

影像融合及颅内电极三维重建在
癫痫术前计划中的应用

黄 河 杜 浩 吕丽辉 宋 健 黄 成 何远志 孙荣辉 丁慧超 黄玲玥 徐国政 马廉亭

【摘要】目的 探讨影像融合及颅内电极三维重建在癫痫术前计划中的应用价值。**方法** 对于行开颅颅内电极植入术以进行慢性皮层脑电评估的癫痫患者,获取其术前 MRI 及电极植入术后 CT 的影像资料,利用 SynergyCranial 软件将两种影像进行融合,并对颅内电极、脑表面及颅骨进行三维重建,以显示出颅内电极与骨窗、脑表面的相对位置,为致痫灶的定位及下一步手术计划的制定提供准确的解剖信息。**结果** 在 2015 年 4 月至 8 月共对 10 例需慢性皮层脑电监测的癫痫患者进行了开颅颅内电极植入术。通过术前 MRI 与电极植入术后 CT 影像融合技术,可以在 MRI 断层图像上观察到皮层电极中各触点与脑沟、脑回的相对平面位置,克服了术后无法行 MRI 检查的弊端。通过对影像融合后的颅内电极、脑表面及颅骨进行三维模型重建,可以立体直观地观察到颅内电极与脑表面和骨窗的相对空间位置,电极触点的重建成功率达 90%。根据重建出的三维融合影像,结合皮层脑电图的监测结果,划定出致痫灶的位置与范围,制定手术计划,进行致痫灶切除术,术后所有患者均取得了良好效果。**结论** 在对行颅内电极监测的癫痫患者制定手术计划时,利用影像融合和颅内电极三维重建技术,可以获得更为准确且直观的致痫灶定位信息,有利于提高致痫灶切除手术的准确性和安全性。

【关键词】 癫痫;外科治疗;影像融合;三维重建;颅内电极

【文章编号】 1009-153X(2015)12-0705-04 **【文献标志码】** A **【中国图书资料分类号】** R 742.1; R 651.1*1

Value of MRI and CT images co-registration and three-dimensional visualization of intracranial electrodes to presurgical planning for epilepsy surgery

HUANG He, DU Hao, LÜ Li-hui, SONG Jian, HUANG Cheng, HE Yuan-zhi, SUN Rong-hui, DING Hui-chao, HUANG Ling-yue, XU Guo-zheng, MA Lian-ting. Department of Neurosurgery, Wuhan General Hospital, Guangzhou Command, PLA, Wuhan 430070, China

【Abstract】 Objective To discuss the value of MRI and CT images co-registration and three-dimensional (3D-) visualization of intracranial electrodes to the presurgical planning for epileptic surgery. **Methods** MRI examination before the implantation of the intracranial electrodes (ICE) and CT examination after the implantation of ICE were performed in 10 patients with epilepsy in whom the cortical electrogram was evaluated by the ICE. Both the MRI and CT images were co-registered by the Synergy Cranial software, and 3D-visualization of the relative positions of ICE to the cerebral surface and cranial bone was performed in all the patients in order to provide the information for accurate location of the epileptogenic foci, which were resected by surgery. **Results** The relative positions of ICE discs to the cerebral sulci and gyri were visualized clearly on the images after MRI and CT images co-registration techniques. The view of distribution of electrodes on the brain surface was stereoscopically displayed by the 3D-models built by the co-registered images, and the successful rate of ICE discs visualization was 90%. Based on the three dimensional models combined with the results of the cortical eletrogram, the zone of the epileptogenic foci were delineated in all the patients, who were treated by epileptic surgery. There were good curative effects in all the patients. **Conclusions** The MRI and CT images co-registration techniques and three-dimensional visualization of ICE may help to accurately locate the epileptogenic foci, and enhance the curative effect and safety of the epilepsy surgery in the patients with epilepsy.

