床观察表明,91% 以上的失语症是左侧大脑半球受损伤的结果^[6]。20 世纪 90 年代, fMRI 被应用到语言功能研究中,主要用于癫痫患者术前语言优势半球的评价。Chee 等^[6]应用 fMRI 研究发现,右利手者的语言优势半球在左侧者达 94%,部分健康右利手者的语言优势半球在右侧。但是, fMRI 只适合于没有语言缺陷者,对有明显语言缺陷者不起作用。异戊巴比妥实验是确定语言优势半球的金标准。Szaflarski 等^[7]研究发现,异戊巴比妥实验和 fMRI 在确认绝大多数人的语言优势半球上结论是一致的。

1.3 影像导航辅助解剖定位

1990 年, Ogawa 等^[8]通过血氧饱和度的变化来反映脑神经功能情况,即血氧水平依赖功能磁共振成像(blood oxygen level dependent functional magnetic resonance imaging, BOLD-fMRI),从而成为人类活体无创地进行人脑功能成像研究的开端。Pierpaoli 等^[9]进行了人脑扩散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)的研究,并绘制了反应脑白质纤维走向的弥散张量纤维示意图。弥散张量纤维示踪图(diffusion tensor tractography, DTT)是以 DTI 为基础的白质内纤维示踪图。Rasmussen 等^[10]将 12 例患者的 fMRI 与 DTT 图像融合注册到导航工作站,发现 fMRI 对术前定位起作用,而 DTT 在肿瘤的切除中起主要作用。但两者都有一定的局限性,部分容积效应的影像、图像伪影的处理等均受人因素的影响。

2 电生理监测脑功能定位技术

2.1 电生理技术定位方法

2.1.1 体感诱发电位(somatosensory evoked potential, SSEP) 位相倒置技术(phase reversal, PR)

中央沟一直是划分皮质感觉区和运动区的解剖学界限。但是,个体差异及病变的推挤作用可导致解剖结构和神经功能变异。因此,术中难以用常规方法准确判定脑功能区。利用 SSEP 在中央区位相倒置的特性,可以区分感觉和运动皮质区的边界^[11-12]。

刺激电极可选用表面电极或皮下针电极,刺激部位为病灶对侧腕部正中神经。有时根据手术需要,如靠近中线部位的额、顶叶手术,可采用踝部胫后神经。(1)刺激参数:通常采用恒流刺激,刺激频率常用 4.7 Hz,刺激间期 0.3 ms,刺激

强度为 15~25 mA。(2)记录参数:采用硅胶带状电极,滤波 30~300 Hz,时间基线 50~100 ms,记录敏感度 5 μ V/格,信号平均次数 20~40 次。参考电极通常放在额极部位,皮下针电极放置在手术侧肩头上。(3)阳性标准:在中央后回可以记录到 1 个双相的负-正诱发电位(N20, P30),在中央前回记录到 1 个相位完全倒置、双相的正-负诱发电位(P22, N33),而两者交替的间歇区即为中央沟。Tomás 等^[13]在脑皮层肿瘤中应用 SSEP-PR 技术区分中央前回和中央后回的有效率为 94%,该研究证实 SSEP-PR 可以作为术中解剖学区分中央沟的一种可靠、简单的辅助手段,有利于减少运动功能损伤。而 Sheth 等^[14]采用 SSEP-PR 技术在脑运动区手术中定位中央沟成功率达 77%,术后随访定位成功的患者均无肢体功能障碍。有关 SSEP 技术,各家报道的结果不同,多数学者认为 SSEP-PR 定位较可靠^[15-16]。但是当骨窗较小未完全暴露时,记录的部位相对局限。目前国外的学者多采用 SSEP-PR 来定位中央沟,再经皮质电刺激进行证实^[17]。

2.1.2 经颅电刺激运动诱发电位(motor evoked potentials, MEP)

