

DSA和MRI三维融合在前交通动脉瘤夹闭术前计划中的应用

赵悦 薛哲 攸娜 刘羽阳 武琛 张军 许百男

【摘要】目的 探讨DSA与MRI三维融合重建技术要点及其在前交通动脉瘤夹闭术前制定手术计划和模拟手术过程中的应用价值。**方法** 2016年9月至2019年5月对30例未破裂前交通动脉瘤患者行开颅动脉瘤夹闭术,术前通过3D-Slicer软件融合MRI与DSA,重建脑组织、视神经和颈内动脉模型,制定手术计划并模拟手术过程。以术者术中判断作为“金标准”,计算三维融合重建模型评估直回切除,大脑前动脉A1段优势侧,血管与动脉瘤体粘连的敏感性、特异性、假阴性率、假阳性率。**结果** 所有患者均于术前完成DSA与MRI的三维融合重建,该模型对直回切除、大脑前动脉A1段优势、该血管与动脉瘤体粘连评估的灵敏度为100%(23/23)、75%(21/28)和81.82%(18/22),特异度42.86%(3/7)、100%(2/2)和62.50%(5/8),假阴性率为0(0/23)、25%(7/28)和18.18%(4/22),假阳性率57.14%(4/7)、0(0/2)和37.50%(3/8);三维融合重建模型与术者术中判断一致性(κ 值)分别为0.535($P=0.001$)、0.504($P=0.000$)和0.426($P=0.010$)。**结论** 通过3D-Slicer软件实现DSA与MRI的三维融合重建是一项影像后处理技术,将脑组织、视神经、颈内动脉相融合,对前交通动脉瘤夹闭术前制定手术计划和训练青年医师手术思维具有较高的应用价值。

【关键词】 颅内动脉瘤; 神经外科手术; 磁共振成像; 血管造影术,数字减影

The application of 3D fusion of DSA and MRI in anterior communicating artery aneurysm clipping

ZHAO Yue, XUE Zhe, YOU Na, LIU Yu-yang, WU Chen, ZHANG Jun, XU Bai-nan
Department of Neurosurgery, the First Medical Center of Chinese PLA General Hospital,
Beijing 100853, China

Corresponding author: XU Bai-nan (Email: xubn301@yeah.net)

【Abstract】Objective To investigate the 3D fusion technique of DSA and MRI and its application value in making surgical plan and simulating operative process for anterior communicating artery (ACoA) aneurysm clipping. **Methods** From September 2016 to May 2019, aneurysm clipping was performed on 30 patients with unruptured ACoA aneurysm. Infusions of DSA and MRI before surgery with 3D-Slicer software were performed to reconstruct the brain tissue, optic nerve and internal carotid artery (ICA) model. Using 3D fusion model to make surgical plan and simulate operative process. Comparing 3D fusion model with golden standard, which refers to the surgeon's judgement during surgery, then calculated sensitivity, specificity, false negative rate and false positive rate of rectus gyri resection, dominance of ACA A1 segment and artery adhesion to the aneurysm. **Results** 3D fusion of DSA and MRI in 30 patients with ACoA aneurysm were performed. Statistical analysis showed the sensitivity of rectus gyri resection, the dominance of ACA A1 segment and artery adhesion to the aneurysm were 100% (23/23), 75% (21/28) and 81.82% (18/22), specificity were 42.86% (3/7), 100% (2/2) and 62.50% (5/8), false negative rate were 0 (0/23), 25% (7/28) and 18.18% (4/22), and false positive rate were 57.14% (4/7), 0 (0/2) and 37.50% (3/8). The consistency (κ value) were 0.535 ($P=0.001$), 0.504 ($P=0.000$) and 0.426 ($P=0.010$). **Conclusions** Using 3D-Slicer software to realize 3D fusion of DSA and MRI is an image post-processing technology, which integrates brain tissues, optic nerve and ICA, has a high application value for preoperative plan and

doi: 10.3969/j.issn.1672-6731.2020.04.014

基金项目:国家自然科学基金资助项目(项目编号:81971167)

作者单位:100853 北京,解放军总医院第一医学中心神经外科

通讯作者:许百男,Email:xubn301@yeah.net

surgical training of ACoA aneurysm clipping for younger surgeons.

【Key words】 Intracranial aneurysm; Neurosurgical procedures; Magnetic resonance imaging; Angiography, digital subtraction

This study was supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 81971167).

Conflicts of interest: none declared

前交通动脉瘤占颅内未破裂动脉瘤的比例约为 10%^[1],在颅内破裂动脉瘤中所占比例最高可达 45%^[2]。前交通动脉(ACoA)是颅内微小动脉瘤破裂的好发血管,且直径 < 5 mm 的小动脉瘤破裂通常不可预测,因此应根据患者年龄、动脉瘤部位和高血压等因素积极处理破裂风险较高的前交通动脉瘤^[3-4]。动脉瘤破裂所致蛛网膜下腔出血(SAH)、额叶底面出血,经终板进入第三脑室形成脑室内出血、急性脑积水,既可引起意志缺乏、健忘症和人格改变等额叶症状,亦可诱发尿崩症、低钠血症等下丘脑功能障碍^[5]或视力障碍。前交通动脉瘤的形成可能与大脑前动脉(ACA)A1 段发育不全(DSA 显示一侧管径 ≤ 另一侧的 1/2)或单侧缺失有关,且右侧前交通动脉瘤发生率高于左侧^[6]。前交通动脉瘤的治疗主要包括显微外科手术和血管内治疗。对于年轻、动脉瘤未破裂、蛛网膜下腔出血相关大面积颅内出血、动脉瘤近端存在血管内治疗禁忌证(如解剖结构异常)的患者,均应首选手术夹闭^[7],主要围绕解剖显露动脉瘤和前交通动脉复合体而展开。前交通动脉复合体以前交通动脉为中心,包括邻近大脑前动脉 A1 段和 A2 段以及 Heubner 回返动脉。由于前交通动脉复合体主要血管和穿支血管较多,且周围脑组织和视神经解剖关系复杂,术前应通过 CTA 或 DSA 明确动脉瘤形态、可能起源部位、瘤顶指向、载瘤动脉走行、前交通动脉复合体组成、载瘤动脉输入段/输出段解剖顺序等影像学信息。但是前交通动脉复合体复杂的解剖学结构给神经外科医师带来诸多困难,尤其是青年医师,对局部解剖结构不甚熟悉,术中难以辨别大脑前动脉 A1 段、A2 段和回返动脉。鉴于此,解放军总医院第一医学中心神经外科通过 3D-Slicer 软件将 MRI 与 DSA 相融合,回顾分析 30 例经翼点入路行开颅动脉瘤夹闭术的未破裂前交通动脉瘤患者的前交通动脉复合体组成和走行,以及动脉瘤与载瘤动脉、脑组织、视神经的三维解剖关系,以为术前制定手术计划和模拟手术过程提供帮助。

