

术中磁共振导航技术在脑功能区周围动-静脉畸形切除术中的应用

孔东生 孙正辉 武琛 姜金利 薛哲 马玉栋 王文鑫 程林 张治中

【摘要】 目的 探讨术中 MRI 导航下显微外科手术切除位于脑功能区周围动-静脉畸形的有效性和安全性。**方法** 对 53 例脑功能区周围动-静脉畸形患者行术中 MRI 导航联合术中电生理学监测下显微外科手术,同时于术前和术中行血氧水平依赖性功能磁共振成像(BOLD-fMRI)和扩散张量成像(DTI),将 BOLD-fMRI 与 DTI 图像融合,形成病变、脑功能区和锥体束的三维图像,观察手术前后三者的关系和变化。**结果** 53 例脑功能区周围动-静脉畸形患者,畸形团直径 2~7 cm、平均(3.41±0.85) cm,病变毗邻感觉功能区 6 例、运动功能区 7 例、锥体束 10 例、语言功能区 14 例、视觉皮质 2 例、视辐射 9 例、基底节 2 例、脑干 3 例。49 例在保留重要功能前提下全切除畸形团,4 例因术中 MRI 导航确定畸形团与脑功能区关系密切而残留部分畸形团。术后 8 例新发神经功能障碍,其中双侧视野缺损 1 例、肌张力降低 3 例、面瘫 1 例、失语 2 例、肌张力降低合并运动性失语 1 例。术后随访 3~60 个月,中位时间[19.37(6.00,30.00)]个月,Glasgow 预后分级 5 分 45 例(84.91%)、4 分 3 例(5.66%)、3 分 2 例(3.77%)、2 分 1 例(1.89%)、1 分 2 例(3.77%),其中 1 例于术后 1 年死于呼吸衰竭,1 例死因不明。**结论** 采用术中 MRI 导航联合电生理学监测技术可以适当扩大位于脑功能区周围动-静脉畸形的手术适应证。

【关键词】 颅内动静脉畸形; 磁共振成像; 显微外科手术

Clinical application of intraoperative MRI navigation in microsurgical resection of cerebral arteriovenous malformations located near the main functional areas

KONG Dong-sheng, SUN Zheng-hui, WU Chen, JIANG Jin-li, XUE Zhe, MA Yu-dong, WANG Wen-xin, CHENG Lin, ZHANG Zhi-zhong

Department of Neurosurgery, Chinese PLA General Hospital, Beijing 100853, China

Corresponding author: SUN Zheng-hui (Email: szh301@sina.com)

【Abstract】 Objective To evaluate the efficacy and safety of intraoperative MRI navigation in the microsurgical treatment of arteriovenous malformations (AVM) located near the main functional areas of brain. **Methods** A total of 53 patients with AVM in the adjacent functional areas were treated by microsurgical operation with intraoperative MRI navigation and electrophysiological monitoring. Blood oxygenation level-dependent functional magnetic resonance imaging (BOLD-fMRI) and diffusion tensor imaging (DTI) examinations were performed before and during operation. We fused BOLD-fMRI and DTI images to form three-dimensional images containing lesions, important functional areas and pyramidal tract so as to study the relationship between them and their changes before and after operation. **Results** The diameter of malformations in 53 patients was 2-7 cm, on average of (3.41±0.85) cm. There were 6 patients involved in sensory areas, 7 patients in motor areas, 10 patients in pyramidal tract, 14 patients in language areas, 2 patients in visual cortex, 9 patients in optic radiation, 2 patients in basal ganglia and 3 patients in brain stem. Gross total resection was achieved in 49 patients while full functionality was retained. The other 4 patients with intraoperative MRI navigation were found that malformations and functional areas were closely related, so the lesions were partially resected. There were 8 patients with new-onset postoperative neurological dysfunction, among whom one case was found bilateral visual field defects, 3 patients' muscle tone was lower than before, one case of facial paralysis, 2 cases of aphasia, one with decreased muscle tone

doi:10.3969/j.issn.1672-6731.2016.12.006

基金项目:北京市科技计划项目(项目编号:Z141107002514052)

作者单位:100853 北京,解放军总医院神经外科

通讯作者:孙正辉(Email:szh301@sina.com)

and motor aphasia. Follow-up period varied from 3 to 60 months [median 19.37 (6.00, 30.00) months], and 2 cases died (one died of respiratory failure after one year, and the other was agnogenic). Glasgow Outcome Scale (GOS) score was 5 in 45 cases (84.91%), 4 in 3 cases (5.66%), 3 in 2 cases (3.77%), 2 in one case (1.89%) and one in 2 cases (3.77%). **Conclusions** With the application of intraoperative MRI navigation and electrophysiological monitoring, it may be appropriate to expand the surgical indications of AVM located near the main functional areas of brain.

