doi:10.11659/jjssx.07E020089

·临床研究·

显微外科夹闭后交通动脉瘤的手术技巧探讨

谢满意,王 强,聂 耳,李中林 (徐州医科大学附属医院神经外科,江苏 徐州 221000)

[摘 要] **目的** 探讨后交通动脉瘤影像学特点以及显微外科手术夹闭技巧。**方法** 纳入行开颅手术夹闭治疗的后交通动脉瘤患者48例(共51个动脉瘤),回顾性分析患者的影像学资料、手术视频资料,分析瘤体直径、瘤颈直径、手术入路、术中脑脊液引流方法、是否行临时阻断及阻断方法、瘤夹选择、夹闭技巧等,总结后交通动脉瘤影像学特点对手术操作的指导作用以及术中处理的技巧。**结果** 2组动脉瘤瘤体直径、瘤颈直径以及瘤体-瘤颈比比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。51个后交通动脉瘤中,32个(63%)合并胚胎型大脑后动脉;41个(80%)采用小翼点入路夹闭;36个(71%)破裂动脉瘤采用术前腰大池置管引流;42个(82%)动脉瘤采用单纯近端阻断。34个指向后下外侧的后交通动脉瘤中,27个(79%)采用直动脉瘤夹夹闭;15个指向后下内侧的动脉瘤中,13个(87%)选用弯动脉瘤夹夹闭。46个(90%)动脉瘤行瘤颈完全夹闭。术后3个月,42例(87%)患者预后良好(GOS为4~5分)。**结论** 破裂动脉瘤术中控制脑压至关重要,可采取腰大池置管、视交叉池开放、脑室穿刺、终板开放等方法引流,分离动脉瘤前行临时阻断安全有效;术前影像显示动脉瘤顶指向对动脉瘤夹的选择具有指导意义,识别并保留所有血管神经结构是取得理想治疗效果的关键。

[关键词] 外科治疗;手术夹闭;影像学;后交通动脉瘤;手术技巧;脑室穿刺;腰大池置管

[中图分类号] R651.12 [文献标识码] A [收稿日期] 2020-07-15

Study of microneurosurgical clipping technique of posterior communicating artery aneurysms

XIE Man-yi, WANG Qiang, NIE Er, LI Zhong-lin (Department of Neurosurgery, Affiliated Hospital of Xuzhou Medical University, Xuzhou Jiangsu 221000, China)

Abstract: Objective To investigate the radiographic features and microneurosurgical clipping technique of posterior communicating artery aneurysms. **Methods** A total of 48 patients with posterior communication aneurysms (51 aneurysms in total) who underwent craniotomy cliping were included, and the imaging data and surgical video data of the patients were retrospectively analyzed. The tumor diameter, tumor neck diameter, surgical approach, intraoperative cerebrospinal fluid drainage method, temporary clipping and clipping method, selection of aneurysm clip, clipping technique were analyzed, so as to summarize the role of imaging characteristics of posterior communicating aneurysm in guiding surgical operation and intraoperative management skills. **Results** There was no statistically significant difference between the two groups in tumor diameter, tumor neck diameter and tumor body-tumor neck ratio ($P>0.05$). Of the 51 posterior communicating artery aneurysms, 32 (63%) were complicated with fetal posterior cerebral artery; 41 (80%) were clipped with mini-pterional approach; 36 (71%) ruptured aneurysms were treated with preoperative lumbar cisterna drainage; 42 (82%) aneurysms were simply proximal occluded. Of the 34 posterior communicating aneurysms projecting postero-laterally, 27 (79%) were clipped with straight aneurysm clips. Of the 15 posterior communicating aneurysms pointing postero-medially, 13 (87%) were clipped with curved aneurysms clips. Totally 46 (90%) aneurysms were completely clipped on the aneurysmal neck. Three months after the operation, 42 patients (87%) had a good prognosis (GOS score was 4 to 5 points). **Conclusion** It is of great importance to control cerebral pressure during ruptured aneurysms surgery. Lumbar drainage, chiasmatic cistern, ventricular puncture and lamia terminalis fenestration can be adopted to achieve drainage. Temporary clipping is safe and effective to avoid premature rupture. Preoperative imaging showed that aneurysmal apex orientation is of guiding significance for the selection of aneurysm clips, and the identification and preservation of all the vascular and nerve structures is the key to achieve the ideal therapeutic effect.