经颅电刺激 MEP 是指经颅电刺激大脑皮层,使锥体细胞轴突产生一个去极化的动作电位,这个动作电位沿着皮质脊髓束下传到运动神经元和靶肌肉,可以在沿着运动传导通路的多个位点或骨骼肌上被记录到。MEP 广泛应用于脑运动区手术,了解运动传导系统的神经功能,监测运动传导通路的完整性,最大范围切除病灶并保护运动功能。(1)刺激参数:刺激电极分别固定于头皮,位于手和上肢代表区的解剖区域。刺激波为单向方波,刺激强度 100~400 V,刺激间歇时间 1~8 ms,刺激间期 0.10~0.40 ms,串刺激 2~10 个/次。(2)记录参数:皮下针电极以肌腱、肌腹的方式置于对侧面部肌肉或上肢前臂屈肌群、拇短展肌、小指展肌;下肢监测股四头肌、胫骨前肌和腓肠肌等,记录所获复合肌肉动作电位(compound muscle action potential, CMAP)的波幅和潜伏期。(3)监测指标:根据手术部位不同选择不同肌肉组接受 CMAP 刺激,并观察肌肉收缩运动,记录肌肉波形变化。CMAP 的判定标准为波形清晰、波幅 $\geq 10 \mu$ V、能辨别潜伏期(拇短展肌和小指展肌的潜伏期范围为 15~30 ms)、伪迹干扰小。(4)警报标准:当 CMAP 的波幅下降 20%~30% 应密切关注,当有持续性改变时应通知医师,必要时暂停手术,查找原因;当波幅下降 50% 以上,或潜伏期延长 10% 以上应立即报警^[18]。Weinzierl 等^[19]在 100 例手术中行 MEP 监测,18 例监测到 MEP 变化,其中 12 例在肿瘤切除后基线恢复正常,术后无永久性肢体瘫痪;6 例在纠正手术操作后 MEP 无恢复,术后 3 例出现永久性瘫痪;进一步证实 MEP 在术中监护运动功能方面起保护作用。

2.1.3 皮层电刺激运动区定位

术中电生理监测可定位并监护肿瘤侵及或毗邻的功能组织,从而避免术后出现失语、偏瘫和感觉障碍,提高病人远期生活质量。运用电生理技术,既可以定位脑皮质,还可以了解运动皮质及通路是否受到影响,尽可能多地切除肿瘤,最大限度地保留运动功能。(1)刺激参数、记录参数和监测指标:双极刺激探针直径 1 mm,正负极间距 5 mm。根据 SSEP 所定的中央沟位置,分别刺激中央前回和中央后回的皮质。双相方波脉冲,刺激频率 60 Hz,刺激持续时间 1 ms;刺激强度在唤醒状态下电流自

2 mA 开始递增、最大 8 mA, 全身麻醉下从 4 mA 开始递增、最大 16 mA, 实施连续刺激, 直至引出病灶对侧靶肌(群)收缩, 或记录到相应的 CMAP 为止。(2) 病灶显露: 采用大骨瓣开颅, 显露病灶及病灶相毗邻的脑功能区。(3) 癫痫防治: 刺激频率不能过快, 持续时间不能过长 (< 5 s), 电流不宜过大, 避免同一部位连续刺激。在手术开始时, 注射 400 mg 丙戊酸钠预防癫痫发作; 术中持续采用脑电图、自由肌电图监测。局部电刺激诱发癫痫发作时, 终止刺激, 4 ℃ 冷生理盐水冲洗, 应用抗癫痫药, 必要时应用肌松药^[20]。Duffau 等^[21]回顾性分析了电生理监测技术在术中运动区胶质瘤的手术影响, 通过比较有或无电生理监测技术时运动区低级别胶质瘤手术切除程度及术后瘫痪率, 证实应用电生理监测定位技术有助于降低术后瘫痪率, 提高肿瘤切除程度, 提高了患者的生存质量。

2.1.4 皮层电刺激语言区定位 临床上很多脑肿瘤的患者出现语言交流障碍。因此, 语言区定位在该类手术患者中显得尤为重要。(1) 刺激参数: 与运动区皮质电刺激方法相同。(2) 语言任务模式: 自发语言、命名、计数、书写、理解等。(3) 阳性判断标准: 刺激中出现命名中断、延迟或混乱, 言语或计数中断、构音障碍、发音错误、理解障碍、表达错误等均提示阳性。(4) 注意事项: 对于语言皮质刺激, 必须采用唤醒麻醉, 刺激强度为 2~6 mA。病变切除后再次行皮质及皮质下电刺激确定运动区及语言区。Jiménez 等^[22]对 14 例脑肿瘤患者进行术中语言区皮质刺激, 12 例患者术中电刺激相关的言语或计数中断; 术后 12 h 检查该 12 例患者未出现言语障碍, 证实了该技术在定位语言区手术中的意义。有研究报道对 115 例脑胶质瘤患者术中皮层电刺激, 确定语言功能区, 指导手术, 98% 的患者未出现言语功能障碍^[21]。