【Key words】 Intracranial arteriovenous malformations; Magnetic resonance imaging; Microsurgery
This study was supported by Beijing Science and Technology Plan Program (No. Z141107002514052).

颅内动-静脉畸形(AVM)是神经外科常见疾病,位于脑功能区的动-静脉畸形因病变位置特殊,常预后不佳^[1-2]。本文回顾分析近5年在解放军总医院采用术中MRI导航下显微外科手术的53例脑功能区周围动-静脉畸形患者的临床资料,以探讨术中MRI导航下显微外科手术切除位于脑功能区周围动-静脉畸形的安全性和有效性。

资料与方法

一、临床资料

1. 纳入标准 (1)术前均经数字减影血管造影术(DSA)证实为颅内动-静脉畸形,并在MRI导航辅助下行动-静脉畸形切除术。(2)颅内动-静脉畸形病灶至脑功能区皮质或功能传导束距离 $<20\text{ mm}$ ^[3]。

2. 排除标准 (1)单纯血管内介入治疗患者。(2)颅内海绵状血管瘤、发育性静脉异常等其他脑血管畸形患者。(3)因脑出血行急诊手术,未能完成MRI导航患者。(4)术后未按时复查随访患者。

3. 一般资料 根据上述纳入与排除标准,选择2011年1月-2016年1月在解放军总医院神经外科采用术中MRI导航下显微外科手术的脑功能区周围动-静脉畸形患者共53例,男性32例,女性21例;年龄4~67岁,平均 (32.60 ± 15.94) 岁;临床主要表现为头痛30例,肢体无力或感觉障碍11例,言语障碍4例,视野缺损7例,癫痫发作12例,意识障碍2例。所有患者均于术前行DSA和MRI检查,35例同时行CT检查。DSA显示,畸形团供血动脉为大脑前动脉(ACA)分支8例,大脑中动脉(MCA)分支13例,大脑后动脉(PCA)分支4例,大脑前动脉和大脑中动脉分支10例,大脑中动脉和大脑后动脉分支8例,大脑前动脉和大脑后动脉分支5例,大脑前动脉、大脑中动脉和大脑后动脉分支5例;引流静脉为矢状窦27例,乙状窦4例,横窦6例,矢状窦和直窦5例,矢状窦和横窦3例,横窦和海绵窦3例,矢

状窦、乙状窦和海绵窦5例。MRI显示,畸形团直径2~7 cm,平均 (3.41 ± 0.85) cm;病变毗邻感觉功能区6例,运动功能区7例,锥体束10例,语言功能区14例,视觉皮质2例,视辐射9例,基底节区2例,脑干3例。CT显示,畸形团破裂出血33例,包括蛛网膜下隙出血(SAH)6例、颅内出血27例,其中血肿破入脑室3例;血肿直径为2~6 cm,平均为 (3.18 ± 1.07) cm。术前Glasgow昏迷量表(GCS)评分为7~15分,平均为 (9.70 ± 2.04) 分。本组53例患者术前均采用Spetzler-Martin分级以评价颅内动-静脉畸形级别,I级0例、II级13例、III级23例、IV级16例、V级1例。

二、研究方法

1. 头部MRI检查 所有患者安静平卧,保持清醒、闭眼、放松状态,软垫固定头部,采用德国Siemens公司生产的Magnetom Trio Tim 1.5T超导型MRI扫描仪,梯度场强45 mT/m,12通道头部表面线圈,获得常规MRI和fMRI图像。(1)横断面T₁WI:重复时间(TR)1650 ms、回波时间(TE)3.02 ms,扫描视野(FOV)250 mm×250 mm,矩阵256×256,激励次数(NEX)1次,扫描层厚1 mm、层间距为零,共扫描176层,扫描时间318 s,范围覆盖自颅底至颅顶全部脑组织。(2)三维时间飞跃(3D-TOF):重复时间为29 ms、回波时间7 ms,扫描视野250 mm×250 mm,矩阵320×192,激励次数1次,扫描层厚0.70 mm、层间距为零,共扫描40层,扫描时间368 s,范围覆盖双侧大脑半球。(3)fMRI:重复时间2000 ms、回波时间45 ms,扫描视野192 mm×192 mm,矩阵64×64,激励次数1次,扫描层厚3 mm、层间距为零,共扫描26层,扫描时间462 s,扫描范围覆盖双侧大脑半球。(4)扩散张量成像(DTI):重复时间6218 ms、回波时间105 ms,扫描视野251 mm×251 mm,矩阵128×128,激励次数4次,扫描层厚3 mm、层间距为零,共扫描40层,扫描时间432 s,范围覆盖自颅顶

