

· 临床研究 ·

## 颅脑3D-CTA术前规划指导手术夹闭颅内动脉瘤的疗效研究

蔡 宁<sup>1</sup>, 林 超<sup>2</sup>, 王彬彬<sup>2</sup>, 刘 宁<sup>2\*</sup><sup>1</sup>江苏大学附属医院神经外科, 江苏 镇江 212000; <sup>2</sup>南京医科大学第一附属医院神经外科, 江苏 南京 210029

**[摘要]** **目的:**探讨颅脑三维CT血管造影(3D-CTA)术前规划指导手术夹闭颅内动脉瘤(IA)的疗效。**方法:**回顾性分析采用手术夹闭治疗的198例IA患者的临床资料,根据术前3D-CTA规划手术入路、骨窗位置及大小,并与三维数字剪影血管造影(DSA)对照。术后出院时采用格拉斯哥预后评分(GOS)评价近期预后,随访统计慢性硬膜下血肿(CSDH)发生情况。**结果:**198例患者共计223个动脉瘤,经3D-CTA共发现220个动脉瘤,漏诊后交通动脉瘤3个,与术中探查符合率为99.55%,与3D-DSA检查结果的符合率为98.65%。198例中,192例根据术前3D-CTA规划方案成功手术,且术前成像与术中所见基本相符,6例(3.03%)因伴较大颅内血肿未按术前规划手术。术后良好率69.19%,病死率4.55%,随访CSDH发生率为5.29%。Logistic回归分析显示,未破裂IA(UA)、蛛网膜下出血(SAH)2~3级、病灶CT值 $\geq 40$  HU、术后即刻硬膜下积液(SDFC)直径 $\geq 5$  mm及术后7 d SDFC体积 $\geq 15$  mL是术后发生CSDH的独立危险因素( $P < 0.05$ )。**结论:**颅脑3D-CTA成像可获得立体三维模型成像,辅助动脉瘤定位及毗邻解剖关系显示,减少夹闭手术中损伤并可能降低术后CSDH发生风险。

**[关键词]** 颅内动脉瘤;三维CT血管造影;显微手术;慢性硬膜下血肿

**[中图分类号]** R739.41

**[文献标志码]** A

**[文章编号]** 1007-4368(2020)12-1784-07

**doi:** 10.7655/NYDXBNS20201208

## Curative effects of 3D - CTA virtual imaging guided by preoperative planning in microsurgical clipping of intracranial aneurysm

CAI Ning<sup>1</sup>, LIN Chao<sup>2</sup>, WANG Binbin<sup>2</sup>, LIU Ning<sup>2\*</sup><sup>1</sup>Department of Neurosurgery, Affiliated Hospital of Jiangsu University, Zhenjiang 212000; <sup>2</sup>Department of Neurosurgery, the First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210029, China

**[Abstract]** **Objective:** This study aims to investigate the effect of three-dimensional computed tomographic angiograph (3D-CTA) virtual imaging guided the preoperative planning in microsurgical clipping of intracranial aneurysm(IA). **Methods:** The clinical data of 198 patients with IA who underwent microsurgical clipping were retrospectively analyzed. All patients received 3D - CTA virtual imaging guided the preoperative planning for the surgical approach, bone window position and size, and compared with three - dimensional digital silhouette angiography (3D - DSA). The short - term efficacy was evaluated by Glasgow Outcome Scale (GOS) , incidence of postoperative chronic subdural hematoma (CSDH) was counted. **Results:** There were total of 223 aneurysms in 198 patients. 220 aneurysms were found by 3D - CTA, and 3 traffic aneurysms were missed, the coincidence rate with intraoperative detection was 99.55% , and the coincidence rate with 3D - DSA results was 98.65% . Total 192 patients were surgically clamped according to the preoperative planning, and the preoperative 3D-CTA imaging was basically consistent with the intraoperative findings , 6 patients(3.03%)were not scheduled for surgery with large intracranial hematoma. The postoperative good prognosis rate was 69.19% , the mortality rate was 4.55% , and the incidence of CSDH was 5.29% during follow-up. Logistic regression analysis showed that the unruptured IA (UA) , subarachnoid hemorrhage (SAH) 2~3 grade, CT value of lesions  $\geq 40$  HU , the subdural fluid collection (SDFC) diameter  $\geq 5$  mm and the SDFC volume  $\geq 15$  mL at 7 th day after surgery were independent risk factors for postoperative CSDH ( $P < 0.05$ ). **Conclusion:** 3D-CTA imaging can obtain stereoscopic 3D model imaging, which can assist in the positioning of aneurysms and adjacent anatomical relationships, reduce the damage during clipping surgery and may reduce the risk of postoperative CSDH.

