

临床研究

DOI: 10.13406/j.cnki.cyxh.001842

高分辨率 3D CE-MRV 联合 3D T1 增强
在 SEEG 手术计划中的应用

高 薇, 毕永峰, 叶 明, 吴 超, 王 中, 虞正权, 陈 罡

(苏州大学附属第一医院神经外科, 苏州 215000)

【摘要】目的:探讨利用高分辨率 3D CE-MRV 联合 3D T1 增强在 SEEG 手术计划的可行性及准确性。**方法:**对计划行 SEEG 手术的 12 例药物难治性癫痫患者进行定制的 MRI 检查, 利用 iPlan 软件制定手术计划, 共植入 89 根电极, 分析手术结果。**结果:**12 例患者共 89 根电极均顺利植入, 术后未发生出血。其中包括 2 例岛叶癫痫的患者。**结论:**高分辨率 3D CE-MRV 有助于寻找无血管通道, 3D T1 增强有助于了解针道所经过的脑组织结构, 两者联合使用可以准确地制定手术计划, 减少手术并发症。

【关键词】立体定向脑电图; 对比增强磁共振静脉成像; 对比增强磁共振成像; 并发症

【中图分类号】R742.1

【文献标志码】A

【收稿日期】2018-06-22

Value of high-resolution three-dimensional contrast-enhanced magnetic
resonance venography combined with three-dimensional T1-weighted
magnetic resonance imaging in surgical planning for
stereotactic electroencephalography

Gao Wei, Bi Yongfeng, Ye Ming, Wu Chao, Wang Zhong, Yu Zhengquan, Chen Gang

(Neurosurgery Department, The First Affiliated Hospital of Soochow University)

【Abstract】Objective: To investigate the feasibility and accuracy of high-resolution three-dimensional contrast-enhanced magnetic resonance venography (3D CE-MRV) combined with three-dimensional T1-weighted magnetic resonance imaging (3D T1-weight MRI) in surgical planning for stereotactic electroencephalography. **Methods:** A total of 12 patients with medically intractable epilepsy who planned to undergo SEEG surgery were enrolled. Individualized MRI was performed, and the iPlan software was used to develop surgical plans. A total of 89 electrodes were implanted, and the results of the surgery were analyzed. **Results:** The 89 electrodes were successfully implanted, and no postoperative bleeding was observed. Of all patients, 2 had insular epilepsy. **Conclusion:** High-resolution 3D CE-MRV helps to find the avascular trajectory and 3D T1-weight MRI helps to know the structure of brain tissue in the avascular trajectory. Their combination can accurately develop the surgical plan and reduce complications.

【Key words】stereotactic electroencephalography; contrast-enhanced magnetic resonance venography; T1-weighted magnetic resonance imaging; complication

20 世纪 50 年代, Talairach 和 Bancaud 首先在法国巴黎的圣安娜医院采用 SEEG 技术对药物难治性癫痫患者进行定位诊断, 随后这一技术在欧洲少数几个癫痫中心使用。由于影像学技术的限制及定位

理念的不同等问题, 直到 2009 年美国的 Cleveland 癫痫中心成为欧洲地区外第一个开展此技术的国家。我国于 2012 年引进该技术, 并在短短几年内得到迅速发展^[1]。SEEG 技术通过在颅骨上钻直径 2 mm 的微骨孔, 将深部电极按照计划植入到指定靶点。颅内出血是主要的并发症。如何在术前或术中通过影像学及影像后处理方法得到颅内血管的真实再现是一个技术难点^[2]。增强磁共振、DSA 和 CTA 是目

作者介绍: 高 薇, Email: gaowei4354@163.com,

研究方向: 功能神经外科基础与临床。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (编号: 81771255)。

优先出版: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1046.R.20180928.1849.006.html>

(2018-09-29)

前大多数癫痫中心常用的显示血管的方法。我科自 2015 年以来,采用高分辨率 3D CE-MRV 联合 3D 增强 T1 及表面重建的后处理方法来显示颅内血管,减少了患者的放射线暴露,也避免了股动脉插管,取得了较好的疗效。现报道如下。

1 材料与方法

1.1 一般资料

本组 12 例癫痫患者经过 SEEG 手术共植入颅内电极 89 根。患者中男性 6 例,女性 6 例,年龄 6~36 岁,平均年龄 24.3 岁。病程 3~20 年,平均 10.3 年。电极位于额叶的 20 例,颞叶的 31 例,顶叶的 16 例,枕叶的 11 例,岛叶的 11 例。