至脑干全部脑组织。

2. 图像处理 采用 fMRI 定位脑功能区, 通过不同运动组块模式激活不同脑功能区, 嘱患者进行对指运动(1~2 次/s), 静息-运动时相交替进行, 每个时相持续 40 s, 以激活手指运动皮质; 通过默读数字等语言任务激活 Broca 区和 Wernicke 区; 采用 DTI 定位感觉和运动传导束。上述图像数据经局域网传输至导航计划工作站, 采用 Plan Craniali 3.0 软件(德国 Brainlab 公司)制定术前导航计划, 采用血氧水平依赖(BOLD)图谱模块对血氧水平依赖性功能磁共振成像(BOLD-fMRI)信号进行处理, 定位脑功能区, 纤维追踪(fiber tracking)模块进行传导束追踪。最终明确畸形团与脑功能区和传导束之间的关系, 辅助选择手术入路, 制定术前计划。

3. 术中 MRI 导航辅助下显微外科手术 根据患者病变部位调整体位(俯卧位或仰卧位), 气管插管全身麻醉, 将术前计划经局域网或移动存储器导入导航设备, Mayfield 立体定位头架(美国 Integra 公司)固定, 将导航血肿穿刺参考架固定于健侧头架一侧, 以防止手术过程中操作空间不足, 经红外线面部解剖学结构导航注册, 导航棒定位鼻尖、鼻根等部位来判断定位是否准确。根据病灶和功能皮质、功能传导束的位置关系选择合适的手术切口和手术入路, 为避免铣刀铣骨瓣时损伤软组织, 设计手术切口时注意要稍大于病变范围。常规开颅后, 再次利用导航定位病变, 若有血肿要缓慢处理, 暴露畸形团, 与术前 DSA 相结合定位并处理供血动脉, 可先尝试临时夹闭可疑供血动脉, 同时注意术中电生理学监测, 若皮质运动诱发电位(MEP)改变, 可逐步调整临时动脉瘤夹位置, 尽可能贴近畸形团, 将供血动脉完全电凝, 再沿畸形团边界逐步彻底与周围组织分离, 在切除病变过程中随时利用显微镜下导航设备所显示的不同颜色定位病变和重要功能结构, 同时结合双极神经电刺激器, 刺激显微镜下导航定位的功能区, 验证并重新明确功能区范围, 避开功能区。待病变和周围脑组织分离完全后, 再行处理引流静脉, 完全处理引流的粗大静脉, 取出畸形团, 测量大小并行病理学检查。充分止血术区, 术中再次行 MRI 检查, 检查序列同术前, 确认病变切除满意, 未明显伤及脑功能区, 逐层关颅, 送回监护病房。

4. 评价指标 (1)安全性评价: 记录术中和术后随访时手术相关并发症发生情况。(2)疗效评价: 术

后采用 Glasgow 预后分级(GOS)评价疗效。5 分, 恢复良好, 可正常生活, 遗留轻度缺陷; 4 分, 轻残但可独立生活; 3 分, 重残, 日常生活需他人照料; 2 分, 植物状态生存, 眼睛能睁开; 1 分, 死亡。

结 果

本组 53 例患者中 49 例在完整保留重要功能的情况下完全切除病变, 4 例病变部分残留, 其中 1 例病变位于基底节, 1 例位于脑干, 均与锥体束关系密切; 2 例于术中电生理学监测下尝试夹闭可疑供血动脉后, 出现运动诱发电位明显下降, 因此术中予以部分保留。所有患者术后病理学证实为动-静脉畸形。术后所有患者均复查 DSA, 结果显示, 47 例未发现畸形团残留, 病变全切率为 88.68%, 除外上述 4 例术中部分残留, 还有 2 例误认为病变全切除。对畸形团残留的 6 例患者行术后辅助立体定向放射治疗, 治疗后复查 DSA 提示残留畸形团消失, 未遗留新的神经功能障碍。