Keywords: microneurosurgical treatment; clipping; radiography; posterior communicating artery aneurysm; surgical skills; ventricular puncture; lumbar cisterna drainage

颈内动脉-后交通动脉瘤是常见的颅内动脉瘤之一,约占颅内动脉瘤的1/3。由于后交通动脉瘤自颈内动脉直接发出,瘤腔内压力高,一旦破裂则出血量大,致残、致死率高[1]。目前颅内动脉瘤的治疗方法主要包括开颅手术夹闭和血管介入栓塞治疗,目的都是将动脉瘤排除在血液循环之外,避免再次破裂出血。

[基金项目] 国家自然科学基金青年项目(81802490)

[通信作者] 李中林,E-mail:lizhonglinxuzhou163@yeah.net

一项国际动脉瘤性蛛网膜下腔出血研究将后交通动脉瘤归类为后循环动脉瘤,亚组分析显示介入治疗具有较低的致死率及致残率[2],其随访结果显示,与手术夹闭组相比,介入治疗组的后交通动脉瘤复发率以及需要再治疗率较高[3]。而 Barrow 破裂动脉瘤研究将中后交通动脉瘤归类为前循环动脉瘤,研究结果显示夹闭组和介入治疗组患者在出院后不同时间点临床预后均无明显差异[4]。因此,关于后交通动脉瘤的最佳治疗方式仍存争议。此外,随着显微外科夹闭手术向大型神经外科中心集中、术中电生理监测与吲哚菁绿造影等技术的应用,手术夹闭治疗效果进一步提升。为了进一步提高后交通动脉瘤夹闭术的治疗效果,本研究通过分析我科行开颅手术夹闭治疗的后交通动脉瘤患者的影像学资料和手术视频资料,探讨术前影像学评估对术中操作的指导意义,并总结手术夹闭技术细节及术中处理方法,现报告如下。

1 资料与方法

1.1 临床资料

纳入 2016 年 1 月至 2020 年 5 月于徐州医科大学附属医院神经外科脑血管亚专科行开颅手术夹闭治疗的后交通动脉瘤患者 48 例(共 51 个动脉瘤),回顾性分析患者的影像学资料、手术视频资料。48 例后交通动脉瘤患者中男 20 例,女 28 例;年龄 25 ~ 79 岁,平均 55 岁;动脉瘤位于左侧 22 例,右侧 23 例,双侧 3 例。术前根据动脉瘤是否破裂将其分为破裂组与未破裂组,43 例患者后交通动脉瘤破裂,表现为蛛网膜下腔出血,设为破裂组(46 个动脉瘤);5 例患者动脉瘤未破裂,设为未破裂组(5 个动脉瘤)。Fisher 分级 2 级 6 例,3 级 30 例,4 级 12 例。Hunt-Hess 分级1 级4 例,2 级 23 例,3 级 17 例,4 级 4 例。所有患者中合并颞叶血肿 4 例,合并脑室积血 2 例,合并动眼神经瘫痪 7 例。纳入标准:手术前后影像学资料完整;手术视频资料完整;随访预后资料完整。排除标准:动脉瘤夹闭或介入治疗后复发。本研究所有患者的第一术者为本文第一作者或通信作者。本研究获得我院伦理委员会批准,术前患者或其家属均签署手术知情同意书。

1.2 方法

采用医院 PACS 系统检测动脉瘤瘤体直径、瘤颈直径、瘤顶指向、床突上段颈内动脉钙化及是否合并胚胎型大脑后动脉。术后脑梗死定义为术后多次 CT 检查所显示的新发、持续低密度影。反复观看所有患者的手术视频资料,观察手术入路选择情况、术中脑脊液引流方法、夹闭动脉瘤前是否采用临时阻断以及临时阻断的方法、动脉瘤顶指向与动脉瘤夹类型选择情况、术中动脉瘤破裂发生时间及处理方法、动脉瘤夹闭效果;记录术后脑梗死以及格拉斯哥预后评分(Glasgow outcome scale,GOS)情况。术后 3 个月患者预后情况通过电话随访、门诊复查等方法获得。

1.3 统计学分析

数据使用 SPSS 16.0 进行统计学分析,动脉瘤瘤体及瘤颈直径以均数 ± 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,采用独立样本 t 检验进行分析;计数资料以率表示,采用 χ^2 检验。$P<0.05$ 表示差异有统计学意义。