2.1.5 皮质下电刺激定位运动通路 皮质下电刺激定位运动通路常用于明确肿瘤与运动传导束的关系, 定位运动传导束的边界, 用于脑深部肿瘤如胶质瘤等手术的监测。(1) 刺激参数: 刺激波为双相方波脉冲, 脉冲频率 60 Hz, 刺激持续时间 1 ms。(2) 刺激强度及阳性标准: 刺激强度 10~20 mA, 电流自 10 mA 开始, 以 1 mA 递增, 并通过皮质脑电图记录有无后放电, 以引出患者对侧肢体指(趾)、腕(踝)关节或前臂收缩, 或以记录到相应 CMAP 为阳性标准。(3) 癫痫防治: 在合理控制刺激持续时间和频率的前提下, 皮质下电刺激不易导致患者术中癫痫发作。Keles 等^[23]研究指出, 双极刺激仪末端存在 2~3 mm 的电流溢出范围, 术中行皮质下电刺激时电极无须深入锥体束内, 间隔 2~3 mm 的安全距离即可获得满意效果, 减少神经纤维束的机械性损伤, 提高技术安全性。Maesawa 等^[24]在 28 例累及锥体束的脑胶质瘤患者术中行皮质下电刺激定位运动通路监测, 据此指导手术切除范围, 使手术更加安全; 57.1% 监测到 CMAP 变化, 其中 42.8% 出现短暂的运动障碍, 于术后 1~2 d 后基线恢复正常, 术后无永久性肢体瘫痪; 3 例术后出现了其他运动区的症状, 术后 1 例出现永久性瘫痪, CMAP 波幅消失。

2.2 电生理监测对麻醉的要求

麻醉剂对电生理监测的影响是复杂的, 需要针对不同的手术、不同的患者制定个体化、规范化的麻醉及监测方案, 最重要的是保持稳定的麻醉深度。应充分了解麻醉药品和麻

醉方式对电生理监测的干扰作用, 如: 脑干听觉诱发电位, 麻药对其干扰小; 诱发肌肉动作电位, 如 MEP 和肌电图, 对肌松药敏感; SSEP 对吸入麻醉药敏感, 与使用剂量有关; 静脉麻醉(如丙泊酚)对 SSEP 抑制作用较弱。虽然运动诱发电位对各种麻醉药更敏感, 但是依托咪酯、氯胺酮、异丙酚等静脉药物影响对其较小。选用氯胺酮、异丙酚、依托咪酯复合阿片类镇痛药行全凭静脉麻醉, 是目前推荐应用的最佳方案^[25-26]。

2.3 电生理监测的适应证、禁忌证及并发症

电生理监测适用于脑功能区病变的手术包括: 涉及运动、感觉、语言皮质区手术; 脑深部涉及锥体束的手术。目前, 电生理监测是术中运动功能定位的金标准, 但电生理监测专业性强, 对麻醉要求高, 操作时间长, 刺激不当可诱发癫痫, 造成皮肤损伤。此外, 术前运动功能、瘤周水肿、锥体束受破坏及浸润的程度等均影响 MEP 记录结果^[27]。因此, 电生理监测的安全问题也应受到关注。对脑功能区病变外科手术实施术中电生理监测的禁忌证有: (1) 监测局部存在感染病灶。(2) 患者及家属拒绝实施监测。(3) 对麻醉药物有严重过敏反应。(4) 患者体内有相关电子装置植入物, 如心脏起搏器等。电生理监测并发症主要有舌咬伤、心律失常、局部皮肤损伤或感染、头皮烧伤、癫痫等, 这些并发症都是可以通过仔细操作和一些具体措施预防和避免的, 如口中填塞纱布卷可以预防舌咬伤的发生。