本组患者住院 11~29 d, 平均(18.06±4.83) d。头痛症状较术前均有不同程度减轻; 有 8 例患者新发神经功能障碍, 其中双侧视野缺损 1 例、肌张力降低 3 例、面瘫 1 例、失语 2 例、肌张力降低合并运动性失语 1 例; 7 例肢体无力或感觉障碍恢复, 3 例无明显变化, 1 例加重; 3 例言语障碍减轻, 1 例无明显变化; 6 例视野缺损明显减轻, 1 例自诉无变化; 9 例癫痫发作未再出现, 2 例仍有发作, 术后予奥卡西平 0.30 g/次(3 次/d)口服 3~6 个月, 癫痫发作得以控制, 1 例癫痫发作频繁, 药物控制欠佳, 行脑深部电极植入术(DBS)后癫痫发作控制良好; 41 例术前无癫痫发作患者中 2 例出现癫痫发作, 予以丙戊酸钠 500 mg/次(3 次/d)口服 2 周, 控制良好。

本组患者随访 3~60 个月, 中位时间[19.37(6.00, 30.00)]个月。末次随访时 GOS 评分 5 分者 45 例(84.91%), 4 分 3 例(5.66%), 3 分 2 例(3.77%), 2 分 1 例(1.89%), 1 分 2 例(3.77%), 其中 1 例于术后 1 年因呼吸衰竭死亡、1 例死因不明。

典型病例

患者 女性, 25 岁。主因突发四肢无力、麻木 2 d, 于 2013 年 12 月 6 日入院。患者入院前 2 d 睡梦中惊醒, 四肢麻木, 翻身不能, 无剧烈头痛、颈部疼痛、头晕、恶心呕吐、高热寒战、面部和肢体麻木抽搐、意识障碍、视力下降和复视、大小便失禁。当地

医院行头部 CT 检查(2013 年 12 月 4 日)显示,右侧额部大脑镰旁片状高密度影(图 1a),临床诊断为脑出血;可疑颅内血管畸形。为求进一步诊断与治疗转入我院。患者自发病以来,精神可,睡眠、饮食正常,大小便正常,体重无明显变化。既往无冠心病、高血压和糖尿病病史,否认吸烟和饮酒史,否认家族性遗传性疾病病史,余既往史、个人史及家族史无特殊。入院后体格检查:神志清楚,语言流利,对答切题,双侧瞳孔等大、等圆,直径约 2.50 mm,对光反射灵敏,双侧眼球活动自如,无眼球震动、复视、眼睑下垂;无鼻唇沟变浅,伸舌居中,口角不偏,无颈项强直,双上肢和右下肢肌力 5 级,左下肢 3⁺级,肌张力均正常;双侧 Babinski 征阴性。影像学检查: MRI 增强扫描显示右侧额部大脑镰旁混杂信号影(图 1b); MRA 显示胼胝体呈异常流空的畸形血管,提示颅内血管畸形(图 1c)。临床诊断为右侧额部动-静脉畸形;脑出血。2013 年 12 月 9 日于局部麻醉下行 DSA 检查,显示大脑前动脉大小约 3.02 cm × 2.14 cm 动-静脉畸形,主要由胼缘动脉供血,深静脉流入直窦(图 1d),考虑栓塞畸形团需牺牲胼缘动脉主干,待患者病情平稳后于 2013 年 12 月 18 日在全身麻醉 MRI 导航下行右侧额部动-静脉畸形切除术。根据术中 MRI 导航,避开锥体束、手和足运动功能区(图 1e, 1f),分离桥静脉,自静脉间隙进入纵裂,沿大脑镰向下分离,显露胼缘动脉后向远端分离,可见机化的血肿和紫褐色畸形血管团,阻断胼缘动脉后沿边缘分离切断供血动脉,可见引流静脉血流变暗,最后分离并切断引流静脉(图 1g, 1h),术中行 MRI 扫描提示病变全切除,血肿清除满意,逐层缝合,结束手术。术后予头孢曲松钠 1~2 g/d 加入 100 ml 生理盐水中、硝普钠 50 mg 加入 50 ml 生理盐水中持续静脉泵入,泵入速度调整以血压控制平稳为宜,待血压平稳后改为口服硝苯地平缓释片 II 20 mg/次、2 次/d。术后病情平稳,未见新发神经功能障碍,第 2 天复查头部 CT 无新发出血和梗死(图 1i)。患者临床症状改善,左下肢肌力恢复至 4⁺级。患者共住院 20 d。术后 6、12 和 18 个月门诊随访,能够独立进行日常生活,恢复良好, GOS 评分 5 分。