【Key words】 Images co-registration; Three-dimensional visualization; Intracranial electrodes; Epilepsy; Surgery

癫痫外科手术的疗效与致痫灶的准确定位密切相关。当癫痫患者无法通过头皮脑电图及影像学检

查等无创手段进行致痫灶定位时,有必要植入颅内电极进一步监测来确定致痫灶的位置和范围^[1-5]。颅内电极包括皮层电极和深部电极,深部电极形态呈直线,可以很容易的在术后 CT 平扫的断层影像中显示出全貌及其与神经结构的相对位置;而皮层电极形态扁平,覆盖于弧形的脑表面,覆盖范围往往超出骨窗范围,且同一根电极可能同时覆盖两个或三个

doi:10.13798/j.issn.1009-153X.2015.12.001
作者单位:430070 武汉,广州军区武汉总医院神经外科(黄河、杜浩、吕丽辉、宋健、黄成、何远志、孙荣辉、丁慧超、黄玲玥、徐国政、马廉亭)

脑面,仅凭术中观察和电极植入术后CT平扫很难准确判断电极触点的分布位置。因此,颅内电极的可视化在癫痫外科治疗的术前评估中具有重要意义。

1 资料和方法

1.1 研究对象 选取2015年4月至2015年8月我院收治的药物难治性癫痫患者10例,其中男性6例,女性4例;平均年龄37岁。

1.2 影像学检查 患者术前行头部MRI薄层扫描(美国GE公司,1.5 T),扫描参数:FSPGR序列,视野=240 mm×240 mm,翻转角=12°,矩阵为256×256,层厚为1 mm。电极植入术后2周行头部CT薄层扫描(荷兰Philip公司),扫描参数:视野=240 mm×240 mm,管电压为120 kV,电流为180 mA,层厚为2.5 mm。

1.3 颅内电极植入术 在经过系统的术前评估后,包括症状学、长程视频头皮脑电图、MRI、神经心理学等,无法定位致痫灶而需植入颅内电极以进一步行皮层脑电图监测。患者完善术前准备后行开颅颅内皮层电极植入术,按术前综合评估确定的可疑区域常规开颅。硬膜剪开后将条状或片状电极(北京华科恒生医疗科技有限公司,型号PSE-32A)放置于脑表面,广泛覆盖可疑区域,对于可能涉及功能区的患者,将电极覆盖至中央沟、额下回、颞上回等处。电极线固定于硬膜,经皮下潜行后穿出头皮。

1.4 MRI与CT影像融合 将患者的MRI及CT影像的DICOM格式数据导入到Stealth Station工作站(美国Medtronic公司),利用Synergy Cranial软件进行两种影像的融合,并进行颅骨电极、脑表面和颅骨的三维重建。在Synergy Cranial软件的StealthMerge模块中进行操作,同时选择MRI和CT作为融合对象,选择CT作为参考对象,使用软件自动融合,利用混合或分列视窗验证融合的准确性,以两种影像上骨皮质的连续重合为融合满意的标准。

1.5 颅骨三维模型重建 在Synergy Cranial软件的Build 3D Model模块下进行操作,选择CT作为三维重建的数据来源,利用Threshold按钮调整阈值的低值及高值,突出断层图像上骨质的显示,即可得到颅骨的三维重建模型,颅骨表面骨缝的细节表现可以继续通过阈值的调整来强化(图1A、1D)。

1.6 脑表面三维模型重建 在Synergy Cranial软件的Build 3D Model模块下进行操作,选择MRI作为三维重建的数据来源,调整Brain按钮下的阈值范围,仅仅将断层图像中的头皮、颅骨和脑实质作为高亮部分显示,去除掉硬膜下腔、脑室和蛛网膜下腔的显

示,通过Segment Brian功能得到脑表面的三维重建模型。脑表面的细节表现也可以通过设置不同大小的Filter来进行调节(图1B、1E)。

1.7 颅内电极三维模型重建 在Synergy Cranial软件的Build 3D Model模块下进行操作,选择CT作为三维重建的数据来源。通过调整Threshold按钮的阈值高低,仅仅将断层图像中的电极触点作为高亮部分显示,而去除掉同样为高密度的颅骨的显示;或者,利用Lasso工具,逐层在断层图像上勾选出电极触点,直至所有的触点变为高亮部分显示。通过这两种方法都能够在3D view下得到颅内电极触点的三维重建模型(图1C、1F)。