对象与方法

一、研究对象

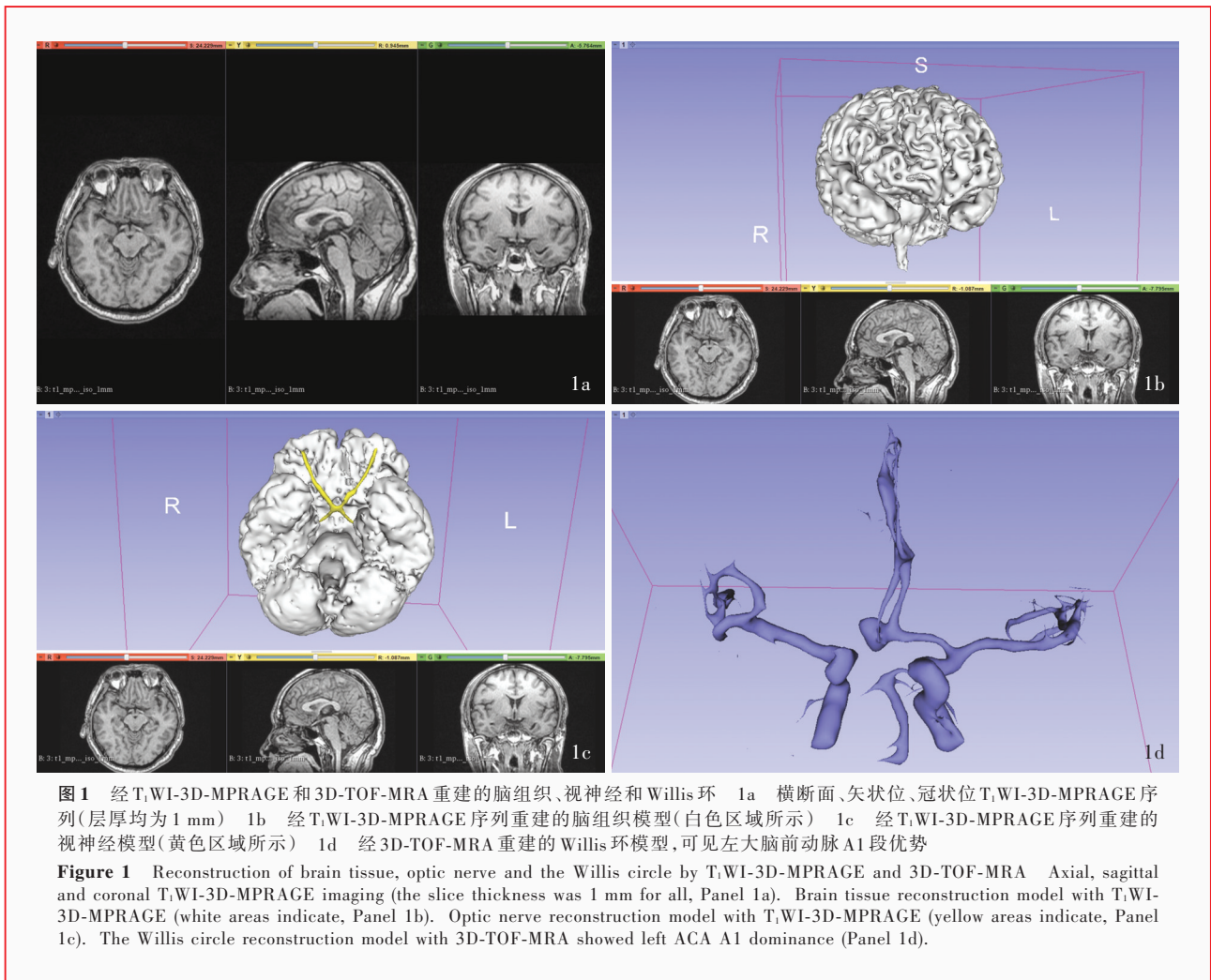
1. 纳入标准 (1)经 DSA 检查证实的未破裂前交通动脉瘤,根据动脉瘤最大径可以分为微小动脉瘤(≤ 3 mm)、小动脉瘤(> 3 ~ 5 mm)、中等动脉瘤(> 5 ~ 12 mm)、大动脉瘤(> 12 ~ 25 mm)、巨大动脉瘤(> 25 mm)。(2)术前均行 MRI 和 DSA 检查。(3)所纳入病例均为经翼点入路行开颅动脉瘤夹闭术者,术中显露前交通动脉复合体。(4)本研究经解放军总医院道德伦理委员会审核批准,患者及其家属对手术风险知情并签署知情同意书。

2. 排除标准 (1)动脉瘤破裂致蛛网膜下腔出血或既往有蛛网膜下腔出血病史。(2)复发前交通动脉瘤。(3)颅内多发动脉瘤。(4)既往 6 个月有手术史,或曾发生出血性卒中、急性冠脉综合征(ACS)、肺水肿、严重创伤或严重感染。(5)合并严重肝肾功能障碍、充血性心力衰竭、凝血功能障碍等无法耐受手术,或合并自身免疫性疾病和恶性肿瘤。(6)碘剂过敏。

3. 一般资料 选择 2016 年 9 月至 2019 年 5 月我院神经外科经翼点入路施行开颅动脉瘤夹闭术的未破裂前交通动脉瘤患者共 30 例,男性 19 例,女性 11 例;年龄 45 ~ 78 岁,平均(56.04 ± 7.71)岁;病程为 1 ~ 14 个月,平均为(5 ± 2)个月;既往有高血压 22 例(73.33%)、糖尿病 11 例(36.67%),吸烟 10 例(33.33%)、饮酒 13 例(43.33%)。

二、研究方法

1. MRI 和 MRA 术前 1 ~ 2 d 行头部 MRI(德国 Siemens 公司生产的 1.5T 高场强超导扫描仪)检查,扫描序列包括 T₁WI-三维磁化准备快速梯度回波(3D-MPRAGE)和三维时间飞跃(3D-TOF)-MRA。(1)T₁WI-3D-MPRAGE:重复时间(TR)为 1650 ms、回波时间(TE)3.02 ms,扫描视野(FOV)为 250 mm × 250 mm,矩阵 256 × 256,层厚 1 mm、层间距 1 mm,共 176 层,扫描时间 318 s,范围覆盖颅顶至寰枢椎平



面。(2)3D-TOF-MRA:重复时间 29 ms、回波时间为 7 ms,扫描视野 180 mm × 180 mm,矩阵 256 × 256,层厚 0.75 mm、层间距 0.75 mm,共 40 层,扫描时间为 368 s,范围覆盖胼胝体平面至延髓平面。