讨 论

颅内血管畸形是一类因发育异常导致的先天性颅内病变,颅内动-静脉畸形作为颅内血管畸形中最常见的类型,主要有颅内出血、癫痫发作或头痛等

首发症状,其中颅内出血为首发症状者占 52%~77%,但上述症状并非总是单独存在,有时亦可合并发生^[4]。目前该病的治疗主要有显微外科手术切除、血管内介入治疗和立体定向放射治疗,复杂病变可以采用两种或两种方法以上的综合治疗^[5]。既往认为,对于位于非功能区的中、小型颅内动-静脉畸形,应及早手术切除病灶、防止再次出血,而对于脑功能区或其周围病变,因手术常损伤功能皮质和(或)皮质下传导束,术后可发生肢体瘫痪、失语、失读、视野缺损等并发症,多采用立体定向放射治疗或血管内介入治疗等较为保守的方法^[6-7]。

相比较而言,立体定向放射治疗可能相对安全,但一般需在放射治疗后一段时间内才能使异常的血管闭塞,达到治疗目的,而在此期间可出现畸形团破裂出血的风险,同时,长期放射治疗可出现放射性脑水肿和放射性坏死等并发症。血管内介入治疗以其微创性、住院时间短等特点日益受到关注,但也有可能出现栓塞不全导致复发或闭塞供应脑功能区血管导致严重术后并发症的风险^[8]。显微外科手术可以直接切除畸形团,恢复脑组织正常血液循环,所以目前仍是最彻底和可靠的治疗方法^[9]。

显微外科手术处理毗邻脑功能区的动-静脉畸形时,应考虑手术入路距离最近、充分利用血肿腔、尽量避开脑功能区的原则,只有严格按照边界分离畸形团、彻底处理病变,才能有效改善预后。依据局部脑组织血氧水平依赖差异标记受激发的脑功能区,可以较准确地定位运动功能区、感觉功能区、语言功能区等重要脑功能区^[10-11]。邻近锥体束、视辐射或弓状束病变可利用基于 DTI 的神经导航,并在手术过程中通过术中 MRI 定量分析上述重要神经传导通路的损伤程度,降低术后病残率^[12-14]。

本组大多数患者手术疗效较好,但仍有部分患者出现新发神经功能障碍导致预后不良,回顾手术过程,主要是因为病变位于脑功能区,需全切除病变并防止再出血,只能损伤部分脑功能区,但也要考虑打开硬脑膜,释放脑脊液后出现的脑组织移位,或者由于多模式影像学融合后造成导航误差,导致手术切除过程中损伤周围重要结构的可能,这也是我们建议术中 MRI 导航联合术中电生理学功能定位监测的主要原因,而术中电生理学功能定位被认为是目前准确判断脑功能区的“金标准”^[15-16]。同时也可考虑采用术中超声在切除无明确边界的病灶过程中进行定位,为术者提供病灶切除范围的