完成模型重建后,可以通过调整模型的透明度,在同一坐标体系下同时显示出颅内电极在脑表面分布的情况(图2)。

2 结果

10例药物难治性癫痫患者电极触点为112~144个,平均132个。电极所覆盖的区域包括:额叶凸面10例,额叶内侧面10例,额叶底面10例,颞叶凸面10例,颞叶内侧面10例,颞叶底面8例,顶叶凸面7例,枕叶凸面5例,顶叶内侧面3例,枕叶内侧面2例,枕叶底面2例。通过术前MRI与电极植入术后CT影像融合技术,可以在MRI断层图像上观察到皮层电极中各触点与脑沟脑回的相对平面位置(图3),克服了术后无法行MRI检查的弊端。通过对影像融合后的颅内电极、脑表面及颅骨进行三维模型重建,可以显示出中央沟、外侧裂等重要的解剖标志(图1B、1E),同时可以立体直观地观察到颅内电极与脑表面和骨窗的相对空间位置(图2)。电极触点的重建成功率达90%。根据重建出的三维影像,结合皮层脑电的监测结果,划定出致痫灶的范围,制定手术计划,进行第二次开颅致痫灶切除术。术后所有患者均取得了良好效果,术后随访1~3个月均未见癫痫发作。

3 讨论

通过植入颅内电极进行皮层脑电图监测,是癫痫术前评估的一项重要手段,而准确判断颅内皮层电极在脑表面的分布位置是定位致痫灶的基础^[6]。头颅X线检查是最初用于判断颅内电极位置的方法,优点是简单易行,X线下金属触点显影效果较好;但缺点是对于位于半球凸面和内侧面的电极触点,由于投影重叠而无法区分开,也无法显示出位于

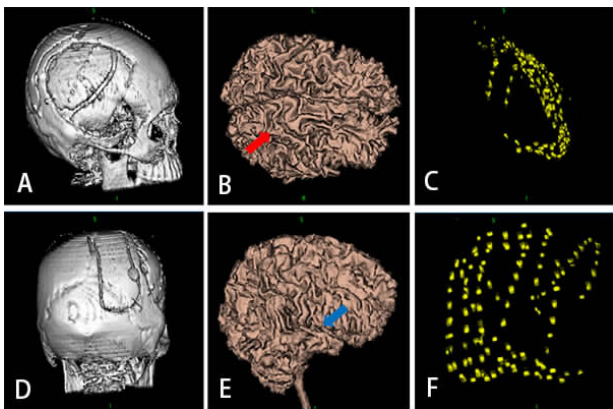


图1 颅骨、脑表面及颅内电极三维重建模型
A、D. 颅骨三维模型显示出骨窗的位置和大小;B、E. 脑表面三维模型显示中央沟(红色↑)、侧裂(蓝色↑)等重要解剖标志;C、F. 颅内电极三维模型显示出电极的空间分布

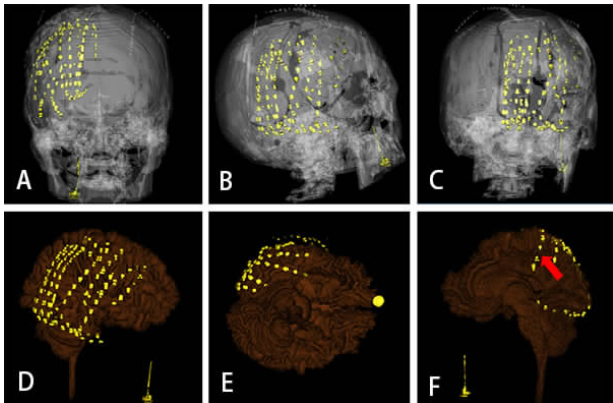


图2 影像融合后三维重建模型显示出颅内电极与骨窗、脑表面的相对空间位置
A~C. 显示颅内电极与骨窗相对空间位置;D~F. 显示内电极与脑表面相对空间位置;通过三维模型,可以清晰地观察到位于颞叶底面(E)和半球内侧面(F)的电极位置情况,红色↑示电极位于扣带沟旁中央支