**[Key words]** intracranial aneurysm; three-dimensional CT angiography; microsurgery; chronic subdural hematoma

[J Nanjing Med Univ, 2020, 40(12): 1784-1790]

**[基金项目]** 镇江市重点研发计划——社会发展(SH2019030)

\*通信作者(Corresponding author), E-mail: liuning0853@126.com

颅内动脉瘤(intracranial aneurysm, IA)多见于Willis环周边较大动脉分叉部位,主要病理生理特征为局部血管呈现局限性异常扩张,可诱发脑水肿、脑积水、脑血管痉挛及脑梗死等,或因IA破裂而引起蛛网膜下腔出血,致残率和致死率均较高<sup>[1]</sup>。IA一旦破裂出血,即便经及时抢救处理,再次出血发生率仍高达50%左右,破裂后动脉瘤再出血可导致灾难性后果,病死率可达75%左右<sup>[2]</sup>。因此,早期精准诊断并及时采取有效治疗措施,对预防IA破裂具有重要意义。手术夹闭IA是临床主要治疗手段,但术后可出现慢性硬膜下血肿(chronic subdural hematoma, CSDH)等严重并发症,影响术后康复及生存质量<sup>[3]</sup>。尽管手术夹闭治疗IA的技术已经较为成熟且有诸多研究报道,但其仍是神经外科难度较大且风险较高的手术之一,如何降低术后CSDH发生率及病死率仍值得探究。三维CT血管成像(three-dimensional computed tomographic angiography, 3D-CTA)是临床术前诊断IA的新技术,相较于传统数字减影血管造影(DSA)具有快速、无创及诊断准确率高等优点,为IA早期手术治疗决策提供了支撑<sup>[4]</sup>。本研究基于颅脑3D-CTA进行术前规划指导IA的手术夹闭治疗,并随访评价患者的临床预后及CSDH发生情况,为IA的治疗提供参考依据。现报道如下。

## 1 对象和方法

### 1.1 对象

收集2018年1月—2019年6月本院接受手术夹闭治疗的IA患者进行研究。纳入标准:①年龄 $\geq 18$ 岁;②术前经3D-CTA及3D-DSA检查提示为IA,且术中及术后病理证实;③行IA开颅手术夹闭,术前均接受3D-CTA检查与术前规划;④既往无精神疾病史,愿意配合术后复查及随访。排除标准:①夹层动脉瘤、梭形动脉瘤者;②入院3d内未行手术治疗而死亡者。剔除或脱落标准:①拒绝手术治疗者,接受保守治疗者;②自动出院或转院者;③术后失访或随访资料不全者。

最终纳入198例患者,其中,男61例,女137例,年龄36~76岁,平均(58.23 $\pm$ 6.21)岁。术前症状:头痛90例,嗜睡、意识朦胧38例,昏迷54例;伴上睑下垂13例,伴肢体偏瘫10例,伴颅内血肿38例;192例颅内破裂动脉瘤(ruptured intracranial aneurysm, RIA),其中出血次数1次147例,2次33例, $\geq 3$ 次12例,6例颅内未破裂动脉瘤(unruptured intracranial aneurysm, UIA)。术前Hunt-Hess分级:6例UIA为0级,19例

I级,74例II级,42例III级,22例IV级,35例V级。179例单发IA,19例多发IA;IA直径74例 $< 5$  mm,106例5~10 mm,18例 $> 10$  mm;术前蛛网膜下出血(subarachnoid hemorrhage, SAH)分级:1级(无SAH)161例;2级(弥漫性SAH或垂直层厚度 $< 1$  mm)30例;3级(局灶性血管形成或垂直层厚度 $\geq 1$  mm)7例;4级(脑室内或脑内积液,伴或不伴弥漫性SAH)0例。患者家属均知情同意且签署知情同意书,研究经过医院伦理委员会审核批准。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 3D-CTA检查

采用美国GE公司Revolution 256层螺旋CT机进行扫描,参数设置:管电压120 kV,管电流230 mA,层厚0.625 mm,螺距:0.992:1,FOV 220 mm $\times$ 220 mm。常规行头颅平扫后,经肘静脉穿刺留置20 G静脉留置针,以双通道高压注射器注射非离子型对比剂(碘佛醇350 mgI/mL),剂量1.5~2.0 mL/kg,注射速率4 mL/s,观察到颈内动脉显影后进行扫描,具体延迟时间由仪器智能跟踪确定。扫描获得的参数采用Aw Volume Share 5图像后处理工作站进行后处理,应用容积再现技术(volume rendering, VR)与多平面重建(multi planar reconstruction, MPR)技术进行图像重建,经医院影像归档与通信系统(picture archiving and communication systems, PACS)传递CTA影像。

#### 1.2.2 3D-DSA检查

采用美国Polytron公司血管造影仪,经股动脉穿刺置管,取高压注射器静脉注射造影剂碘佛醇(300 mgI/mL),注射速度3~4 mL/s,全身肝素化,实施双侧颈内动脉与椎动脉造影,多角度投照以充分显示病灶,获取DSA图像。