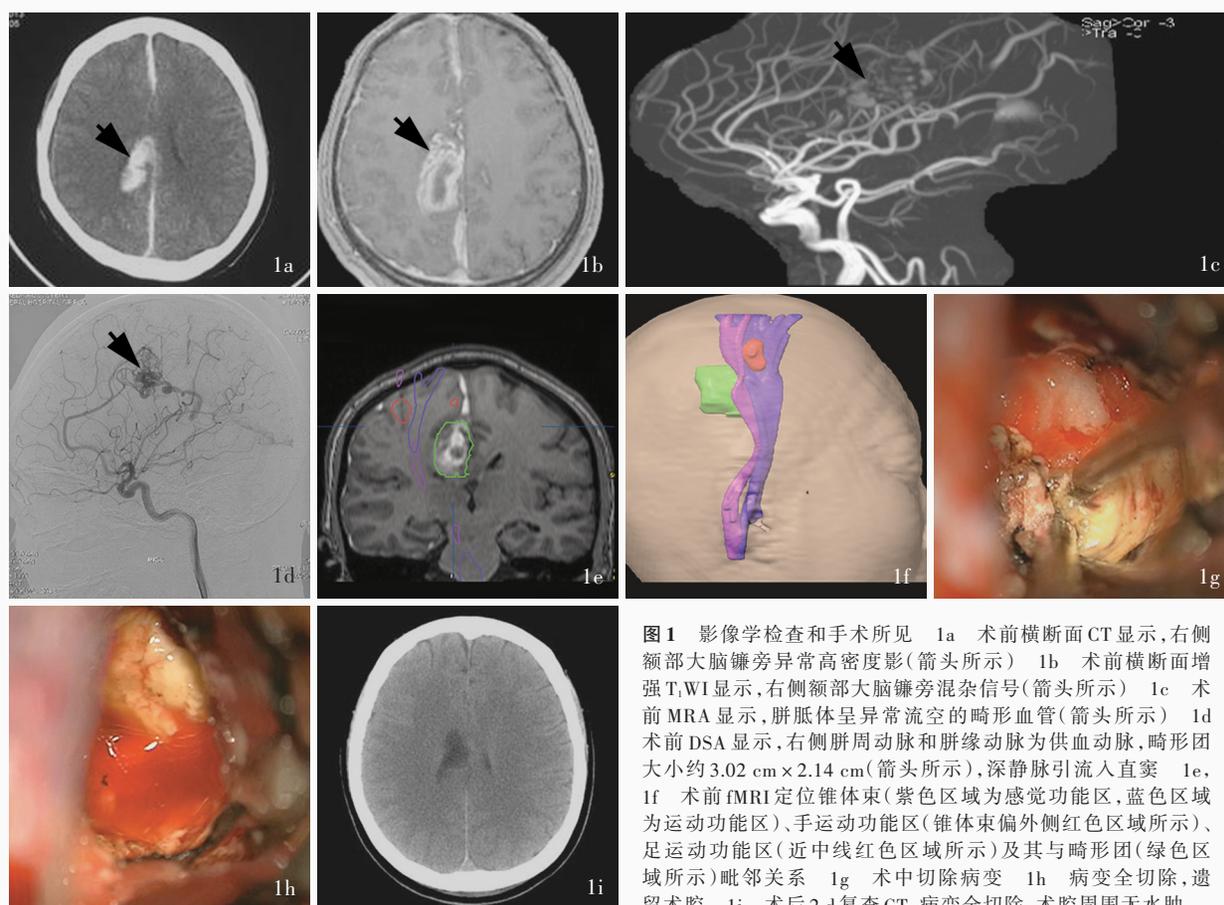


图 1 影像学检查和手术所见 1a 术前横断面 CT 显示, 右侧额部大脑镰旁异常高密度影(箭头所示) 1b 术前横断面增强 T₁WI 显示, 右侧额部大脑镰旁混杂信号(箭头所示) 1c 术前 MRA 显示, 胼胝体呈异常流空的畸形血管(箭头所示) 1d 术前 DSA 显示, 右侧胼周动脉和胼缘动脉为供血动脉, 畸形团大小约 3.02 cm × 2.14 cm(箭头所示), 深静脉流入直窦 1e, 1f 术前 fMRI 定位锥体束(紫色区域为感觉功能区, 蓝色区域为运动功能区)、手运动功能区(锥体束偏外侧红色区域所示)、足运动功能区(近中线红色区域所示)及其与畸形团(绿色区域所示)毗邻关系 1g 术中切除病变 1h 病变全切除, 遗留术腔 1i 术后 2 d 复查 CT, 病变全切除, 术腔周围无水肿

Figure 1 The imaging examination and intraoperative findings Preoperative axial CT revealed high density of frontal lobe beside the right cerebral falx (arrow indicates, Panel 1a). Preoperative axial enhanced T₁WI showed mixed signal of frontal lobe beside the right cerebral falx (arrow indicates, Panel 1b). Preoperative MRA displayed abnormal empty vascular malformation of the corpus callosum (arrow indicates, Panel 1c). Preoperative DSA displayed the supply artery was pericallosal and callosomarginal artery, the size of malformation was about 3.02 cm × 2.14 cm (arrow indicates). Deep vein drained into the straight sinus (Panel 1d). Preoperative fMRI located the pyramidal tract (purple area represented sensory area, blue area represented motor area), hand motor area (red area on the lateral pyramidal tract), foot motor area (red area near the midline) and the adjacent relation with malformation (green area; Panel 1e, 1f). The lesion was removed during the operation (Panel 1g). The lesion was completely resected (Panel 1h). CT 2 d after operation showed the lesion was completely resected, and there was no edema around the cavity (Panel 1i).