3 电生理监测技术联合解剖定位在脑运动区手术中的应用

在脑运动区手术中, 可根据解剖定位(影像导航或 fMRI)设计手术切口, 开颅后显露脑皮质, 以 SSEP-PR 定位中央沟及相应的感觉-运动皮质, 在影像导航下, fMRI 皮质激活区作为直接皮质电刺激排查脑功能的重点区域。定位相关功能皮质后, 距阳性刺激区域至少 1 cm 处切开皮质, 导航辅助下行手术操作。当 DTI 导航显示手术切缘距离相应功能传导束 2 cm 范围内时, 重复执行皮质下电刺激, 监测传导束的完整性。庄晓冬等^[28]对 18 例胶质瘤患者应用影像导航联合神经电生理监测提高了脑功能定位的阳性率, 术后随访 3 个月仅 1 例出现功能障碍。

各种术术前中定位方法各有利弊, 目前趋势是联合应用^[29]。术前 MRI 进行功能区初定位, 术中监测结果也可以对其进行验证, 提高定位精度。SSEP 能明确感觉和运动区域给直接皮质电刺激缩小了范围, 使电刺激做到有的放矢, 缩短手术时间, 结合术前解剖及电生理定位, 可将准确性提高到最大。Cataltepe 等^[30]通过研究发现, 对低级别肿瘤患者行 fMRI 成像及术中监测, 有助于其原发病灶及致痫灶的切除。

总之, 对于脑功能区手术, 术前 MRI、影像导航辅助术与术中电生理监测联合应用, 结合唤醒麻醉下的皮质及皮质下电刺激, 可提高定位精度, 达到最大限度地切除肿瘤、保留神经功能的作用。

参 考 文 献

- [1] Zhu FP, Wu JS, Song YY, et al. Clinical application of motor pathway mapping using diffusion tensor imaging tractography and