2 结果

2.1 患者动脉瘤瘤体及瘤颈直径比较

破裂组动脉瘤瘤体直径为 1.23 ~ 18.05 mm,瘤颈直径为 1.72 ~ 5.54 mm,未破裂组动脉瘤瘤体直径为 2.03 ~ 4.61 mm,瘤颈直径为 2.15 ~ 5.16 mm,2 组动脉瘤瘤体直径、瘤颈直径以及瘤体 - 瘤颈比比较,差异无统计学意义($P>0.05$),见表 1。2 组患者动脉瘤大小、瘤颈指向及出现胚胎型大脑后动脉和床突上段颈内动脉钙化情况比较,差异无统计学意义($P>0.05$),见表 2。

表 1 患者动脉瘤瘤体及瘤颈直径比较($\bar{x} \pm s$)

组别	n	瘤体直径(mm)	瘤颈直径(mm)	瘤体 - 瘤颈比
破裂组	46	4.42 ± 2.97	3.45 ± 1.05	1.37 ± 0.94
未破裂组	5	3.28 ± 1.09	3.26 ± 1.21	1.04 ± 0.27
P		0.871	0.405	0.180

表 2 动脉瘤形态学特点及解剖变异(个)

特征		破裂组(n=46)	未破裂组(n=5)	合计	χ^2	P
动脉瘤大小	微小(<2.5 mm)	8	1	9	0.495	0.920
	小(2.5 ~ 5 mm)	21	3	24		
	中(5 ~ 15 mm)	13	1	14		
	大(15 ~ 25 mm)	4	0	4		
	巨大(>25 mm)	0	0	0		
动脉瘤瘤顶指向	后下外侧	32	2	34	2.572	0.276
	后下内侧	12	3	15		
	梭形	2	0	2		
胚胎型大脑后动脉		30	2	32	1.227	0.268
床突上段颈内动脉钙化		2	0	2	0.226	0.634

2.2 手术入路

51 个后交通动脉瘤中,10 个(20%)采用标准翼点入路夹闭,41 个(80%)采用小翼点入路夹闭。3 例双侧后交通动脉瘤患者中,1 例采用右侧标准开颅夹闭双侧后交通动脉瘤,2 例采用双侧小翼点开颅分别夹闭。

2.3 术中脑脊液引流方法

在动脉瘤手术过程中,脑脊液引流方式包括开放

视交叉池、开放终板、腰大池置管及侧脑室穿刺(潘氏点)。51 个动脉瘤中 36 个采用术前腰大池置管引流,18 个采用侧脑室穿刺引流,16 个采用开放终板引流,15 个采用开放视交叉池引流,见表 3。

2.4 临时阻断方式

为降低动脉瘤体张力,利于瘤颈游离,避免夹闭过程中瘤体破裂,51 个动脉瘤中 42 个术中采取单纯近端阻断,其中临时阻断 1 次 31 个,多次阻断 11 个。2 个动脉瘤由于术中破裂出血凶猛,行近端和远端同时阻断,以减少出血,保持术野清晰。7 个动脉瘤术中未行临时阻断,其中破裂组动脉瘤 5 个,未破裂组 2 个;破裂组 2 个破裂动脉瘤因床突上段颈内动脉明显钙化无法临时阻断,其余 3 个破裂动脉瘤和 2 个未破裂动脉瘤由于瘤颈分离前已清晰显露,直接瘤颈夹闭。43 个(84%)术中行吲哚菁绿血管造影确认血管通畅及动脉瘤完全夹闭,见表 3。

表 3 重要的操作步骤和技巧[个(%)]

方法	重要操作	破裂组(n=46)	未破裂组(n=5)	合计
脑脊液引流	开放视交叉池	10(22)	5(100)	15(29)
	开放终板	16(35)	0(0)	16(31)
	腰大池置管	36(78)	0(0)	36(71)
	侧脑室穿刺(潘氏点)	18(39)	0(0)	18(35)
临时阻断	未阻断	5(11)	2(40)	7(14)
	近端和远端同时阻断	2(4)	0(0)	2(4)
	单纯近端阻断	39(5)	3(60)	42(82)
夹闭确认	吲哚菁绿血管造影	39(85)	4(80)	43(84)