2. DSA 本组患者于术前 1 d 行全脑血管造影术(美国 GE 公司生产的大 C 型臂 DSA 机),分别经双侧颈总动脉、颈内动脉和椎动脉注射碘帕醇[规格:37 g/100 ml,博莱科医药科技(上海)有限公司]。明确大脑前动脉 A1 段优势侧后行该侧颈内动脉 3D-DSA 检查,对比剂注射速度 3 ml/s、总剂量为 15 ml,图像采集 30 帧/s、扫描时间 5 s,球管旋转速度 40°/s、共旋转 200°。

3. 三维融合重建 (1)数据导入:将 DICOM 格式的 T₁WI-3D-MPRAGE 数据导入 3D-Slicer 软件(美国哈佛大学 SPL 实验室,图 1a),分别采用 Segment Editor 模块中的 Flood Filling 工具对脑组织建模(图 1b)、Draw 工具对视神经建模(图 1c);将 DICOM 格

式的 3D-TOF-MRA 数据导入 3D-Slicer 软件重建 Willis 环(图 1d)。(2)三维重建:将 3D-DSA 图像导入 3D-Slicer 软件进行三维重建,剪切无关解剖结构,获得完整清晰的单侧颈内动脉三维模型(图 2a, 2b)。(3)配准:由于根据 DSA 数据重建的颈内动脉模型与 MRA 模型空间坐标系不一致,通过 3D-Slicer 软件 Transform 模块将 DSA 模型手动平移旋转与 MRA 模型进行配准(图 2c)。(4)融合:将 MRI 脑组织模型、DSA 动脉模型与 MRI 视神经模型相融合,重建结束(图 2d)。

4. 预后评价 术后详细记录不明原因发热、电解质紊乱、谵妄、严重认知行为异常、偏瘫,以及蛛网膜下腔出血、颅内出血等并发症发生情况。分别于出院时、术后 3 个月和 1 年时行 Glasgow 预后分级(GOS):5 分,恢复良好,虽有轻度缺陷但可正常生活;4 分,轻残,但可独立生活且可以在保护下工作;3 分,重残,清醒,日常生活需他人照料;2 分,植物状

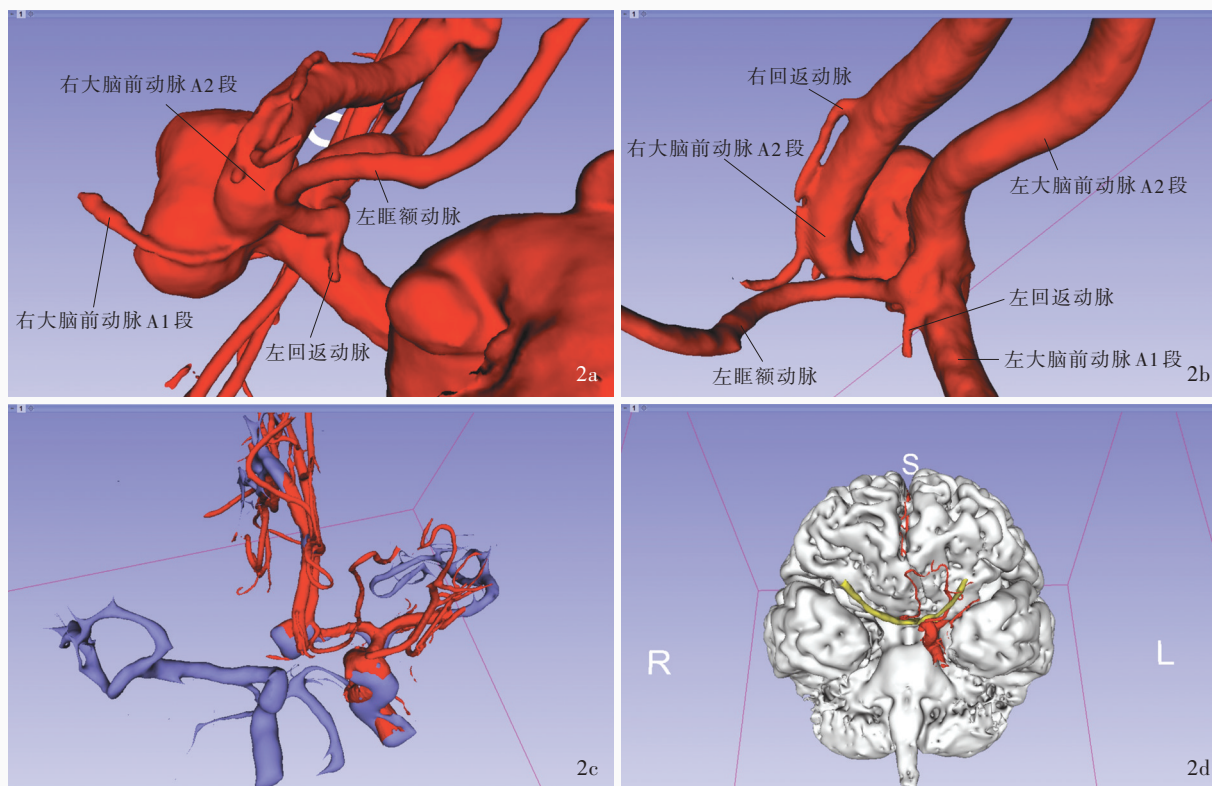


图2 DSA动脉模型与MRA模型和MRI模型的重建、配准及融合 2a,2b DSA动脉模型可见前交通动脉瘤和前交通动脉复合体,动脉瘤指向上后方,大小约为9.80 mm×6.00 mm,瘤颈宽6.20 mm,前交通动脉复合体包括双侧大脑前动脉A1段、A2段和眶额动脉,左侧A1段优势 2c DSA模型与MRA模型的配准(红色为DSA模型,蓝色为MRA模型) 2d DSA动脉模型与MRI模型的融合,可清晰显示前交通动脉瘤周围三维解剖结构(红色为DSA模型,蓝色为MRA模型,白色为MRI脑组织模型,黄色为MRI视神经模型)

Figure 2 Reconstruction, registration and 3D fusion of the DSA carotid artery model and MRA model and MRI model DSA carotid artery model showed the ACoA aneurysm and the ACoA complex. The anteriorly and posteriorly projecting ACoA aneurysm was about 9.80 mm×6.00 mm and its tumor neck was 6.20 mm. The ACoA complex includes bilateral ACA A1, A2 and orbitofrontal artery, with left A1 dominance (Panel 2a, 2b). Registration of DSA model and MRA model (red areas indicate DSA model, blue areas indicate MRA model; Panel 2c). Fusion of DSA carotid artery model and MRI model clearly showed the 3D anatomical structure around the ACoA aneurysm (red areas indicate DSA model, blue areas indicate MRA model, white areas indicate MRI brain tissue model, yellow areas indicate MRI optic nerve model; Panel 2d).