#### 1.2.3 术前规划

患者均先行3D-CTA后行3D-DSA检查,明确诊断后,根据3D-CTA扫描参数实施术前脑血管三维立体模型重建,根据ADW软件虚拟区域分割,根据颅内血管与颅骨的灰度值差异,按照不同阈值将目标区域图像分割出来,重建头颅三维虚拟模型并进行优化处理。然后根据原始CT的坐标关系再次装配融合,建立血管与颅骨在同一坐标系下的三维复合虚拟模型,以直观地显示患者的IA病灶位置、大小及周围解剖关系,利用ADW软件的缩放、旋转等技术,结合患者的IA病灶特征制定个性化的手术方案。模拟手术情境,选择最佳体位和手术入路,并虚拟切开颅骨建立骨窗,进入颅内时观察并记录病

灶位置、朝向及其与载瘤动脉、毗邻动脉、床突等的解剖关系,观察载瘤动脉的血管变异情况并确定优势侧,选择最佳入路及骨瓣、分离方法,选择适宜性好的动脉瘤夹,确定术前计划。

#### 1.2.4 手术

根据术前3D-CTA设计的手术入路、骨瓣位置及骨窗大小,在全身麻醉下进行开颅手术夹闭治疗IA。患者取仰卧位,以头托固定头部,经翼点入路或中心线入路(骨窗前缘最低点与IA病灶连线)行弧形或冠状切口。如合并颅内血肿,采用4 cm×5 cm大骨窗手术;UIA及少量蛛网膜下腔出血者,采取3 cm×4 cm小骨窗开颅纤维手术。根据术前3D-CTA所示病灶位置、朝向及毗邻关系等,分离硬脑膜,将外侧裂池及颈动脉池打开,再开放视交叉池等,引流脑脊液以充分降低颅内压,以显露载瘤动脉及IA颈,如降颅内压效果不理想可切开终板、脑组织以显露载瘤动脉、IA颈,与术前3D-CTA影像进行比较,再根据术前计划与准备以动脉瘤夹夹闭动脉瘤,如分离困难可将载瘤动脉近端阻断后夹闭,并暂时性升高平均动脉压(mean arterial pressure, MAP)至90~100 mmHg,载瘤动脉阻断时间<15 min,必要时调整动脉瘤夹位置或适当增加动脉瘤夹数量,确保动脉瘤完全夹闭。对于体积较大且压迫神经的动脉瘤,术中可切开取出血栓。完成夹闭后,采用生理盐水充分冲洗硬膜下腔,载瘤动脉予以罂粟碱棉片湿敷,术中注意保护小穿支血管。常规止血并缝合脑膜,对轻度脑水肿者直接复位骨瓣,如伴重度脑水肿则实施去骨瓣加压术,逐层缝合头皮。术后常规予以高血压、高血容量、血液稀释(3H)治疗,营养支持等防治并发症。

#### 1.2.5 术后评估及随访

所有患者术后即刻及术后7 d均接受头部CT检查,评价硬膜下积液(subdural fluid collection, SDFC)情况。出院时,根据格拉斯哥预后计分(Glasgow outcome score, GOS)评价近期预后,1分为死亡,2分为植物生存,3分为重度残疾,4分为轻度残疾,5分为恢复良好,其中,2~3分为预后差,4~5分为预后良好。术后3、6、12个月复查3D-CTA,观察有无IA复发及CSDH发生情况。对于无症状性CSDH,均采用连续随访观察的保守治疗;出现呕吐、头痛、偏瘫等明显神经系统症状者,实施颅内血肿清除术治疗。

#### 1.3 统计学方法

采用SPSS 20.0版统计学软件分析,计量资料以

均数±标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,比较采用 $t$ 检验;计数资料以百分率(%)表示,比较采用 $\chi^2$ 检验,多因素分析采用Logistic回归分析, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 术前诊断情况

198例患者共发现223个动脉瘤,其中,1例多发动脉瘤中后交通动脉起始部位膨出术前未能准确判断,经术中探查证实;2例后交通动脉瘤术前经3D-CTA未能发现,后经DSA证实;1例大脑前动脉瘤经DSA造影未能证实而经3D-DSA检查明确。共检出63例前交通或大脑前动脉瘤,42例后交通动脉瘤,58例大脑中动脉瘤,10例颈内动脉分叉部动脉瘤,3例C2(Fischer分类法床突上段)动脉瘤,3例脉络膜前动脉瘤,19例多发动脉瘤。19例多发动脉瘤中包括7例右颈内动脉分叉处动脉瘤+单支大脑前动脉分叉部动脉瘤,3例右侧后交通动脉瘤(破裂)+右侧眼动脉段动脉瘤(未破裂),3例双颈内动脉C2段动脉瘤,3例双侧后交通动脉瘤,3例左侧颈内动脉后交通及颈内动脉末端、前交通、右侧大脑中动脉分叉部及远端多发动脉瘤。3D-CTA与3D-DSA的整体符合率为98.65%(220/222),3D-CTA与术中探查符合率99.10%(221/223),3D-DSA与术中探查符合率99.55%(222/223)。