半球底面的电极^[7];而且X线下脑组织不显影,因此也无法显示出电极与脑组织的关系。头颅CT薄层扫描可以充分显示出位于各个半球表面的电极触点,也可以粗略显示出电极与脑组织的关系,但由于是二维平面的断层图像,无法直观地显示出电极分布情况的全貌。有报道利用电极植入术后MRI扫描影像对电极位置进行观察,但金属触点产生的伪影会干扰脑组织的成像效果^[8],而我们使用的颅内电极触点为不锈钢材料,术后无法行MRI检查。利用术中观察到的开颅骨窗内的脑沟、脑回形态,可以直接判断颅内电极在脑表面的位置,但这种方法无法判断超过骨窗范围的电极位置,以及位于半球内侧面和半球底面的电极位置^[9]。

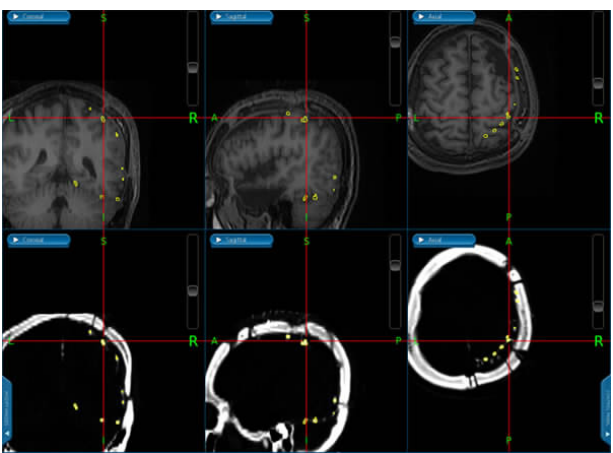


图3 MRI与CT影像融合后可以在MRI上显示出颅内电极各个电极触点与脑沟脑回的相对位置

三维影像融合技术可以很好地弥补上述方法的不足。首先,电极植入术前对患者进行MRI扫描,植入术后对患者进行CT扫描,将脑组织和电极分开扫描成像,避免了同时扫描时金属电极对脑组织成像的干扰。其次,对颅内电极进行三维模型重建,可以立体地反映出各个电极触点之间的相对空间位置,弥补了X线或CT二维平面成像的不足。在实际临床操作过程中,通过这种方法,可以很好地区分出位于半球凸面、内侧面和底面的电极。第三,融合后的影像进行三维模型重建,可以更直观、更精准地显示出颅内电极在整个脑表面的分布情况,包括超出骨窗的部分和位于半球内侧面、底面的部分,而不再局限于仅仅凭借术中观察判断骨窗内的部分。

由于影像融合所使用的是患者术前的MRI影像,因此需要考虑到电极移位对定位准确性的影响。电极移位是指电极植入术后各种因素造成的电极片位置发生改变^[10,11]。这些因素主要包括开颅术中脑脊液丢失引起的脑组织塌陷、关颅过程中缝合硬脑膜时对电极片的牵拉、术后硬膜外血肿对脑组织和电极片的压迫、硬膜下血肿对电极片的分离等等。另外,术后脑组织的塌陷与复位,会对脑表面与颅骨的相对位置产生影响,从而影响到位于脑表面的电极位置的准确性。我们通过术中观察发现,电极移位主要集中在与脑表面垂直的方向,而与脑表面平行的方向移位并不明显,这也与一些报道的结果相一致^[12,13]。另外,手术时应该采取相应措施减少这种移位所带来的影响,包括:①避免在放置电极时划破脑表面蛛网膜造成脑脊液过多丢失;②避免损伤皮层血管引起的电极下血肿;③在固定电极片、缝合硬脑膜、第二次切除性手术剪开硬膜时动作轻柔,

避免过分牵拉;④在向半球内侧面和底面等视野盲区滑入电极片时,尽量保护好脑表面桥静脉,避免静脉损伤引起的硬膜下血肿;⑤骨窗周边及骨窗中心硬膜悬吊,避免形成硬膜外血肿,减轻硬膜皱缩后缝合引起的脑表面压迫;⑥硬膜外放置引流管,术后2周脑肿胀消退、脑表面与颅骨的相对位置关系恢复到术前状态时再行CT扫描以获取颅内电极的影像。另外还需要考虑到影像融合过程本身所产生的误差,但这种误差对于所有的电极都是均衡的。在使用自动融合过程中,一定要利用混合或分列视窗验证融合的准确性,或者利用鼻尖、外耳道、鼻根等体表解剖标志进行手动融合。在Build 3D Model模块下进行电极点的三维模型重建时,利用Threshold工具进行重建可以缩短操作时间,但所产生的误差较大,因为尽管颅内电极触点与颅骨存在密度上的差别,但SynergyCranial软件对于这种差别的识别效果并不好。而利用lasso工具进行重建时,这种误差可以大大缩小,但操作时间明显延长,每例患者需要约1 h。金属电极触点的重建成功率与CT扫描的层厚有关,层厚越薄,每个电极点在断层图像上的显影层面越多,显影更清晰。根据我们的经验,层厚不能大于2.5 mm,否则产生的误差将会严重干扰显示效果。