态生存,仅有最小反应(如伴随睡眠-觉醒周期可睁眼);1分,死亡。

三、统计分析方法

采用Stata/SE 15.1统计软件进行数据处理与分析。计数资料以相对数构成比(%)或率(%)表示,呈正态分布的计量资料以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示。以术者术中判断作为“金标准”,计算三维融合重建进行术前评估的灵敏度、特异度、假阴性率和假阳性率,并进行二者的一致性检验(Kappa检验), $\kappa \geq 0.75$ 为一致性极好,0.40~为一致性较好,<0.40为一致性较差。以 $P \leq 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

本组术前DSA显示,微小动脉瘤(≤ 3 mm)3例

(10%),小动脉瘤($> 3 \sim 5$ mm)8例(26.67%),中等动脉瘤($> 5 \sim 12$ mm)18例(60%),及大动脉瘤($> 12 \sim 25$ mm)1例(3.33%);瘤顶分别指向下方13例(43.33%)、前方8例(26.67%)、上方5例(16.67%)、后方4例(13.33%);左侧A1段优势12例(40%)、缺如2例(6.67%),右侧A1段优势者6例(20%)、缺如者7例(23.33%),双侧A1段等优势3例(10%)。

根据术前三维融合重建模型,30例中27例(90%)需切除部分直回,3例(10%)无需切除;术中经术者确认,23例(66.67%)需切除部分直回,7例(23.33%)仅需牵开直回即可较好显露动脉瘤。以术者术中判断作为“金标准”,三维融合重建模型评估直回切除的灵敏度为100%(23/23)、特异度42.86%(3/7)、假阴性率为0(0/23)、假阳性率

表 1 术前三维融合重建模型与术者术中直回切除评价度的比较(例)*

Table 1. Comparison of rectus gyrus resection evaluated by the preoperative 3D fusion model and intraoperative findings (case)*

术前三维融合重建模型	术者术中评价		
	需要	不需要	合计
需要	23	4	27
不需要	0	3	3
合计	23	7	30

*Sensitivity was 100% (23/23), specificity was 42.86% (3/7), false negative rate was 0 (0/23), and false positive rate was 57.14% (4/7); 灵敏度为 100%(23/23), 特异度为 42.86%(3/7), 假阴性率为零(0/23), 假阳性率为 57.14%(4/7)

表 2 术前三维融合重建模型与术者术中对大脑前动脉 A1 段优势侧评价度的比较(例)*

Table 2. Comparison of the dominance of ACA A1 segment evaluated by preoperative 3D fusion model and intraoperative findings (case)*

术前三维融合重建模型	术者术中评价		合计
	双侧等优势+单侧优势	单侧未显影	
双侧等优势+单侧优势	21#	0	21
单侧未显影	7	2	9
合计	28	2	30

*Sensitivity was 75% (21/28), specificity was 100% (2/2), false negative rate was 25% (7/28), and false positive rate was 0 (0/2), 灵敏度为 75%(21/28), 特异度为 100%(2/2), 假阴性率为 25%(7/28), 假阳性率为零(0/2)。#Three cases with equally bilateral ACA A1 dominance, 18 cases with left or right A1 dominance, 双侧等优势 3 例、单侧优势 18 例

表 3 术前三维融合重建模型与术者术中血管与动脉瘤体粘连评价度的比较(例)*

Table 3. Comparison of artery adhesion to the aneurysm evaluated by the preoperative 3D fusion model and intraoperative findings (case)*

术前三维融合重建模型	术者术中评价		
	粘连	无粘连	合计
粘连	18	3	21
无粘连	4	5	9
合计	22	8	30

*Sensitivity was 81.82% (18/22), specificity was 62.50% (5/8), false negative rate was 18.18% (4/22), and false positive rate was 37.50% (3/8); 灵敏度为 81.82%(18/22), 特异度为 62.50%(5/8), 假阴性率为 18.18%(4/22), 假阳性率为 37.50%(3/8)

57.14%(4/7, 表 1); 二者一致性检验, κ 值为 0.535 ($P = 0.001$), 表明三维融合重建模型对直回切除评估的准确性较高。

根据术前三维融合重建模型, 21 例(70%)单侧大脑前动脉 A1 段优势或双侧 A1 段等优势, 9 例(30%) A1 段未显影; 术中经术者确认, 28 例

(93.33%)单侧 A1 段优势或双侧 A1 段等优势, 2 例(6.67%) A1 段未发育, 在 DSA 显示单侧 A1 段未显影的情况下, 术中常可见发育不良的细小 A1 段。以术者术中判断作为“金标准”, 三维融合重建模型评价 A1 段优势的灵敏度为 75%(21/28)、特异度 100%(2/2)、假阴性率 25%(7/28)、假阳性率为 0(0/2, 表 2); 二者一致性检验, κ 值为 0.504 ($P = 0.000$), 表明三维融合重建模型对大脑前动脉 A1 段优势侧评估的准确性较高。

根据术前三维融合重建模型, 21 例(70%)存在动脉与动脉瘤体粘连, 9 例(30%)无粘连; 术中经术者确认, 有 22 例(73.33%)存在动脉与动脉瘤体粘连, 8 例(26.67%)无粘连。以术者术中判断作为“金标准”, 三维融合重建模型评价动脉与动脉瘤体粘连的灵敏度为 81.82%(18/22)、特异度 62.50%(5/8)、假阴性率 18.18%(4/22)、假阳性率 37.50%(3/8; 表 3); 二者一致性检验, κ 值为 0.426 ($P = 0.010$), 表明三维融合重建模型对动脉与动脉瘤体粘连评估的准确性较高。

本组 30 例患者经翼点入路开颅动脉瘤夹闭术均获成功, 术中荧光血管造影未见动脉瘤显影, 大脑前动脉 A1 段和 A2 段均正常显影。术后 2 天内有 5 例(16.67%)患者出现轻度神经功能缺损(包括嗜睡 2 例、神情淡漠 2 例、不完全性混合性失语 1 例), 均于术后 3 天内逐渐缓解。无一例患者出现不明原因发热、电解质紊乱、谵妄、严重认知行为异常、偏瘫等并发症, 术后第 2 天常规 CT 检查未见明显的蛛网膜下腔出血和颅内血肿。出院时、术后 3 个月和 1 年随访时, 平均 GOS 评分为(4.83 ± 0.13)、(4.90 ± 0.09)和(4.93 ± 0.06)分; 术后 3 个月 MRA 检查未见动脉瘤复发。