2.5 动脉瘤夹闭情况

动脉瘤颈完全夹闭 46 个(90%);部分瘤颈残留 3 个(6%),均为载瘤动脉和瘤颈明显钙化,为避免载瘤动脉狭窄,刻意残留部分瘤颈;2 个(4%)梭形动脉瘤无法直接夹闭,采用包裹后夹闭。34 个指向后下外侧的后交通动脉瘤中,27 个(79%)采用直动脉瘤夹夹闭,7 个(21%)采用弯动脉瘤夹夹闭;指向后下内侧的 15 个动脉瘤中,13 个(87%)采用弯动脉瘤夹夹闭,2 个(13%)采用直动脉瘤夹夹闭。初次夹闭后无需再次调整瘤夹 8 个(16%);采用 2 个动脉瘤夹行平行、并联夹闭瘤颈 12 个(24%);瘤颈撕裂、采用棉片辅助夹闭 2 个(4%)。术中动脉瘤破裂出血 18 个(35%),其中未临时阻断时破裂 2 个,游离瘤颈时破裂 4 个,夹闭瘤颈时破裂 3 个,其余 9 个均为瘤夹未完全夹闭瘤颈、游离瘤体时破裂。所有手术中,后交通动脉、穿支、脉络膜前动脉、动眼神经均可清晰识别。

2.6 术后情况

术后出现脉络膜前供血范围 - 内囊后肢梗死 3 例。随访 3 ~ 24 个月,未发现再次出血病例。术后 3 个月随访 GOS 5 分 37 例,4 分 5 例,3 分 2 例,2 分 2 例,1 分2 例。2 例患者死亡,术前 Hunt-Hess 均为 4 级,其中 1 例术后 1 周因严重肺部感染,家属放弃治疗死亡,1 例术后 2 周因大面积脑梗死死亡。

3 讨论

手术夹闭和血管介入是动脉瘤最主要的两种治疗手段,但疗效仍有争议,这也对临床治疗动脉瘤提出了更高的要求和挑战[5-6]。不同患者后交通动脉瘤局部解剖变异不同,因此后交通动脉瘤显微夹闭手术细节各异。但是,安全有效地夹闭后交通动脉瘤的原则不变,即充分释放脑脊液,降低脑组织张力,尽可能减少对脑组织的牵拉,保护血管和神经[7]。

本研究中 90% 的患者为动脉瘤破裂致蛛网膜下腔出血,51 个后交通动脉瘤中 80% 采用小翼点入路。翼点入路的基本核心是前外侧入路,通过尽可能多的磨除蝶骨嵴骨质,最大程度暴露颅底解剖结构,尽量减少对脑组织的牵拉[8]。小翼点入路保留了翼点入路的核心部分,并将切口向前、向上移动,缩小了切口和骨瓣,减少了对头皮肌肉软组织及脑组织的损伤。

对于不同类型脑深部手术,释放脑脊液、降低脑组织张力都至关重要。对于高颅压患者,术中为了松弛脑组织,通过扩大切口及骨瓣来降低脑组织张力效果有限,腰大池置管引流和脑室穿刺引流则更为有效。因此,本研究中 78% 合并蛛网膜下腔出血的患者麻醉完成后均给予腰大池置管引流。如果脑池积血量多,脑池开放后无脑脊液流出时,可通过打开终板释放脑室内脑脊液。但由于显露、打开终板需一定的额叶牵拉力度,所以本研究推荐于潘氏穿刺点(垂直于眶板上、侧裂上各 2.5 cm)垂直皮层方向穿刺侧脑室额角,操作简易有效。同时,术前 CT 观察同侧额窦气化程度也可避免不必要的额窦开放及脑脊液鼻漏。

原则上,后交通动脉瘤手术时,获得瘤颈控制前应避免牵拉颞叶,因为后下外侧指向的动脉瘤常与颞叶软膜粘连,过早牵拉颞叶会增加术中动脉瘤破裂风险。当后交通动脉瘤合并较大颞叶血肿时,一期开颅清除血肿、夹闭动脉瘤是最有效的治疗手段[9-10]。但术中切开颞叶皮层清除血肿时,需注意保留颞叶内侧部分血肿,避免干扰动脉瘤顶。本研究有 4 例合并颞叶血肿患者采用此种方法清除血肿,术中未出现动脉瘤提前破裂。