1.2 术前 MRI 检查及手术计划的制定

所有患者均于术前采用 Philips Ingenia 3.0T 高场强超导磁体进行磁共振扫描,扫描序列包括平扫和增强的 3D T1 相 (TE 3.9 ms, TR 8.4 ms, 矩阵 256×256 , 视场 $256 \text{ mm} \times 256 \text{ mm}$, 层厚 1 mm); 3D CE-MRV (TE 1.62 ms, TR 4.7 ms, 矩阵 256×256 , 视场 $256 \text{ mm} \times 256 \text{ mm}$, 层厚 0.5 mm)。3D CE-MRV 结合并行采集技术 (ASSET), 加速因子为 2; 采用椭圆形 K 空间填充技术。采用康高公司双桶注射器经肘静脉高压推注总量为 20 mL 钆-喷酸葡胺注射液和 20 mL 生理盐水, 注射速率为 3 mL/s, 采用透视触发软件在冠状位上对颈内动脉进行监测, 在造影剂到达颈内动脉分叉处时启动扫描, 得到颅内血管图像, 血管相扫描结束后再进行常规 3D T1 相扫描得到 3D 增强的图像。

使用 BrainLAB 公司的 iplan 软件对 3D T1 相、CE-MRV、增强的 3D T1 相进行融合, 采用自动分割的方法对大脑表面进行重建, 采用阈值法对脑血管进行重建。以增强的 3D T1 相为结构相进行电极植入, 同时结合三维重建的带有血管的大脑表面图像调整电极的植入路径。按照术前计划植入电极, 统计并发症的发生率, 同时在二次手术的过程中观察脑表面的血管形态并将其与术前模拟的图像进行比较。

1.3 统计术后出血率及术中比对

由主刀医师及助手根据 SEEG 植入术后的头颅 CT 统计术后出血率, 在二次手术过程中对骨窗范围内的脑沟回形态、血管走行方向及电极的入点进行辨认并将其与术前的模拟图像进行比对。

2 结果

2.1 统计电极植入的部位及术后出血的比例

电极植入部位在额叶的 20 例, 颞叶的 31 例, 顶叶的 16 例, 枕叶的 11 例, 岛叶的 11 例。电极植入术后当天及拔除电极前 1 d 均行头颅 CT 扫描, 无 1 例发生颅内出血, 出血率 0%。见表 1。

表 1 电极植入的部位及术后出血的比例

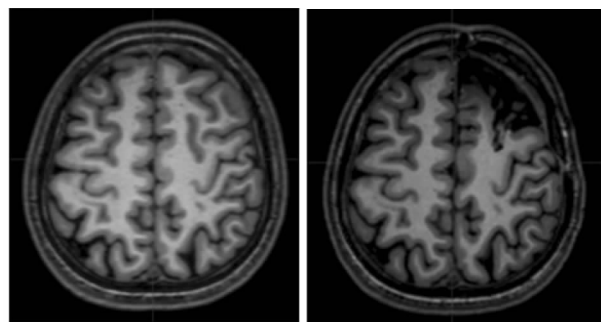
电极所在的脑叶	电极数目	发生出血的电极数目
额叶	20	0
颞叶	31	0
顶叶	16	0
枕叶	11	0
岛叶	11	0