典型病例

患者 男性, 50 岁, 因体格检查发现前交通动脉瘤, 于 2018 年 4 月 13 日入院。患者入院前 1 个月体格检查行头部 MRA 检查发现前交通动脉瘤, 无头疼、头晕、视物模糊等不适。既往高血压病史 6 年, 血压最高 160/100 mm Hg (1 mm Hg = 0.133 kPa), 长期服用卡托普利(12.50 mg/次、3 次/d), 血压控制良好。入院后体格检查: 神志清楚, 双眼视力、视野正常, 对光反射灵敏。DSA 提示右大脑前动脉 A1 段未显影, 前交通动脉开放, 其上可见瘤样扩张, 大小约为 9.80 mm × 6.00 mm、瘤颈宽 6.20 mm, 瘤体指向上

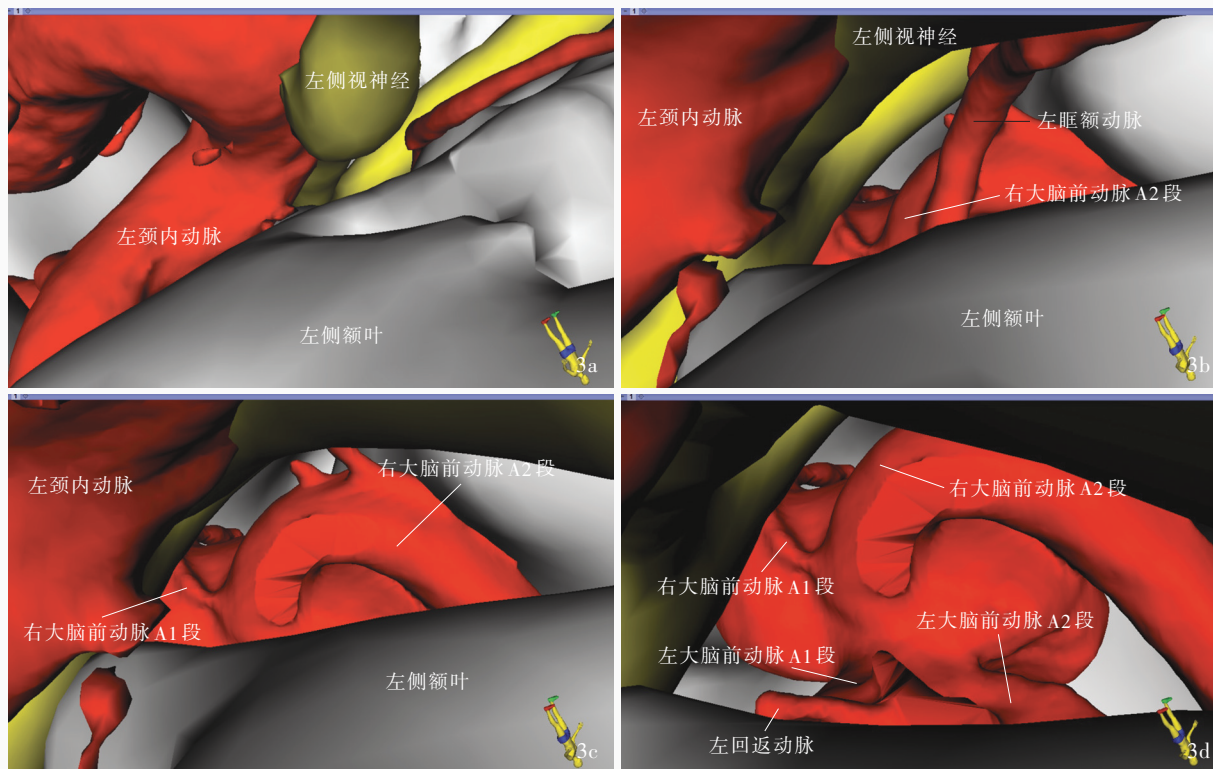


图3 术前三维融合重建模型 3a 模拟手术体位可见左侧颈内动脉、视神经和眶额动脉 3b 模拟探查视交叉池,首先显露右侧A2段,无法显露动脉瘤 3c 模拟切除部分左侧直回,可见右侧A1段较纤细且与动脉瘤粘连紧密 3d 模拟探查纵裂,可见左侧A1段和A2段,充分显露动脉瘤和前交通动脉复合体

Figure 3 3D fusion model findings Under simulating surgical position, the left ICA, left optic nerve and left orbitofrontal artery were observed (Panel 3a). In the simulated exploration of the left optic chiasmatic pool, the right ACA A2 segment was first exposed and the aneurysm could not be exposed (Panel 3b). Simulating the left rectus gyrus resection, the right ACA A1 segment was closely adhered to the aneurysm (Panel 3c). Simulating exploration of the longitudinal fissure to expose the left ACA A1 segment and A2 segment, the aneurysm and ACoA complex were fully exposed (Panel 3d).

后方。左颈内动脉3D-DSA模型可见右大脑前动脉A1段纤细、左侧A1段优势,前交通动脉开放,动脉瘤呈分叶状(分两叶),分别指向上内侧和后侧,动脉瘤不规则,大小约为9.80 mm × 6.00 mm、瘤颈宽6.20 mm,瘤颈包含前交通动脉,可识别双侧大脑前动脉A1段、A2段和眶额动脉,回返动脉显影不明确,小穿支动脉未显影(图2a, 2b)。结合MRA和DSA诊断为前交通动脉瘤,拟行开颅动脉瘤夹闭术。由于DSA模型与MRA模型空间坐标系不一致,采用Transforms模块进行配准(图2c),并行MRI脑组织模型、MRI视神经模型与DSA动脉模型融合重建。根据三维融合重建模型所显示的动脉瘤和前交通动脉复合体,制定手术计划和模拟手术步骤(图3)。由于左大脑前动脉A1段优势,选择经左侧额颞翼点入路行开颅前交通动脉瘤夹闭术(图4): (1)将三维融合重建图像置于手术体位,手术视角从额叶底面观察颈动脉池和视交叉池,可见左颈内

动脉、视神经和眶额动脉(图3a)。(2)继续探查视交叉池,首先显露右侧A2段,旋转角度仍无法显露脑深部和额叶动脉瘤的患者,需切除部分左侧直回(图3b)。(3)采用Erase工具在横断面图像上擦除部分左侧直回,长10 mm、宽6 mm,共10层。由于左眶额动脉阻挡视野,擦除,显露较完整的右侧A2段,由于右侧A1段较纤细且与动脉瘤粘连紧密,术中分离较困难(图3c)。(4)继续探查纵裂,可见左侧A1段和A2段,充分显露动脉瘤和前交通动脉复合体(图3d)。术中注意:(1)打开颈动脉池和视交叉池后,解剖结构显露的次序依次为右侧A2段、动脉瘤、右侧A1段、左侧A1段、左侧A2段。(2)动脉瘤主体隐藏在脑间裂,需切除部分左侧直回方能显露动脉瘤及左侧A1段和A2段。(3)右侧A1段与动脉瘤粘连紧密,需仔细分离。根据术前计划,经左侧额颞翼点入路行开颅动脉瘤夹闭术,头皮切口自发际线后近中线处至耳前颧弓,沿帽状腱膜下游离皮瓣,