### 2.2 手术情况

198例患者完成术前3D-CTA检查并进行术前规划确定手术入路、骨瓣位置及骨窗大小。术前3D-CTA显示进入颅内时病灶位置、朝向及毗邻解剖关系与术中所见相符,其中,6例(3.03%)因伴较大颅内血肿,在血肿清除后由于脑组织移动影响动脉瘤位置朝向,未能按术前规划手术,其余患者均按照术前规划顺利完成开颅显微手术夹闭。19例多发动脉瘤中,7例右颈内动脉分叉处动脉瘤+单支大脑前动脉分叉部动脉瘤,均一次性夹闭;3例右侧后交通动脉瘤(破裂)+右侧眼动脉段动脉瘤(未破裂),责任动脉瘤夹闭,未破裂动脉瘤未再次夹闭且随访未破裂;3例双颈内动脉C2段动脉瘤,获得一次性夹闭;3例双侧后交通动脉瘤,单侧夹闭,另一侧后期介入栓塞。3例左侧颈内动脉后交通及颈内动脉末端、前交通、右侧大脑中动脉分叉部及远端多发动脉瘤,责任动脉夹闭,遗留动脉瘤未夹闭且随访未见破裂。术中完整保留供血动脉及其主要分支,无医源性血管损伤及新增神经功能障碍,术后12例(6.06%)暂时性并经加重,CT复查诊断为脑血管痉

挛, 采取扩容、解痉等对症治疗缓解。

### 2.3 近期预后

出院时GOS评价显示, 138例预后良好, 51例预后较差, 9例死亡。死亡病例术前 Hunt-Hess 分级均为V级, 且伴有颅内血肿及脑疝形成, 其中, 3例为多发动脉瘤(双侧颈内动脉C1段动脉瘤, Fischer分类终末段), 因术中大出血(出血量>1 500 mL)休克死亡。术前 Hunt-Hess 分级显示, 分级越低预后越好(表1)。

### 2.4 随访结果

189例存活患者随访时间为3~26个月, 中位随访时间为9.2个月。随访期间无IA复发及再出血病例, 10例(5.29%)随访期间发生CSDH。其中, 2例因血肿量较少(<10 mL), 术后1~2个月内自行吸收; 4例血肿量10~15 mL经随访观察并予以保守治疗后逐渐吸收好转; 其余4例患者由于血肿体积较大(>30 mL)且伴有疼痛症状, 随访未能自行吸收, 血肿压迫脑组织, 后期行钻孔引流术治愈, 手术率为40.00%。

### 2.5 CSDH危险因素分析

单因素分析显示, 在UIA、Hunt-Hess III~IV级、SAH 2~3级、病灶CT值≥40 HU、术后即刻SDFC≥5 mm及术后第7天硬膜下积液≥5 mm者中, 具有更

表1 Hunt-Hess 分级与出院时GOS评分的关系

Table 1 The relationship between Hunt-Hess classification and GOS score at discharge [n(%)]

| Hunt-Hess 分级 | 例数  | 预后良好       | 预后较差      | 死亡       |
|--------------|-----|------------|-----------|----------|
| 0级           | 6   | 6(100.00)  | 0         | 0        |
| I级           | 19  | 19(100.00) | 0         | 0        |
| II级          | 74  | 64(86.49)  | 10(13.51) | 0        |
| III级         | 42  | 35(83.33)  | 7(16.67)  | 0        |
| IV级          | 22  | 10(45.45)  | 12(54.55) | 0        |
| V级           | 35  | 3(8.57)    | 23(65.71) | 9(25.71) |
| 合计           | 198 | 137(69.19) | 52(26.26) | 9(4.55)  |

高的CSDH发生率( $P < 0.05$ , 表2)。以CSDH发生率为因变量, 以单因素分析显示具有统计学意义的因子为自变量进行 Logistic 回归分析, 结果显示, UIA、SAH 2~3级、病灶CT值≥40 HU、术后即刻SDFC≥5 mm及术后7 d SDFC≥15 mL是术后发生CSDH的独立危险因素( $P < 0.05$ ), 但 Hunt-Hess 分级未能进入回归方程(表3)。

### 3 讨论

IA在破裂前多无特异性临床表现, 首次破裂后病死率约30%, 如未及时治疗, 20%左右的患者可再次甚至多次破裂而丧失手术治疗机会<sup>[5]</sup>。手术夹闭