2.2 利用虚拟现实模型评价术前模拟的准确性

根据术前虚拟现实的模型, 12 例患者术前模型的脑沟回形态及血管走行方向均与术中所见一致。利用虚拟现实模型术前模拟与手术所见具有较好的一致性。

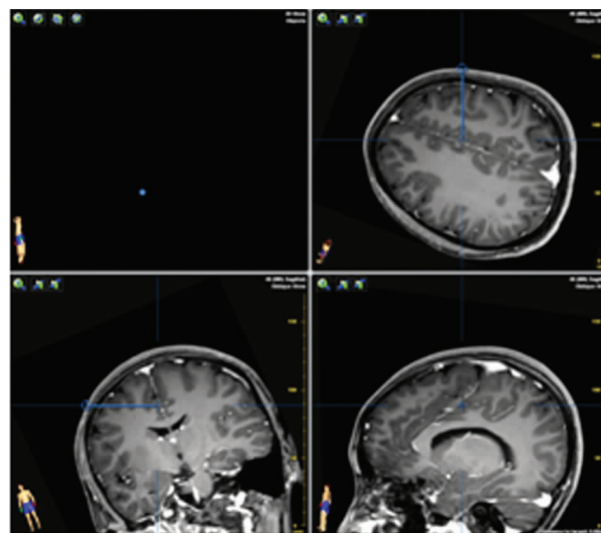
2.3 典型病例

女性, 30 岁, 右利手, 主诉: 发作性肢体抽搐 12 年余。查体: 无神经系统异常体征。MRI 检查示: 未见明显异常。PET-CT 示: 右侧额上沟低代谢。术前利用 BrainLab 公司的 iplan 软件在工作站上建立大脑 (淡黄色)、大脑表面血管 (红色) 的虚拟现实模型 (图 1), 以右侧额上沟为中心, 利用 iplan 软件的 Trajectory planning 模块制定 5 根电极的植入计划。SEEG 术后 1 个月, 患者再次入院切除右侧额上沟底部的致痫灶, 术后随访 2 年, 无发作。