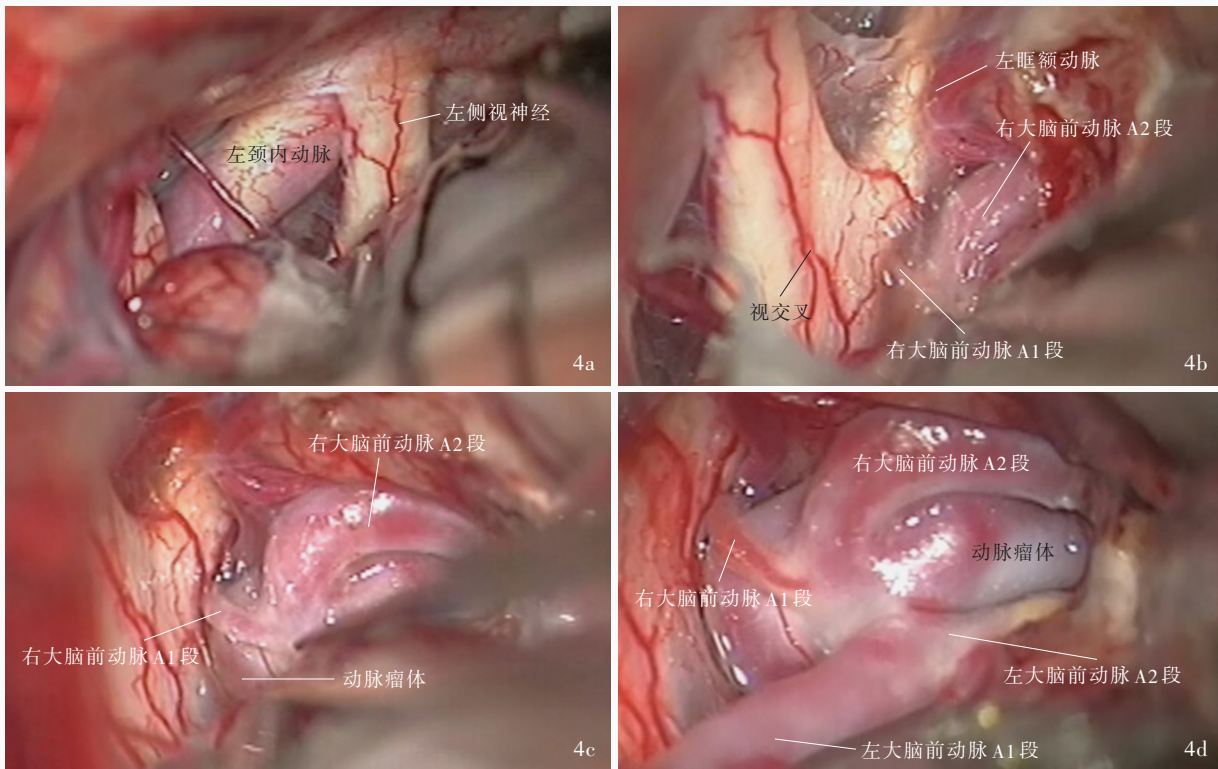


图 4 经左侧额颞翼点入路开颅前交通动脉瘤夹闭术 4a 打开左侧颈动脉池,可见颈内动脉和视神经 4b 打开左颈动脉池和视交叉池,首先显露右侧 A2 段,切除部分左侧直回 4c 显露右侧 A1 段和动脉瘤 4d 牵开左侧额叶,可观察到左侧 A1 段和 A2 段,右侧 A1 段粘连较严重

Figure 4 ACoA aneurysm clipping findings via frontotemporal pterional approach Intraoperatively, open the carotid cisterna to reveal the left ICA and the left optic nerve (Panel 4a). After opening the left carotid cisterna and the optic chiasmatic cisterna intraoperatively, the right ACA A2 segment was first exposed, and part of the left rectus gyrus was removed (Panel 4b). The right ACA A1 segment and aneurysm were revealed intraoperatively (Panel 4c). Intraoperative retraction of the left frontal lobe revealed the left ACA A1 and A2 segments, severe adhesion of the right ACA A1 segment (Panel 4d).

连同颞肌前半一起翻向下方,常规翼点开颅,咬除蝶骨嵴并向下延伸磨除,以增加颅中窝底的显露,打开硬脑膜,轻抬额叶眶后皮质,锐性分离颈动脉池蛛网膜束带,释放脑脊液,以使脑组织松弛,于颈内动脉和视神经内侧打开蛛网膜,可见颈内动脉和视神经(图 4a);打开颈动脉池和视交叉池后首先显露右侧 A2 段,切除部分左侧直回(图 4b),保护直回表面眶额动脉,继而显露右侧 A1 段和动脉瘤囊(图 4c);继续分离左侧额叶,可见左侧 A1 段和 A2 段,分离右侧 A1 段时粘连较严重,临时阻断并仔细分离动脉瘤颈(图 4d),顺利分离后以 2 个弯夹[FT752T (8.30 mm)和 FT762T (10.20 mm),德国 Tuttlingen 公司]和 1 个带窗直夹[FT598T (3.50 mm),德国 Tuttlingen 公司]夹闭动脉瘤,术中荧光血管造影提示动脉瘤夹闭完全,双侧 A1 段和 A2 段均显影,术者判断术前三维融合重建模型中左侧直回切除、左侧 A1 段优势、右侧 A1 段与动脉瘤粘连程度与术中吻

合。局部止血、水密缝合硬脑膜,3 枚可吸收颅骨固定夹(FF016、AESCULAP、AG78532,德国 Tuttlingen 公司)固定颅骨,逐层缝合后结束手术。患者术后 10 天出院,出院时神经系统检查无明显异常,GOS 评分 5 分;术后 3 个月复查 MRA 显示大脑前动脉畅通,未见动脉瘤复发,GOS 评分为 5 分;术后 1 年复查 DSA 未见动脉瘤复发,无远期认知行为异常等并发症,GOS 评分 5 分。