表2 IA术后CSDH发生的单因素分析

Table 2 Univariate analysis of CSDH occurrence in IA after surgery [n(%)]

| 项目        | 例数  | CSDH       |           | $\chi^2$ 值 | P值     | 项目             | 例数  | CSDH       |          | $\chi^2$ 值 | P值     |
|-----------|-----|------------|-----------|------------|--------|----------------|-----|------------|----------|------------|--------|
|           |     | 否          | 是         |            |        |                |     | 否          | 是        |            |        |
| 性别        |     |            |           | 0.430      | 0.512  | IA数量           |     |            |          | 0.032      | 0.858  |
| 男         | 58  | 54(93.10)  | 4(6.90)   |            |        | 单发             | 173 | 164(94.80) | 9(5.20)  |            |        |
| 女         | 131 | 125(95.42) | 6(4.58)   |            |        | 多发             | 16  | 15(93.75)  | 1(6.25)  |            |        |
| 年龄        |     |            |           | 0.504      | 0.478  | IA直径           |     |            |          | 0.224      | 0.636  |
| <60岁      | 77  | 74(96.10)  | 3(3.90)   |            |        | <5 mm          | 70  | 67(95.71)  | 3(4.29)  |            |        |
| ≥60岁      | 112 | 105(93.75) | 7(6.25)   |            |        | ≥5 mm          | 119 | 112(94.12) | 7(5.88)  |            |        |
| 吸烟        | 45  | 42(93.33)  | 2(4.44)   | 0.068      | 0.794  | SAH分级          |     |            |          | 45.305     | <0.001 |
| 酗酒        | 70  | 68(97.14)  | 2(2.86)   | 1.314      | 0.252  | 1级             | 160 | 159(99.38) | 1(0.63)  |            |        |
| 高脂血症      | 19  | 17(89.47)  | 2(10.53)  | 1.155      | 0.282  | 2~3级           | 29  | 20(68.97)  | 9(31.03) |            |        |
| 高血压       | 99  | 92(92.93)  | 7(7.07)   | 1.314      | 0.252  | 病灶CT值          |     |            |          | 45.305     | <0.001 |
| 糖尿病       | 22  | 20(90.91)  | 2(9.09)   | 0.717      | 0.397  | <40 HU         | 160 | 159(99.38) | 1(0.63)  |            |        |
| 卒中        | 32  | 30(93.75)  | 2(6.25)   | 0.071      | 0.790  | ≥40 HU         | 29  | 20(68.97)  | 9(31.03) |            |        |
| IA类型      |     |            |           | 110.921    | <0.001 | 即刻SDFC≥5 mm    |     |            |          | 6.875      | 0.009  |
| UIA       | 6   | 0          | 6(100.00) |            |        | 否              | 128 | 125(97.66) | 3(2.34)  |            |        |
| RIA       | 183 | 179(97.81) | 4(2.19)   |            |        | 是              | 61  | 54(88.52)  | 7(11.48) |            |        |
| Hunt-Hess |     |            |           | 4.438      | 0.035  | 7 d SDFC≥15 mL |     |            |          | 28.063     | <0.001 |
| 0~II      | 99  | 97(97.98)  | 2(2.02)   |            |        | 否              | 147 | 146(99.32) | 1(0.68)  |            |        |
| III~IV    | 90  | 82(91.11)  | 8(8.89)   |            |        | 是              | 42  | 33(78.57)  | 9(21.43) |            |        |

表3 IA术后CSDH发生的多因素分析

Table 3 Multivariate analysis of CSDH occurrence in IA after surgery

| 变量                      | $\beta$ 值 | S.E值  | Wald $\chi^2$ | P值     | OR值   | 95%CI       |
|-------------------------|-----------|-------|---------------|--------|-------|-------------|
| UIA                     | 3.059     | 0.874 | 30.012        | <0.001 | 2.611 | 2.213~3.644 |
| SAH 2~3级                | 2.131     | 0.852 | 6.012         | 0.013  | 2.335 | 1.514~4.432 |
| 病灶CT值 $\geq$ 40 HU      | 3.621     | 0.943 | 24.815        | <0.001 | 3.179 | 2.943~5.012 |
| 术后即刻SDFC $\geq$ 5 mm    | 2.412     | 0.839 | 4.231         | 0.029  | 2.011 | 1.987~2.615 |
| 术后7 d SDFC $\geq$ 15 mL | 2.059     | 0.861 | 7.439         | 0.001  | 3.012 | 2.643~5.519 |