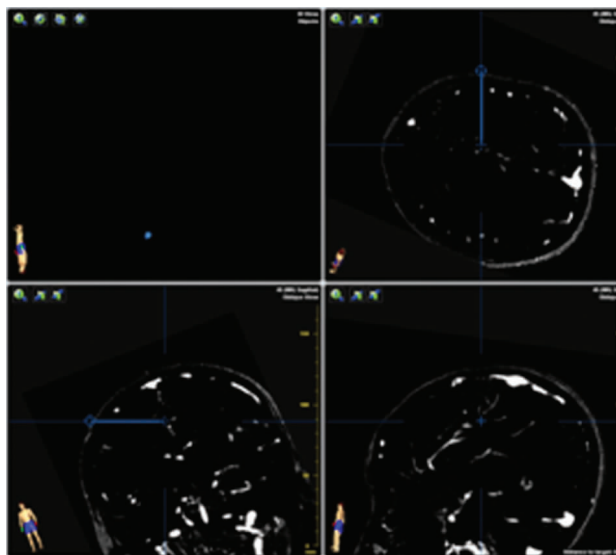


A. 术前 MRI

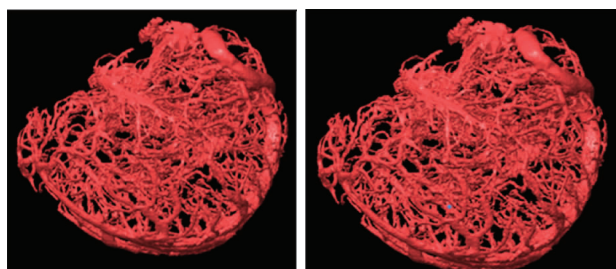
B. 术后 MRI



C. 增强 MRI 观察电极路径

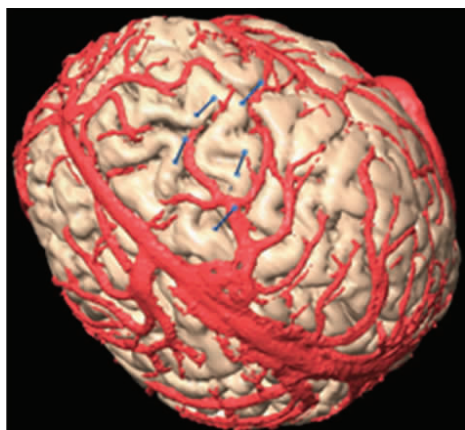


D. CE-MRV 观察电极路径

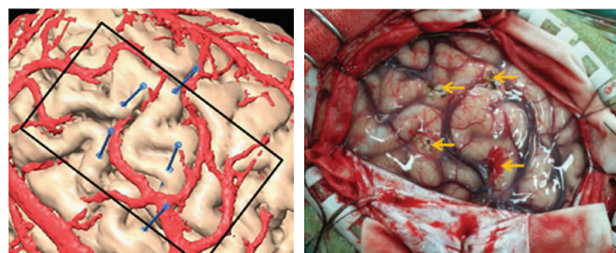


E. 三维重建大脑血管

F. 电极路径在三维大脑血管中的位置

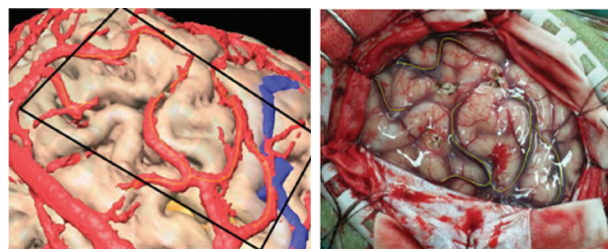


G. 大脑表面重建、脑血管重建及电极路径入点模拟



H. 术前模拟的脑表面入点

I. 术中所见的脑表面入点



J. 术前模拟的脑血管形态

K. 术中所见的脑血管形态

淡黄色为大脑半球,红色为脑表面的血管,包括动脉和静脉,脑表面的蓝色区域为中央沟、垂直于脑表面的蓝色线条为计划的电极路径

图 1 典型病例的临床资料

3 讨论

颅内出血是 SEEG 最常见的手术并发症,也是最严重的手术并发症,大量的颅内出血不仅会导致手术失败,甚至会对患者的生命带来威胁。最近的大宗统计表明:单根电极植入的出血风险为 0.08%~0.2%,每次 SEEG 手术的出血率为 1%~3%^[3-4]。真实可靠地显示颅内血管,包括脑膜血管,并且使深部电极按照术前计划精准地从脑表面的入点穿过无血管区到达脑深部的靶点,是避免 SEEG 术中出血的关键。Leksell 立体定向架及机器人技术提供了高精度的植入技术。但是,颅内血管的扫描方法及后处理方法在不同的癫痫中心差别较大,至今尚无统一的方案。

颅内血管成像的方法较多,有磁共振检查中的 TOF 法^[5]、PCA 法、CE-MRV 法^[6]、3D 增强 T1 以及 DSA 和 CTA 等,3D TOF 法对慢血流不敏感,对静脉显示效果不佳。2D TOF 法对慢血流相对敏感,并且采集时间较短,背景抑制效果好,但是其空间分辨率较低,层面内流动血流会受到饱和效应的影响,造成信号丢失,因而无法在 SEEG 的术前计划中使用。PCA 法对慢血流敏感,受饱和效应影响小,背景抑制好,但是需要在成像之前对血流速度作出估计,设定合适的速度编码值。当速度编码值高于感兴趣靶血管血流速度时,将使静脉窦的信号强度减低,影响感兴趣靶血管结构显示;而当速度编码值过低时,血流较高的窦和静脉又易产生伪影。且 PCA 法得到的动脉血管直径比实际直径要大^[7],仅国内 1、2 个癫痫中心采用此方法,其可靠性还需要大样本的病例来证实。3D 增强 T1、DSA 和 CTA 是目前国内外在 SEEG 的手术计划中最为常用颅内血管显影方法。这几种成像方法都各有优缺点。其中,DSA 是显

示血管形态的金标准,在很多癫痫中心广泛应用于 SEEG 术前检查,但 DSA 为有创伤性检查,且只能显示血管本身,对血管周围的正常脑组织无法同时显示,因而在寻找无血管区的同时无法确切地了解 SEEG 途径的组织结构。CTA 和使用 O 臂机扫描的 CBCTA^[8](cone beam CTA)在很多癫痫中心使用,CTA 有较好的空间和时间分辨率,但是 X 线辐射损伤和高密度颅骨的干扰一定程度影响其大范围推广。同样 CTA 无法在显示脑血管的同时显示脑组织的结构,且术中 CBCTA 大大延长了手术时间。3D 增强 T1 在显示血管的同时显示脑组织,但是难以进行血管的三维表面重建,难以直观地了解电极路径与血管之间的三维关系。