讨 论

前交通动脉瘤夹闭术由于术区解剖结构复杂,手术面临诸多困难。术前应进行详细的影像学检查,包括动脉瘤大小和指向、大脑前动脉 A1 段优势侧、前交通动脉复合体至颅底距离、前交通动脉复合体在矢状位的扭曲或冠状位的倾斜,以及哪些血管完整显露和哪些血管隐藏在额叶下方或大脑半球之间^[8]。大脑前动脉 A1 段发育不良常预示前交

通动脉扭曲或倾斜,后者曲度增加与动脉瘤的发生密切相关^[9],这些均给手术带来困难。高位或指向后上方的大脑前动脉瘤,术中需牵拉更多的脑组织,动脉瘤颈通常与下丘脑或漏斗的穿支动脉密切相关,且常可见单侧或双侧大脑前动脉A2段紧密附着于动脉瘤体^[10]。尤其是对于复杂的前交通动脉复合体,术中难以准确辨认大脑前动脉A1段、A2段和回返动脉,甚至在手术夹闭动脉瘤过程中,对于动脉瘤颈被阻挡或有动脉瘤残颈者,需采用开窗动脉瘤夹进行盲夹,危险性极大^[11]。

既往研究多为独立的CTA或DSA模型^[12],本研究首次探讨DSA和MRI三维融合重建模型在制定前交通动脉瘤夹闭术前手术计划和模拟手术过程的应用价值。本回顾性研究选择大脑前动脉A1段优势侧作为手术侧别,旨在实现早期动脉瘤近端控制,本组患者均于术前行MRI和DSA检查,并通过3D-Slicer软件将二者融合,重建脑组织、视神经和颈内动脉模型,模拟手术入路中动脉和动脉瘤的显露方法和顺序,这对术者至关重要。对于高位前交通动脉瘤,术中需牵拉较多的脑组织或切除软脑膜下部分直回,而采用该三维融合重建模型,通过术前模拟手术视角即可判断术中是否需切除直回及切除范围。本研究以术者术中判断为“金标准”,计算三维融合重建模型评估直回切除、大脑前动脉A1段优势侧、血管与动脉瘤体粘连的敏感性、特异性、假阴性率、假阳性率,结果显示,该模型评估直回切除、大脑前动脉A1段优势侧、血管与动脉瘤体粘连的灵敏度为100%(23/23)、75%(21/28)和81.82%(18/22),特异度为42.86%(3/7)、100%(2/2)和62.50%(5/8),假阴性率为0(0/23)、25%(7/28)和18.18%(4/22),假阳性率为57.14%(4/7)、0(0/2)和37.50%(3/8);该模型与术者术中判断的一致性(κ 值)分别为0.535($P=0.001$)、0.504($P=0.000$)和0.426($P=0.010$)。

在前交通动脉瘤精准治疗的大前提下,术前越了解局部解剖结构、手术风险越低、患者获益越多。Bohnstedt等^[13]采用动脉瘤夹闭术治疗118例前交通动脉瘤患者(其中24例为未破裂动脉瘤),预后评价分别为出院时、术后6个月和1年时GOS评为4.6、4.8和4.8分。本研究30例患者手术均获成功,术后无不明原因发热、电解质紊乱、谵妄、严重认知行为异常、偏瘫等并发症,CT检查未见明显蛛网膜下腔出血和颅内血肿;术后早期轻度神经功能

缺损5例(16.67%);出院时、术后3个月和1年时随访平均GOS评分为(4.83±0.13)、(4.90±0.09)和(4.93±0.06)分,高于Bohnstedt等^[13]的结果,可能与本研究纳入患者均为未破裂前交通动脉瘤,且术前充分了解每例患者解剖学特点和模拟手术入路等有关,有助于提高手术安全性。

多模态图像融合是一种图像后处理技术,可将多个成像设备获得的多个图像进行空间配准,充分利用已获得的信息或从融合图像中获得更多有价值的信息^[14]。Tucker等^[15]采用多模态图像融合和虚拟现实(VR)技术辅助经眶上入路完成1例最大径为4mm的前交通动脉瘤夹闭术,其认为随着虚拟现实技术的发展,交互教学模式将彻底改变神经外科的教学传统。通过3D打印技术建立个体化模型可以更直观地进行神经外科教学^[16],Sullivan等^[17]采用3D打印技术辅助成功经血管内治疗1例颅内动脉瘤患者。对于青年医师而言,由于手术经验欠缺,难以在脑中构建前交通复合体的立体模型,从二维平面理解前交通动脉复合体各方向的扭转和偏斜更加困难,而多模态三维融合重建模型可于术前制定手术计划和模拟手术过程,对训练青年医师手术思维具有较高的应用价值。目前,多模态三维融合重建技术已广泛应用于神经外科多领域,如评估三叉神经痛微血管减压术的高场强3D-MRI融合模型^[18-19]、经鼻蝶入路垂体瘤切除术的三维融合重建模型^[20]、三叉神经痛和面肌痉挛的多模态图像融合和虚拟现实技术^[21]等。采用MRI与DSA相融合的方法,既有MRI对软组织的高分辨力,又有DSA对动脉瘤和前交通动脉复合体的良好显影,且术后可直观局部解剖结构和模拟手术过程,无论是在临床工作中还是教学训练中,均有一定的应用价值。

本研究采用的MRI与DSA三维融合重建技术尚存在一定的局限性和缺点:(1)样本量较小,不能全面反映该项技术的临床应用价值。(2)由于DSA对一些细小血管如回返动脉及其他穿支动脉无法显影,术前制定手术计划未能考虑到微小血管的走行,而穿支动脉损伤与术后供血区梗死相关;而且,单侧颈内动脉造影术往往不能较好地显示对侧大脑前动脉A1段形态,有待进一步的双侧颈内动脉造影术制备融合重建模型,以更好地显示前交通动脉复合体,通过双侧对比选择最佳入颅侧。Swiatnicki等^[22]根据动脉瘤在横断面的旋转情况决定最佳手术侧别临床研究,认为当大脑前动脉A1段与A2段

交界点位于动脉瘤冠状位后方时,72.7%患者选择
在非优势侧A1段入颅。(3)本研究采用1.5T MRI对
脑组织的重建不能细致入微,未来随着3.0T甚至
7.0T MRI应用于临床,三维融合重建模型的分辨力
将显著提高。(4)开颅释放脑脊液后或脑压板牵拉
额叶后,可对局部解剖结构造成位移,从而影响解
剖结构的吻合度,目前尚未建立多重指标评价三维
融合重建模型与术中实际情况的吻合程度,未来有
望建立一系列评价体系,如血管、视神经和脑组织
之间的角度、大小和三维融合重建模型展示的细
微程度等,从而更好地应用多模态影像融合技术。