仍是当前临床治疗IA的主要手段,但由于IA位置多较深,且与毗邻血管、神经关系密切,尤其是RIA常伴有明显的颅内压升高、脑肿胀以及周围组织粘连,病灶体积较小时往往被水肿或血块遮挡而难以精准定位和充分暴露,术中分离和牵拉脑组织将增加手术危险性及其并发症发生风险<sup>[6]</sup>。因此,早期准确诊断和术前精准定位、合理设计手术对确保手术安全性和有效性具有重要意义。DSA是传统诊断IA的“金标准”,但因其具有侵袭性和创伤性,临床应用存在一定的局限性<sup>[7]</sup>。作为一种相对无创的血管容积成像技术,CTA不仅能够缩短扫描成像时间与图像后处理时间,且能够较为清晰地显示病灶位置、毗邻关系及相关血管的形态、走行等,目前已广泛用于IA的诊断与治疗<sup>[8]</sup>。随着医学影像学技术的发展与成熟,CTA技术已由传统二维重建发展至三维无失真重建,迅速扫描、重建并获取高分辨率三维图像,相较于DSA操作更为简便、快速且安全。徐耀端等<sup>[9]</sup>研究证实,3D-CTA对IA的诊断灵敏度与特异度不亚于3D-DSA,甚至可获得更好的瘤体图像质量,尤其是在病灶解剖结构及毗邻结构特征方面的显示更为精确。本研究中,3D-CTA和3D-DSA术前诊断IA的准确度与术中对比并无明显差异,大部分患者无需行3D-DSA,单凭3D-CTA结果即可指导IA的手术治疗。

术前明确瘤体整体情况以及毗邻关系是确保手术成功的关键,虽然常规DSA、MR能够参考二维影像进行初步手术方案设计,但对手术医师的空间想象力与记忆力要求较高,且术中因瘤体保留空间有限等将导致术前预案与手术实际产生偏差,难以精准定位瘤体与毗邻重要血管、神经的关系,术中往往需要多次调整动脉瘤夹的位置与角度,如有不慎可能误夹或导致动脉瘤破裂。3D-CTA图像可在工作站内完成任意三维旋转、放大和血管图像切割(非载瘤动脉),并可通过调节分辨率进行不同血管的显示或减影,为术前手术方案的设计提供全面、精准的依据<sup>[10]</sup>。同时,术前3D-CTA成像模拟手术

设计制定清晰、立体、精确且与术中表现一致的IA图像,可基本确定最佳手术入路、骨窗位置、骨窗大小及动脉瘤夹等,能够对术中操作起到辅助参考作用,有助于术者在术中更为快速、准确地找到并显露病灶及载瘤动脉,选择动脉瘤颈优势侧并安全夹闭,避开重要血管和神经,从而降低手术的难度及风险,并可降低血管痉挛发生风险,减轻脑肿胀<sup>[11]</sup>。此外,术前应用3D-CTA规划手术方案,有助于医师术后根据影像资料及手术录像总结经验,进一步提高手术技术。本组术前3D-CTA影像表现与术中所见基本相符,除6例颅内血肿较大,清除血肿后脑组织移位导致瘤体朝向改变未能遵循术前计划手术外,其余患者均顺利按照术前规划完成手术夹闭。提示3D-CTA用于IA的术前诊断具有较高的准确性,且通过术前规划对手术夹闭具有较高的指导价值。本组9例患者术后死亡,死亡病例术前Hunt-Hess分级均为V级,且伴有颅内血肿及脑疝形成,其中,3例为多发动脉瘤。同时,术前Hunt-Hess分级 $\leq$ Ⅲ级者中预后良好率达87.94%,IV~V级者仅为22.81%,提示术前Hunt-Hess分级越高者往往临床预后较差。本研究的体会是术前3D-CTA成像模拟术前规划能够较为清晰地显示IA病灶整体与毗邻关系,通过任意角度旋转能够较为直观地显示病灶立体情况,减少术中判断误差,并可根据病灶暴露情况合理选择手术入路及开窗。但对于病灶周围正常穿支动脉,3D-CTA显示可能仍存在一定的欠缺,术中操作应尽量保护周围血管,以免导致术中破裂或大出血而增加手术风险。此外,由于Hunt-Hess分级越高其发生动脉瘤破裂及脑血管痉挛的风险就越高,临床预后越差,死亡风险越高<sup>[12]</sup>,对术前Hunt-Hess分级较高者,应权衡开颅手术夹闭IA的必要性。

CSDH是IA手术夹闭后严重并发症之一,国外报道其发生率为2.1%~12.5%<sup>[13]</sup>,国内报道RIA术后CSDH发生率为3.00%~3.13%,UIA术后CSDH发生率为10.78%~11.50%<sup>[14-16]</sup>,UIA术后CSDH发生率相