信息,减轻正常脑组织的手术损伤^[17]。术中唤醒经全身麻醉的患者,使患者在清醒状态下,再结合 MRI 导航和术中电生理学监测等手段进行神经解剖和功能定位,以便在术中实时监测下切除病变,预防可能发生的脑功能区损伤,也成为当前脑功能区手术的新策略^[18-19]。

随着影像学导航和术中成像技术等多模态神经导航技术在临床上的广泛应用,通过制定完备的术前计划,结合神经影像学分析、解剖学评价和计算机辅助技术^[20-21],使得在充分保护脑组织的重要功能和结构的基础上,最大范围切除脑功能区周围动-静脉畸形成为可能,并极大地提高患者术后生活质量,同时有效延长患者生存时间,但是,在手术治

疗过程中也要充分掌握手术适应证,谨慎评价疾病自然进程和治疗风险。本研究 Spetzler-Martin 分级 < III 级患者并发症发生率与 IV 级及以上患者存在差异(1/8)。术前已发生脑出血的患者,病情危重,但治疗及时,整体预后反而尚可。这也提示我们,采用术中 MRI 导航技术处理低级别的位于脑功能区周围的动-静脉畸形,手术治疗效果满意;对于高级别的动-静脉畸形,术前应仔细考虑,充分评估病变与脑功能区联系是否紧密、病变大小、供血动脉与引流静脉能否处理等情况;对于动-静脉畸形级别较高且出现血肿的患者,相较一次手术处理,也可以考虑分期手术,先处理血肿,待患者病情稳定后再考虑其他治疗方法。总之,如何能在保留神经功