- intraoperative direct subcortical stimulation in cerebral glioma surgery: a prospective cohort study[J]. *Neurosurgery*, 2012, 71(6): 1170-1183.
- [2] Prabhu SS, Gasco J, Tummala S, et al. Intraoperative magnetic resonance imaging-guided tractography with integrated monopolar subcortical functional mapping for resection of brain tumors[J]. *J Neurosurg*, 2011, 114(3): 719-726.
- [3] 郭锁成. “手结”在大脑中央区手术定位中央前回的价值[J]. *中国微侵袭神经外科杂志*, 2013, 18(8): 370-371.
- [4] Pimentel MA, Vilela P, Sousa I, et al. Localization of the hand motor area by arterial spin labeling and blood oxygen level-dependent functional magnetic resonance imaging[J]. *Hum Brain Mapp*, 2013, 34(1): 96-108.
- [5] Yousry TA, Schmid UD, Alkhadhi H, et al. Localization of the motor hand area to a knob on the precentral gyrus. A new landmark[J]. *Brain*, 1997, 120(pt 1): 141-157.
- [6] Chee MW, Caplan D. Face encoding and psychometric testing in healthy dextrals with right hemisphere language[J]. *Neurology*, 2002, 59(12): 1928-1934.
- [7] Szaflarski JP, Binder JR, Possing ET, et al. Language lateralization in left-handed and ambidextrous people: fMRI data[J]. *Neurology*, 2002, 59(2): 238-244.
- [8] Ogawa S, Lee TM, Kay AR, et al. Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation[J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1990, 87(24): 9868-9872.
- [9] Pierpaoli C, Jezzard P, Basser PJ, et al. Diffusion tensor MR imaging of the Human brain[J]. *Radiology*, 1996, 201(3): 637-648
- [10] Rasmussen IA Jr, Lindseth F, Rygh OM, et al. Functional neuronavigation combined with intra-operative 3D ultrasound: initial experiences during surgical resections close to eloquent brain areas and future directions in automatic brain shift compensation of preoperative data[J]. *Acta Neurochir (Wien)*, 2007, 149(4): 365-378.
- [11] Kumabe T, Nakasato N, Nagamatsu K, et al. Intraoperative localisation of the lip sensory area by somatosensory evoked potentials[J]. *Clin Neurosci*, 2005, 12(1): 66-70.
- [12] Simon MV, Chiappa KH, Borges LF. Phase reversal of somatosensory evoked potentials triggered by gracilis tract stimulation: case report of a new technique for neurophysiologic dorsal column mapping[J]. *Neurosurgery*, 2012, 70(3): E783-E788.
- [13] Tomáš R, Haninec P, Houstava L. The relevance of the corticographic median nerve somatosensory evoked potentials (SEPs) phase reversal in the surgical treatment of brain tumors in central cortex[J]. *Neoplasma*, 2006, 53(1): 37-42.
- [14] Sheth SA, Eckhardt CA, Walcott BP, et al. Factors affecting successful localization of the central sulcus using the somatosensory evoked potential phase reversal technique[J]. *Neurosurgery*, 2013, 72(5): 828-834.
- [15] Cruse D, Norton L, Gofton T, et al. Positive prognostication from median-nerve somatosensory evoked cortical potentials[J]. *Neurocrit Care*, 2014, 21(2): 238-244.
- [16] Thirumala PD, Bodily L, Tint D, et al. Somatosensory-evoked potential monitoring during instrumented scoliosis corrective procedures: validity revisited[J]. *Spine J*, 2014, 14(8): 1572-1580.
- [17] Duffau H, Capelle L, Denvil D, et al. Usefulness of intraoperative electrical subcortical mapping during surgery for low-grade gliomas located within eloquent brain regions: functional results in a consecutive series of 103 patients[J]. *J Neurosurg*, 2003, 98(4): 764-778.
- [18] Kamada K, Todo T, Ota T, et al. The motor-evoked potential threshold evaluated by tractography and electrical stimulation[J]. *J Neurosurg*, 2009, 111(4): 785-795.
- [19] Weinzierl MR, Reinacher P, Gilsbach JM, et al. Combined motor and somatosensory evoked potentials for intraoperative monitoring: intra- and postoperative data in a series of 69 operations[J]. *Neurosurg Rev*, 2007, 30(2): 109-116.
- [20] 张冠妮, 何永生. 皮层功能区病变手术的术中唤醒麻醉与电生理监测[J]. *实用医院临床杂志*, 2009, 6(4): 27-29.
- [21] Duffau H, Peqqy Gatignol ST, Mandonnet E, et al. Intraoperative subcortical stimulation mapping of language pathways in a consecutive series of 115 patients with grade II glioma in the left dominant hemisphere[J]. *Neurosurg*, 2008, 109(3): 461-471.
- [22] Jiménez de la Peña M, Gil Robles S, Recio Rodríguez M, et al. Cortical and subcortical mapping of language areas: Correlation of functional MRI and tractography in a 3T scanner with intraoperative cortical and subcortical stimulation in patients with brain tumors located in eloquent areas[J]. *Radiologia*, 2013, 55(6): 505-513.
- [23] Keles GE, Lundin DA, Lamborn KR, et al. Intraoperative subcortical stimulation mapping for hemispherical peritrolandic gliomas located within or adjacent to the descending motor pathways: evaluation of morbidity and assessment of functional outcome in 294 patients[J]. *Neurosurg*, 2004, 100(3): 369-375.
- [24] Maesawa S, Fujii M, Nakahara N, et al. Intraoperative tractography and motor evoked potential (MEP) monitoring in surgery for gliomas around the corticospinal tract[J]. *World Neurosurg*, 2010, 74(1): 153-161.
- [25] Sloan TB, Mongan P, Lyda C, et al. Lidocaine infusion adjunct to total intravenous anesthesia reduces the total dose of propofol during intraoperative neurophysiological monitoring[J]. *J Clin Monit Comput*, 2014, 28(2): 139-147.
- [26] Franceschini MA, Radhakrishnan H, Thakur K, et al. The effect of different anesthetics on neurovascular coupling[J]. *Neuroimage*, 2010, 51(4): 1367-1377.
- [27] Nossek E, Korn A, Shahar T, et al. Intraoperative mapping and monitoring of the corticospinal tracts with neurophysiological assessment and 3-dimensional ultrasonography-based navigation[J]. *J Neurosurg*, 2011, 114(3): 738-746.
- [28] 庄冬晓, 吴劲松, 姚成, 等. 3.0T 术中磁共振实时影像功能导航联合术中神经电生理监测技术在岛叶胶质瘤手术中的应用[J]. *中国神经精神疾病杂志*, 2012, 38(4): 207-211.
- [29] 康德智, 郑霖飞, 林元相, 等. 融合影像导航和电生理监测显微手术治疗运动区肿瘤[J]. *解剖与临床*, 2011, 16(5): 370-373.
- [30] Cataltepe O, Turanlı G, Yalnizoglu D, et al. I Surgical management of temporal lobe tumor-related epilepsy in children[J]. *J Neurosurg*, 2005, 102(3 suppl): 280-287.

(收稿日期:2014-03-13)

(本文编辑:刘宏莉)