对更高,但因样本量及随访时间等限制,具体情况并不明确,临床往往未引起充分重视。CSDH对术后神经功能具有明显影响,且将增加脑血管事件发生风险,早期预防和识别、处理CSDH对改善患者的临床预后非常必要。相关研究认为,男性、高龄、脑萎缩、硬膜下积液等均是IA患者夹闭手术后CSDH发生的危险因素<sup>[17]</sup>。本研究中,随访期间共10例(5.29%)发生CSDH,发生率低于上述报道,可能是由于本研究随访时间较长且将不需要进行外科手术干预的病例也纳入其中,发生CSDH患者中4例(40.00%)需要手术治疗,但因样本较小,CSDH的具体处理手段仍有待研究。本研究发生CSDH的患者中,70%年龄 $\geq 60$ 岁,9例SAH等级为2~3级者均出现了CSDH。分析其原因为高龄患者往往脑组织硬度增加,伴发脑萎缩时脑组织复张难度相对较大,术前影像学检查难以发现硬膜下少量积液或血肿,术后更容易发生CSDH<sup>[18]</sup>。因此,对于合并严重脑萎缩患者尤其是高龄患者,应权衡夹闭手术的必要性及安全性。同时,研究还显示,U/A、SAH分级较高(2~3级)、病灶密度 $\geq 40$  HU者,具有更高的CSDH发生风险。推测U/A患者可能更容易发生CSDH,考虑为早期较小血凝块在炎症反应、纤维蛋白原溶解等作用下,逐步聚集于硬膜下腔内并形成新生膜,其外侧分布较多的毛细血管及血窦,诱导形成微出血病灶而导致血肿形成并逐步扩大<sup>[19]</sup>。因此,夹闭手术中应仔细检查并充分清除血凝块,避免硬膜下间隙内存在血凝块而导致术后CSDH发生。硬膜下积液也被认为是CSDH发生的危险因素,文献报道4%~59%的硬膜下积液或囊肿患者最终可发展成为CSDH<sup>[20]</sup>。本研究结果显示,术后即刻SDFC $\geq 5$  mm及术后7 d SDFC $\geq 15$  mL均是术后发生CSDH的独立危险因素,OR值分别达2.011、3.012( $P < 0.05$ )。分析其原因,可能是术中为切除病灶而将蛛网膜切开时,部分血性脑脊液可渗入硬膜下腔而导致血肿形成。或发生SHA后血凝块逐步扩大,增加了CSDH的发生风险。张超等<sup>[16]</sup>也认为,硬膜下积液 $\geq 5$  cm与未进展至脑积水的RIA患者更容易发生CSDH,这与本研究结论基本一致。因此,对于伴有脑萎缩、SAH者,应追踪评估硬膜下积液发生情况,术中更应注重硬膜下积液的清除,以便预防或减少CSDH的发生。Park等<sup>[21]</sup>认为,IA的位置是发生CSDH的独立危险因素,以大脑中动脉IA的发生风险较高,考虑为位于该部位的IA夹闭时需要切除更大范围的蛛网膜。因此,有学者认为对于大脑中动脉

IA患者在夹闭手术中有必要采用显微操作技术充分显露蛛网膜结构,夹闭后实施蛛网膜成形术(arachnoid plasty, ARP)修复蛛网膜,以阻断硬膜下积液的形成,从而预防CSDH的发生<sup>[22]</sup>。但ARP在国内的应用较少,其具体应用价值尚有待研究。沈晓辰等<sup>[23]</sup>研究显示,RIA患者术后应用抗血小板治疗小剂量替罗非班有助于改善预后,降低缺血性时间或脑出血发生风险,但仍需充分的研究证据支持。

综上所述,术前应用3D-CTA虚拟成像技术构建IA三维模型,制定完善的手术预案,初步确定手术入路、骨瓣位置与大小、预判病灶与毗邻血管解剖关系、确定夹闭角度并预选动脉瘤夹,有助于术中准确判断、精确识别和操作,降低手术风险,提高手术安全性及有效性,可作为IA术前独立检查项目,规划指导夹闭手术。但受限于3D-CTA的分辨率,病灶部分动脉的解剖信息可能不清楚,术中可能因损伤蛛网膜等而发生CSDH。因此,进一步提高术前3D-CTA对IA病灶与毗邻血管、穿支动脉的提取精度,为IA的夹闭手术提供更为精确可靠的依据是今后研究的方向。同时,尽量准确识别硬膜下积液情况、脑萎缩及脑肿胀情况、术中减少蛛网膜损伤及打开蛛网膜池后修复等降低CSDH的发生率。

#### [参考文献]

- [1] CHEN W, XING W, PENG Y, et al. Diagnosis and treatment of intracranial aneurysms with 320-detector row volumetric computed tomography angiography [J]. *World Neurosurg*, 2016, 91(7): 347-356
- [2] LIU Q Y, JIANG P J, WU Y, et al. Intracranial aneurysm rupture score may correlate to the risk of rebleeding before treatment of ruptured intracranial aneurysms [J]. *Neurol Sci*, 2019, 40(8): 1683-1693
- [3] KWON M Y, KIM C H, LEE C Y. Predicting factors of chronic subdural hematoma following surgical clipping in unruptured and ruptured intracranial aneurysm [J]. *J Korean Neurosurg Soc*, 2016, 59(5): 458-465
- [4] ZHOU L Q, LOU M W, CHEN G C, et al. Value of 640-slice 3D CT angiography plus 3D printing for improving surgeries for intracranial aneurysms [J]. *J Southern Med Univ*, 2017, 37(9): 1222
- [5] 张道宝, 吴虹刚, 陈舒, 等. 利用3D-CTA开展超早期手术夹闭破裂动脉瘤253例治疗体会[J]. *中华神经外科疾病研究杂志*, 2018, 17(2): 81-82
- [6] MARINHO P, VERMANDEL M, BOURGEOIS P, et al. Preoperative simulation for the planning of microsurgical clipping of intracranial aneurysms [J]. *Simul Healthc*,