尽管利用SynergyCranial软件进行影像融合和颅内电极的三维重建还存在一些不足之处,例如:脑表面的三维模型分辨率不够高,与实际的解剖图片质量还有差距;电极触点重建率没有达到100%,且存在形态失真;当电极密集排列时,无法直观的区分各个电极触点的归属导联等等。但该项技术的临床应用价值还是值得肯定的,即对行颅内电极监测的癫痫患者制定手术计划时,利用影像融合和颅内电极三维重建技术,可以获得更为准确且直观的致痫灶定位信息,有利于提高致痫灶切除术的准确性和安全性。如何提高重建图像质量和纠正电极移位所导致的误差是进一步需要研究的方向。

【参考文献】

- [1] Behrens E, Zentner J, van Roost D, *et al.* Subdural and depth electrodes in the presurgical evaluation of epilepsy [J]. *Acta Neurochir (Wien)*, 1994, 128: 84-87.
- [2] 马 炜,张 华,李焕发,等.伴有丛集发作的儿童癫痫患者的手术治疗[J]. *中国临床神经外科杂志*, 2015, 20: 8-10.
- [3] 伍 勇,李嘉佳,朱海涛,等.脑磁图结合颅内电极监测在额叶癫痫手术中的作用[J]. *中国临床神经外科杂志*, 2014, 19: 406-408.
- [4] 郭 强,陈俊喜,杨明明,等.外科治疗中央区顽固性癫痫[J]. *中国临床神经外科杂志*, 2012, 17: 588-590.
- [5] 李云林,张培胜,王晓飞,等.癫痫起始区和“病灶”之间解剖关系的探讨[J]. *中国临床神经外科杂志*, 2012, 17: 585-587.
- [6] Luders H, Awad I, Burgess R, *et al.* Subdural electrodes in the presurgical evaluation for surgery of epilepsy [J]. *Epilepsy Res Suppl*, 1992, 5 (Suppl): 147-156.
- [7] Miller KJ, Makeig S, Hebb AO, *et al.* Cortical electrode localization from X-rays and simple mapping for electrocorticographic research: The "location on Cortex" (LOC) package for MATLAB [J]. *J Neurosci Methods*, 2007, 162: 303-308.
- [8] Schulze-Bonhage AH, Huppertz HJ, Comeau RM, *et al.* Visualization of subdural strip and grid electrodes using curvilinear reformatting of 3D MR imaging data sets [J]. *AM J Neuroradiol*, 2002, 23: 400-403.
- [9] Mahvash M, Konig R, Wellmer J, *et al.* Coregistration of digital photography of the human cortex and cranial magnetic resonance imaging for visualization of subdural electrodes in epilepsy surgery [J]. *Neurosurgery*, 2007, 61: 340-344.
- [10] Roberts DW, Hartov A, Kennedy FE, *et al.* Intraoperative brain shift and deformation: a quantitative analysis of cortical displacement in 28 cases [J]. *Neurosurgery*, 1998, 43: 749-758.
- [11] Hill DL, Maurer CR Jr, Maciunas RJ, *et al.* Measurement of intraoperative brain surface deformation under a craniotomy [J]. *Neurosurgery*, 1998, 43: 514-526.
- [12] Serra C, Huppertz HJ, Kockro RA, *et al.* Rapid and accurate anatomical localization of implanted subdural electrodes in a virtual reality environment [J]. *J Neurol Surg A Cent Eur Neurosurg*, 2013, 73: 175-182.
- [13] 江建东,高志莹,钟 平,等.颅内电极三维重建在涉及脑功能区癫痫术前评估中的应用[J]. *实用医学杂志*, 2014, 30(6): 865-868.

(2015-09-30收稿)