当后交通动脉瘤瘤体较大、瘤颈较宽或者床突上段颈内动脉长度较短时,前床突会遮挡颈内动脉近端

阻断点、后交通动脉起始处及近端瘤颈,电灼前床突的硬膜,可增加 2 ~3 mm 的暴露空间。本研究有 2 例患者采用此操作帮助显露近端瘤颈,效果良好。如果仍然有遮挡,则需进行前床突磨除。但由于前床突和动脉瘤之间的密切关系,相比硬膜外前床突磨除,更建议采用硬膜下前床突磨除,从而在直视动脉瘤视野下进行个体化磨除[11-13]。

若术前 CTA 显示近端瘤颈与前床突之间距离小于 5 mm、眼动脉段颈内动脉硬化,均提示临时阻断会有困难[14]。此时,可先于颈内动脉 - 视神经间隙准备颈内动脉近端阻断点,再于颈内动脉外侧准备其对应点,完成近端临时阻断准备,此操作需应用纤细的球头剥离子,以减少对周边结构以及动脉瘤的干扰。分开外侧裂时颈内动脉分叉处已显露,由此处沿颈内动脉外侧壁向近端分离,显露脉络前动脉,即可完成颈内动脉远端临时阻断点准备。

后交通动脉瘤合并胚胎型大脑后动脉的比例较高[15-16],本组 48 例患者中合并胚胎型大脑后动脉 32 例。胚胎型大脑后动脉的供血范围均为重要的神经结构,为了避免术后下丘脑、脑干、基底节、颞枕叶缺血,显露及保护后交通动脉至关重要[17]。术中所见后交通动脉起始处常为 1 个拐节点,需于第二间隙探查识别其远端及穿支,部分情况下需移位颈内动脉才能清晰显露。夹闭瘤颈时,动脉瘤夹叶片方向常需向外侧方调整,避免后交通动脉起始处狭窄。动脉瘤颈控制前不建议牵拉,特别是向内侧移位颈内动脉,以防动脉瘤顶撕裂。

识别后交通动脉起始处后,所有直接接触动脉瘤体的探查操作均应在临时阻断近端颈内动脉下完成。临时阻断近端颈内动脉可降低瘤体张力,大大减少探查、夹闭过程中动脉瘤破裂的风险。本研究 48 例患者中 44 例术中采取临时阻断,9 例出现夹闭前或夹闭时破裂,与文献报道水平相当[18]。需同时阻断瘤颈近端及远端颈内动脉的情况较少,只有在发生大量出血难以保持术野清晰时进行。临时阻断近端颈内动脉时,可以将后交通动脉置于 1 个阻断夹内一并阻断,这样既可以阻断通过后交通动脉的返流血液,还可以避免后交通动脉被动脉瘤夹误夹。床突上段颈内动脉硬化、钙化明显,可能会导致临时阻断夹无法闭合、血管内不稳定粥样硬化斑块脱落,增加手术难度及风险,术前需充分准备[19]。临时阻断后,用球头剥离子轻柔分离近端瘤颈与后交通动脉起始处之间、远端瘤颈与脉络膜前动脉起始处之间的夹角,分离宽度以可置入动脉瘤夹叶片为准,不宜过大。应于颈内动脉 - 视神经间隙观察到剥离子的头端,确认深部瘤颈完全分离。

动脉瘤顶的指向对于动脉瘤夹的选择具有指导意义。对于指向后下外侧的动脉瘤,一般选用直动脉瘤夹尝试夹闭;而对于指向后下内侧的动脉瘤,由于深部瘤颈被颈内动脉遮挡,一般挑选有一定弧度的弯动脉瘤夹尝试夹闭,将其叶片沿颈内动脉外侧壁、紧贴后壁、向内侧置入,再于颈内动脉 - 视神经间隙确认夹闭完全,未误夹穿支血管。

动脉瘤颈的 360°探查是夹闭术的金标准。由于颈内动脉床突上段的手术视角限制,后方瘤颈,也就是深部(非近端)瘤颈的暴露、夹闭难度较大,与浅部(非远端)瘤颈相比,需优先处理。游离、减压、翻转瘤体以及移位颈内动脉对深部瘤颈暴露至关重要。游离动脉瘤体时,瘤顶出血处容易再次破裂,若少量出血可用低功率双极电凝瘤体破口止血;出血量大时,首先应临时阻断颈内动脉,调整瘤夹止血,或取临时夹夹闭瘤体破口,识别、分离深部瘤颈及穿支血管后,调整瘤夹将其夹闭。若浅部瘤颈残留,可取 1 枚相同弧度的短夹紧贴、并列夹闭残余瘤颈。对于瘤颈较宽、垂直颈内动脉上夹导致颈内动脉扭曲时,可采用直角开窗跨血管动脉瘤夹,必要时用不同角度瘤夹以不同组合方式平行于载瘤动脉夹闭瘤颈[20]。当颈内动脉、动脉瘤颈均明显钙化时需残留部分瘤颈,以免颈内动脉管腔缩窄导致脑灌注不足,进而引发大面积脑梗死。