- 2014,9(6):370-376
- [7] MARBACHER S, MENDELOWITSCH I, GRÜER B E, et al. Comparison of 3D intraoperative digital subtraction angiography and intraoperative indocyanine green video angiography during intracranial aneurysm surgery [J]. *J Neurosurg*, 2018, 26(7):1-8
- [8] SHIBATA E, TAKAO H, AMEMIYA S, et al. 3D-Printed visceral aneurysm models based on CT data for simulations of endovascular embolization: evaluation of size and shape accuracy [J]. *AJT Am J Roentgenol*, 2017, 209(2): 243-247
- [9] 徐耀端, 尚子奎, 黄维鑫, 等. D-CTA与3D-DSA检查在脑动脉瘤显微夹闭术中的评估价值 [J]. *中华神经外科疾病研究杂志*, 2018, 17(2):122-125
- [10] WAN J, ZHANG L, LU G, et al. Midterm outcomes of intracranial aneurysms with bleb formation with densely coiling of the aneurismal neck or entire aneurysm [J]. *Medicine*, 2017, 96(33):e7046
- [11] WILKINSON E P, SHAHIDI R, WANG B, et al. Remote-rendered 3D CT angiography (3DCTA) as an intraoperative aid in cerebrovascular neurosurgery [J]. *Computer Aided Surgery*, 2015, 4(5):256-263
- [12] ZHANG F, LI P, ZHANG C, et al. The prognosis factors for endovascular coiling of aneurysm in patients with ruptured intracranial aneurysm [J]. *J Craniofac Surg*, 2017, 28(6):e535-e539
- [13] TAKEUCHI K, WATANABE T, NAGATANI T, et al. Incidence and risk factors of subdural hematoma after intraoperative cerebrospinal fluid leakage during the transphenoidal approach [J]. *Pituitary*, 2016, 19(6):565-572
- [14] 樊 炜, 李 进, 胡智洪, 等. 未破裂颅内动脉瘤夹闭术后慢性硬膜下血肿相关危险因素研究 [J]. *中华神经外科疾病研究杂志*, 2018, 17(5):20-23
- [15] 罗 霜, 刘 进, 王 鹏, 等. 未破裂与破裂颅内动脉瘤夹闭术后慢性硬膜下血肿发生率及相关危险因素的对比分析 [J]. *中国医师杂志*, 2018, 20(9):1355-1358
- [16] 张 超, 刘小印, 王传宝. 手术夹闭颅内动脉瘤术后发生慢性硬膜下血肿的风险评估 [J]. *中国脑血管病杂志*, 2018, 15(2):63-67
- [17] SHUHEIK, SHOICHI T, HIROTOSHI I, et al. Postoperative subdural air collection is a risk factor for chronic subdural hematoma after surgical clipping of cerebral aneurysms [J]. *Neurol Med-Chir*, 2018, 58(6):247-253
- [18] GELABERT-GONZALEZ M, RICO-COTELO M, ARÁN-ECHABE E. Chronic subdural hematoma [J]. *Med Clín*, 2015, 144(11):514-519
- [19] EGUCHI S, AIHARA Y, HORI T, et al. Postoperative extra-axial cerebrospinal fluid collection: its pathophysiology and clinical management [J]. *Pediatr Neurosurg*, 2011, 47(2):125-132
- [20] 郭振宇, 刘重霄, 周 任, 等. 外伤性硬膜下积液向慢性硬膜下血肿转化的相关因素探讨 [J]. *神经损伤与功能重建*, 2016, 11(2):122-124
- [21] PARK J, CHO J H, GOH D H, et al. Postoperative subdural hygroma and chronic subdural hematoma after unruptured aneurysm surgery: age, sex, and aneurysm location as independent risk factors [J]. *J Neurosurg*, 2016, 124(2):310-317
- [22] KIM J H, KIM C H, LEE C Y. Efficacy of arachnoid-plasty on chronic subdural hematoma following surgical clipping of unruptured intracranial aneurysms [J]. *World Neurosurg*, 2017, 10(4):303-310
- [23] 沈晔辰, 贾振宇, 赵林波, 等. 支架辅助栓塞破裂动脉瘤后小剂量替罗非班抗血小板治疗 [J]. *南京医科大学学报(自然科学版)*, 2020, 40(8):1210-1213

[收稿日期] 2020-07-13