利益冲突 无

参 考 文 献

- [1] Wiebers DO, Whisnant JP, Huston J 3rd, Meissner I, Brown RD Jr, Piepgras DG, Forbes GS, Thielen K, Nichols D, O'Fallon WM, Peacock J, Jaeger L, Kassell NF, Kongable-Beckman GL, Torner JC; International Study of Unruptured Intracranial Aneurysms Investigators. Unruptured intracranial aneurysms: natural history, clinical outcome, and risks of surgical and endovascular treatment[J]. *Lancet*, 2003, 362:103-110.
- [2] Molyneux A, Kerr R, Stratton I, Sandercock P, Clarke M, Shrimpton J, Holman R; International Subarachnoid Aneurysm Trial (ISAT) Collaborative Group. International Subarachnoid Aneurysm Trial (ISAT) of neurosurgical clipping versus endovascular coiling in 2143 patients with ruptured intracranial aneurysms: a randomised trial[J]. *Lancet*, 2002, 360:1267-1274.
- [3] Greving JP, Wermer MJ, Brown RD Jr, Morita A, Juvela S, Yonekura M, Ishibashi T, Torner JC, Nakayama T, Rinkel GJ, Algra A. Development of the PHASES score for prediction of risk of rupture of intracranial aneurysms: a pooled analysis of six prospective cohort studies[J]. *Lancet Neurol*, 2014, 13:59-66.
- [4] Lee GJ, Eom KS, Lee C, Kim DW, Kang SD. Rupture of very small intracranial aneurysms: incidence and clinical characteristics[J]. *J Cerebrovasc Endovasc Neurosurg*, 2015, 17: 217-222.
- [5] Sayama T, Inamura T, Matsushima T, Inoha S, Inoue T, Fukui M. High incidence of hyponatremia in patients with ruptured anterior communicating artery aneurysms[J]. *Neurol Res*, 2000, 22:151-155.
- [6] Chen H, Li MH. A1 segment hypoplasia accompanied by AcoA aneurysms assessed with magnetic resonance angiography[J]. *Surg Radiol Anat*, 2014, 36:353-357.
- [7] Justin M, Jay UH. Anterior communicating artery aneurysms [M]//Ringer AJ. Intracranial aneurysms. Amsterdam: Elsevier, 2018: 463-478.
- [8] Kane AG, Dillon WP, Barkovich AJ, Norman D, Dowd CF, Kane TT. Reduced caliber of the internal carotid artery: a normal finding with ipsilateral absence or hypoplasia of the A1 segment[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 1996, 17:1295-1301.
- [9] Krzyzewski RM, Klis KM, Kwinta BM, Gackowska M, Gasowski J. Increased tortuosity of ACA might be associated with increased risk of ACoA aneurysm development and less aneurysm dome size: a computer-aided analysis[J]. *Eur Radiol*, 2019, 29:6309-6318.
- [10] Proust F, Debono B, Hannequin D, Gerardin E, Clavier E, Langlois O, Fréger P. Treatment of anterior communicating artery aneurysms: complementary aspects of microsurgical and endovascular procedures[J]. *J Neurosurg*, 2003, 99:3-14.
- [11] Akamatsu Y, Kashimura H, Suzuki T, Aso K, Oshida S. Utility of single fenestrated miniclip in management of small cerebral aneurysm: technical report of 2 cases [J]. *World Neurosurg*, 2019, 122:240-244.
- [12] Burkhardt JK, Chua MH, Winkler EA, Rutledge WC, Lawton MT. Incidence, classification, and treatment of angiographically occult intracranial aneurysms found during microsurgical aneurysm clipping of known aneurysms[J]. *J Neurosurg*, 2019, 22:1-8.
- [13] Bohnstedt BN, Conger AR, Edwards J, Ziemba - Davis M, Edwards G, Brom J, Shah K, Cohen - Gadol AA. Anterior communicating artery complex aneurysms: anatomic characteristics as predictors of surgical outcome in 300 cases [J]. *World Neurosurg*, 2019, 122:E896-906.
- [14] Piccinelli M. Multimodality image fusion, moving forward[J]. *J Nucl Cardiol*, 2019.[Epub ahead of print]
- [15] Tucker AM, Beckett JS, Martin NA. Next generation case report: supraorbital craniotomy for anterior communicating artery aneurysm clipping in annotated virtual reality environment [J]. *Oper Neurosurg (Hagerstown)*, 2018, 15:E73-76.
- [16] Nagassa RG, McMenamin PG, Adams JW, Quayle MR, Rosenfeld JV. Advanced 3D printed model of middle cerebral artery aneurysms for neurosurgery simulation[J]. *3D Print Med*, 2019, 5:11.
- [17] Sullivan S, Aguilar-Salinas P, Santos R, Beier AD, Hanel RA. Three - dimensional printing and neuroendovascular simulation for the treatment of a pediatric intracranial aneurysm: case report[J]. *J Neurosurg Pediatr*, 2018, 22:672-677.
- [18] Akimoto H, Nagaoka T, Nariyai T, Takada Y, Ohno K, Yoshino N. Preoperative evaluation of neurovascular compression in patients with trigeminal neuralgia by use of three-dimensional reconstruction from two types of high - resolution magnetic resonance imaging[J]. *Neurosurgery*, 2002, 51:956-961.
- [19] Yao SJ, Li FY, Zhao YN, Zhang JS, Li C, Zhang ZZ, Zhang J, Chen XL. Value of multimodal image-based virtual reality for the diagnosis of neurovascular compression in patients with trigeminal neuralgia and hemi - facial spasm [J]. *Zhongguo Yi Liao She Bei*, 2017, 32:7-10.[姚书敬, 李昉晔, 赵艺宁, 张家墅, 李翀, 张治中, 张军, 陈晓雷. 基于多模态神经影像的虚拟现实技术对三叉神经痛和面肌痉挛患者血管神经压迫的诊断价值[J]. *中国医疗设备*, 2017, 32:7-10.]
- [20] Raappana A, Koivukangas J, Piriälä T. 3D modeling - based surgical planning in transsphenoidal pituitary surgery: preliminary results[J]. *Acta Otolaryngol*, 2008, 128:1011-1018.
- [21] Yao S, Zhang J, Zhao Y, Hou Y, Xu X, Zhang Z, Kikinis R, Chen X. Multimodal image - based virtual reality presurgical simulation and evaluation for trigeminal neuralgia and hemifacial spasm[J]. *World Neurosurg*, 2018, 113:E499-507.
- [22] Swiatnicki W, Radomiak-Zaluska A, Heleniak M, Komuński P. Factors determining the best surgical exposure and safe clip positioning in surgical treatment of anterior communicating artery (ACoM) aneurysms: particular significance of ACoM complex rotation in the axial plane[J]. *Pol Przegl Chir*, 2019, 91:6-10.

(收稿日期:2020-02-28)

(本文编辑:彭一帆)