能的同时,手术全切除脑功能区及其周围动-静脉畸形,仍是神经外科医师需要继续努力的方向。

参 考 文 献

- [1] Zhao JZ, Wang S, Sui DL, Li JS, Zhang Y, Li J. Clinical characteristics and surgical results of 2086 patients with cerebral arteriovenous malformation. *Zhonghua Shen Jing Wai Ke Za Zhi*, 2004, 20:113-117.[赵继宗,王硕,隋大立,李京生,张岩,李健. 2086例脑动静脉畸形临床特征和手术治疗结果分析. *中华神经外科杂志*, 2004, 20:113-117.]
- [2] Stapf C, Mohr JP. New concepts in adult brain arteriovenous malformations. *Curr Opin Neurol*, 2000, 13:63-67.
- [3] Filler A. Magnetic resonance neurography and diffusion tensor imaging: origins, history, and clinical impact of the first 50,000 cases with an assessment of efficacy and utility in a prospective 5000-patient study group. *Neurosurgery*, 2009, 65(4 Suppl):29-43.
- [4] Young AM, Teo M, Martin SC, Phang I, Bhattacharya JJ, St George EJ. The diagnosis and management of brain arteriovenous malformations in a single regional center. *World Neurosurg*, 2015, 84:1621-1628.
- [5] Conger A, Kulwin C, Lawton MT, Cohen-Gadol AA. Diagnosis and evaluation of intracranial arteriovenous malformations. *Surg Neurol Int*, 2015, 6:76.
- [6] Awad AJ, Walcott BP, Stapleton CJ, Ding D, Lee CC, Loeffler JS. Repeat radiosurgery for cerebral arteriovenous malformations. *J Clin Neurosci*, 2015, 22:945-950.
- [7] Wang SB, Sun ZH, Wu C, Shu XJ, Wang WX, Xue Z. Curative effect and surgical techniques of microsurgery for cerebral arteriovenous malformation: a report of 65 cases. *Zhongguo Xian Dai Shen Jing Ji Bing Za Zhi*, 2015, 15:290-295.[王胜宝,孙正辉,武琛,束旭俊,王文鑫,薛哲. 65例颅内动-静脉畸形手术疗效及技术探讨. *中国现代神经疾病杂志*, 2015, 15:290-295.]
- [8] van Beijnum J, van der Worp HB, Buis DR, Al-Shahi Salman R, Kappelle LJ, Rinkel GJ, van der Sprenkel JW, Vandertop WP, Algra A, Klijn CJ. Treatment of brain arteriovenous malformations: a systematic review and meta-analysis. *JAMA*, 2011, 306:2011-2019.
- [9] Reitz M, von Spreckelsen N, Vettorazzi E, Burkhardt T, Grzyska U, Fiehler J, Schmidt NO, Westphal M, Regelsberger J. Angioarchitectural risk factors for hemorrhage and clinical long-term outcome in pediatric patients with cerebral arteriovenous malformations. *World Neurosurg*, 2016, 89:540-551.
- [10] Lake EM, Bazzigaluppi P, Stefanovic B. Functional magnetic resonance imaging in chronic ischaemic stroke. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 2016, 371:1705.
- [11] Zhao B, Cao Y, Zhao Y, Wu J, Wang S. Functional MRI-guided microsurgery of intracranial arteriovenous malformations: study protocol for a randomised controlled trial. *BMJ Open*, 2014, 4: E006618.
- [12] Vassal F, Boutet C, Lemaire JJ, Nuti C. New insights into the functional significance of the frontal aslant tract: an anatomic-functional study using intraoperative electrical stimulations combined with diffusion tensor imaging-based fiber tracking. *Br J Neurosurg*, 2014, 28:685-687.
- [13] Ohue S, Kohno S, Inoue A, Yamashita D, Harada H, Kumon Y, Kikuchi K, Miki H, Ohnishi T. Accuracy of diffusion tensor magnetic resonance imaging-based tractography for surgery of gliomas near the pyramidal tract: a significant correlation between subcortical electrical stimulation and postoperative tractography. *Neurosurgery*, 2012, 70:283-293.
- [14] Berman J. Diffusion MR tractography as a tool for surgical planning. *Magn Reson Imaging Clin N Am*, 2009, 17:205-214.
- [15] Vincent M, Rossel O, Poulin-Charronnat B, Herbet G, Hayashibe M, Duffau H, Guiraud D, Bonnetblanc F. Case report: remote neuromodulation with direct electrical stimulation of the brain, as evidenced by intra-operative EEG recordings during wide-awake neurosurgery. *Clin Neurophysiol*, 2016, 127:1752-1754.
- [16] Popa I, Donos C, Barborica A, Opris I, Malfia MD, Ene M, Ciurea J, Mindruța I. Intrusive thoughts elicited by direct electrical stimulation during stereo-electroencephalography. *Front Neurol*, 2016, 7:114.
- [17] Smith H, Taplin A, Syed S, Adamo MA. Correlation between intraoperative ultrasound and postoperative MRI in pediatric tumor surgery. *J Neurosurg Pediatr*, 2016, 29:1-7.
- [18] Skoglund K, Hillered L, Purins K, Tsitsopoulos PP, Flygt J, Engquist H, Lewén A, Enblad P, Marklund N. The neurological wake-up test does not alter cerebral energy metabolism and oxygenation in patients with severe traumatic brain injury. *Neurocrit Care*, 2014, 20:413-426.
- [19] Boetto J, Bertram L, Moulinié G, Herbet G, Moritz - Gasser S, Duffau H. Electrocorticography is not necessary during awake brain surgery for gliomas. *World Neurosurg*, 2016, 91:656-657.
- [20] Xu BN, Chen XL. Precise and accurate neurosurgery: new concept of minimal invasive neurosurgery. *Jie Fang Jun Yi Xue Za Zhi*, 2011, 49:676-678.[许百男,陈晓雷. 精准神经外科:微创侵袭神经外科新理念. *解放军医学杂志*, 2011, 49:676-678.]
- [21] Zhang XS, Zhang X, Zhang QR, Wu Q, Wen LL, Mao L, Wu W, Hang CH. Applicative value of three-dimensional DSA and MRI or CT fusion technology in the treatment of intracranial arteriovenous malformations. *Zhongguo Nao Xue Guan Bing Za Zhi*, 2015, 12:449-455.[张翔圣,张鑫,张庆荣,吴琪,文立利,茅磊,吴伟,杭春华. 三维DSA与MRI或CT融合技术在颅内动静脉畸形治疗中的应用价值. *中国脑血管病杂志*, 2015, 12:449-455.]

(收稿日期:2016-11-01)

下期内容预告 本刊2017年第1和2期报道专题为帕金森病及运动障碍性疾病,重点内容包括:多系统萎缩专家共识解读;帕金森病200年(1817-2017年)史话;应重视冻结步态研究;应重视帕金森病认知功能障碍;帕金森病与心率变异性;帕金森病分子学机制研究进展;帕金森病痴呆研究进展;颈部肌张力障碍的再认识;帕金森病与脑肿瘤发病风险的Meta分析;糖尿病与帕金森病发病风险的Meta分析;帕金森病两种常见睡眠障碍关联性研究;脑深部电刺激联合药物治疗原发性帕金森病疗效观察;帕金森叠加综合征患者神经精神行为及PET影像特点;脑积水侧室-腹腔分流术后帕金森综合征;遗传性痉挛性截瘫基因突变及临床特点分析;多系统萎缩伴抗利尿激素分泌异常综合征3例临床分析;多模态分子影像学在路易体痴呆诊断中的应用;乙酰水解酶改善阿尔茨海默病小鼠认知功能障碍初步研究