术中瘤颈撕裂好发于动脉硬化较重的患者,一旦发生,处理较为棘手,若动脉瘤夹无法直接夹闭破口,一般可取 1 块棉絮压向瘤颈破口,使其停止出血,随后用吸引器将其固定在位,取动脉瘤夹将其与动脉瘤颈一并夹闭[21]。也有研究选取肌肉块代替棉絮支撑、压迫瘤颈破口[22]。

有文献报道,对于小型、囊状、后上内侧指向的后交通动脉瘤,存在对侧入路夹闭的可能性[23-26]。本组有 1 例对侧入路夹闭患者,但对于此类患者的治疗,由于操作空间深、视神经遮挡严重、近端阻断困难大等因素,本研究更推荐双侧开颅夹闭治疗。

综上所述,只要遵循科学合理的规律,采用显微外科技术夹闭后交通动脉瘤安全、有效[26],具有更高的完全闭塞率,是治疗后交通动脉瘤的重要手段。

[参考文献]

[1] Zhang J, Can A, Lai PMR, et al. Age and morphology of posterior communicating artery aneurysms[J]. Sci Rep, 2020, 10(1): 11545. doi: 10.1038/s41598-020-68276-9.

[2] Molyneux AJ, Kerr RS, Yu LM, et al. International Subarachnoid Aneurysm Trial (ISAT) of neurosurgical clipping versus endovascular coiling in 2143 patients with ruptured intracranial aneurysms: a randomised comparison of effects on survival, dependency, seizures, rebleeding, subgroups, and aneurysm occlusion[J]. Lancet, 2005, 366(9488): 809 - 817. doi: 10.1016/s0140 - 6736(05)67214 - 5.

[3] Campi A, Ramzi N, Molyneux AJ, et al. Retreatment of ruptured cerebral aneurysms in patients randomized by coiling or clipping in the International Subarachnoid Aneurysm Trial (ISAT)[J]. Stroke, 2007, 38(5): 1538 - 1544. doi: 10.1161/strokeaha.106.466987.

[4] Spetzler RF, McDougall CG, Zabramski JM, et al. The Barrow Ruptured Aneurysm Trial: 6-year results[J]. J Neurosurg, 2015, 123(3): 609 - 617. doi: 10.3171/2014.9.jns141749.

[5] Liu J, Zhang Y, Li W, et al. Treatment of true posterior communicating artery aneurysms: endovascular experience in a single center[J]. Interv Neuroradiol, 2020, 26(1): 55 - 60. doi: 10.1177/1591019919874603.

[6] Kühn AL, Dabus G, Kan P, et al. Flow-diverter stents for endovascular management of non-fetal posterior communicating artery aneurysms-analysis on aneurysm occlusion, vessel patency, and patient outcome[J]. Interv Neuroradiol, 2018, 24(4): 363 - 374. doi: 10.1177/1591019918759735.

[7] Thiarawat P, Jahromi BR, Kozyrev DA, et al. Microneurosurgical management of posterior communicating artery aneurysm: a contemporary series from Helsinki[J]. World Neurosurg, 2017, 101: 379 - 388. doi: 10.1016/j.wneu.2017.02.033.

[8] Akamatsu Y, Kashimura H, Suzuki T, et al. Impact of the intracranial course of internal carotid artery on optimal surgical approach for posterior communicating artery aneurysms[J]. World Neurosurg, 2019, 127: e142 - e148. doi: 10.1016/j.wneu.2019.03.002.

[9] Hernesniemi J, Niemelä M. Clipping of a ruptured aneurysm with clot removal in one session: still gold standard of treatment[J]. World Neurosurg, 2010, 74(6): 579 - 580. doi: 10.1016/j.wneu.2010.07.013.

[10] Talamonti G, Nichelatti M, Al Mashni AA, et al. Life-threatening cerebral hematoma owing to aneurysm rupture[J]. World Neurosurg, 2016, 85: 215 - 227. doi: 10.1016/j.wneu.2015.08.082.