近年来,对比剂增强磁共振血管造影(CE-MRV)由于其有无创、成像时间相对较短、空间分辨率高、受流动假象干扰少、对管径较小的血管成像效果好等优点越来越受到人们的关注^[9]。本研究方法将在团注造影剂后先进行 CE-MRV 扫描,再进行 3D CE-T1,扫描时间增加了 5~6 min。扫描完毕后,我们对 CE-MRV 和 3D 增强 T1 进行影像融合,然后对 3D 增强 T1 进行 MPR 重建,制定电极植入路径,同时对 CE-MRV 进行三维表面重建来寻找无血管区,指导 SEEG 手术计划的指定。CE-MRV 是从肘静脉注射对比剂,期间经历了肺循环和体循环,时间分辨率相对较低,颅内动脉和静脉会同时显示。这一缺点并不会给 SEEG 的手术计划带来困扰,动静脉的同时显示为 SEEG 的手术计划制定提供了更多的保障。为了适应 SEEG 对颅内血管显示的要求,本研究对 CE-MRV 的参数进行了调整,在尽可能提高空间分辨率的同时利用并行采集技术提高采集速度,使得本方法在不显著延长扫描时间的前提下提高了空间分辨率。本研究采用的扫描体素为 0.5 mm × 0.5 mm × 0.5 mm,足以满足临床需要。为了最大限度地减少背景噪声,清晰显示颅内血管的细节,本研究采用椭圆形 K 空间填充技术,尽管需要 5 min 来完成扫描,但是造影剂团注后早期的数据填充 K 空间的中心部分决定图像的对比度,后期的数据填充到 K 空间的周围部分来提高图像的分辨率。这种 K 空间填充技术既增强了血管跟背景的对比度,又不影响血管结构的分辨率。在对比剂延迟时间的确定上,利用透视触发软件监测管床位颈内动脉信号变化,在造影剂到达颈内动脉分叉处后启动扫描。这个触发时间点可以同时显示颅内动脉和静脉。

本研究采用 iplan 完成手术计划的制定及脑表

面、脑血管的三维重建,可以直观地看到电极入点的分布情况,电极入点与周围血管的 3D 关系,电极相互之间的 3D 关系。有利于合理的电极空间分布^[10]。

本研究利用此方法完成了 12 例患者 89 根电极的植入,术后无脑出血的发生。目前病例数还比较少,需要进一步扩大病例数来证实其安全性和可靠性。此外,CE-MRV 的血管三维显示质量与三维 DSA 相比还有一定的差距,需要进一步改进扫描方法,改良后处理方法,更好地抑制图像的背景噪声,提高血管重建质量。

应用高分辨率 3D CE-MRV 联合 3D T1 增强及影像后处理的方法来制定 SEEG 手术计划是安全可靠的,这一方法不仅可以显示针道是否经过无血管区,而且可以显示针道途经的脑组织结构,同时不增加放射线的暴露且不需要动脉插管,是一种安全、可靠的方法。

参 考 文 献

- [1] Cardinale F, Casaceli G, Raneri F, et al. Implantation of stereo-electroencephalography electrodes: a systematic review[J]. J Clin Neurophysiol, 2016, 33(6): 490-502.
- [2] Mullin JP, Shriver M, Alomar S, et al. Is SEEG safe? A systematic review and meta-analysis of stereo-electroencephalography-related complications[J]. Epilepsia, 2016, 57(3): 386-401.
- [3] Mirzayan MJ, von Roden M, Bulacio J, et al. The usefulness of intraoperative cerebral C-Arm CT angiogram for implantation of intracranial depth electrodes in stereotactic electroencephalography procedure[J]. Stereotact Funct Neurosurg, 2016, 94(1): 10-17.
- [4] Cardinale F, Cossu M, Castana L, et al. Stereoelectroencephalography: surgical methodology, safety, and stereotactic application accuracy in 500 procedures[J]. Neurosurg, 2013, 72(3): 353-366.
- [5] 刘 烁, 林光耀, 蒋 杰, 等. 颅内静脉窦 2D-TOF MR 和 3D-CE MRA 扫描方法对比研究[J]. 磁共振成像, 2015, 6(3): 178-181.
- [6] 潘璟琰, 张道春, 丁建荣. 高分辨 CE-MRV 对颅内静脉系统的显示[J]. 医学影像学杂志, 2011, 21(2): 175-177.
- [7] Liu W, Guo H, Du X, et al. Cortical vessel imaging and visualization for image guided depth electrode insertion[J]. Comput Med Imaging Graph, 2013, 37(2): 123-130.
- [8] Cardinale F, Pero G, Quilici L, et al. Cerebral angiography for multimodal surgical planning in epilepsy surgery: description of a new three-dimensional technique and literature review[J]. World Neurosurg, 2015, 84(2): 358-367.
- [9] Yiğit H, Turan A, Ergün E, et al. Time-resolved MR angiography of the intracranial venous system: an alternative MR venography technique[J]. Eur Radiol, 2012, 22(5): 980-989.
- [10] Minkin K, Gabrovski K, Penkov M, et al. Stereoelectroencephalography using magnetic resonance angiography for avascular trajectory planning: technical report[J]. Neurosurgery, 2017, 81(4): 688-695.

(责任编辑:冉明会)