[11] Matsuo S, Komune N, Tsuchimochi R, et al. The microsurgical relationships between internal carotid-posterior communicating artery aneurysms and the skull base[J]. J Neurol Surg B Skull Base, 2018, 79(5): 427 - 436. doi: 10.1055/s - 0037 - 1615804.

[12] Kamide T, Burkhardt JK, Tabani H, et al. Preoperative prediction of the necessity for anterior clinoidectomy during microsurgical clipping of ruptured posterior communicating artery aneurysms[J]. World Neurosurg, 2018, 109: e493 - e501. doi: 10.1016/j.wneu.2017.10.007.

[13] Romani R, Elsharkawy A, Laakso A, et al. Tailored anterior clinoidectomy through the lateral supraorbital approach: experience with 82 consecutive patients[J]. World Neurosurg, 2012, 77(3 - 4): 512 - 517. doi: 10.1016/j.wneu.2011.07.018.

[14] Niibo T, Takizawa K, Sakurai J, et al. Prediction of the difficulty of proximal vascular control using 3D-CTA for the surgical clipping of internal carotid artery-posterior communicating artery aneurysms[J]. J Neurosurg, 2020: 1 - 8. doi: 10.3171/2020.1.jns192728.

[15] Van Overbeeke JJ, Hillen B, Tulleken CA. A comparative study of the circle of Willis in fetal and adult life. The configuration of the posterior bifurcation of the posterior communicating artery[J]. J Anat, 1991, 176: 45 - 54.

[16] van Raamt AF, Mali WP, van Laar PJ, et al. The fetal variant of the circle of Willis and its influence on the cerebral collateral circulation[J]. Cerebrovasc Dis, 2006, 22(4): 217 - 224. doi: 10.1159/000094007.

[17] Xu Z, Kim BS, Lee KS, et al. Morphological and clinical risk factors for the rupture of posterior communicating artery aneurysms: significance of fetal-type posterior cerebral artery[J]. Neurol Sci, 2019, 40(11): 2377 - 2382. doi: 10.1007/s10072 - 019 - 03991 - 4.

[18] Huhtakangas J, Lehecka M, Lehto H, et al. Riskier-than-expected occlusive treatment of ruptured posterior communicating artery aneurysms: treatment and outcome of 620 consecutive patients[J]. J Neurosurg, 2018, 131(4): 1 - 9. doi: 10.3171/2018.4.jns18145.

[19] Shi L, Yu J, Zhao Y, et al. Clipping treatment of posterior communicating artery aneurysms associated with arteriosclerosis and calcification: a single center study of 136 cases[J]. Exp Ther Med, 2018, 15(2): 1647 - 1653. doi: 10.3892/etm.2017.5525.

[20] Oshida S, Kashimura H, Suzuki T, et al. Straight fenestrated clips in surgical management of internal carotid artery aneurysms: technical note[J]. World Neurosurg, 2018, 116: 230 - 233. doi: 10.1016/j.wneu.2018.05.135.

[21] Barrow DL, Spetzler RF. Cotton-clipping technique to repair intraoperative aneurysm neck tear: a technical note[J]. Neurosurgery, 2011, 68(2 Suppl Operative): 294 - 299. doi: 10.1227/NEU.0b013e31821343c6.

[22] Menovsky T, de Vries J, Grotenhuis JA. Cotton-clipping technique: piece of smashed muscle as an alternative[J]. Neurosurgery, 2011, 69(5): E1183 - E1185. doi: 10.1227/NEU.0b013e31822ed4b4.

[23] Oshiro EM, Rini DA, Tamargo RJ. Contralateral approaches to bilateral cerebral aneurysms: a microsurgical anatomical study[J]. J Neurosurg, 1997, 87(2): 163 - 169. doi: 10.3171/jns.1997.87.2.0163.

[24] McMahon JH, Morgan MK, Dexter MA. The surgical management of contralateral anterior circulation intracranial aneurysms[J]. J Clin Neurosci, 2001, 8(4): 319 - 324. doi: 10.1054/jocn.2000.0820.

[25] Wang J, Xu F. Unilateral supraorbital approach to clip bilateral posterior communicating artery aneurysms: 2-dimensional operative video[J]. World Neurosurg, 2018, 119: 256. doi: 10.1016/j.wneu.2018.08.020.

[26] Sturiale CL, Marchese E, Puca A, et al. Surgical treatment of posterior communicating artery aneurysms: hints and precautions for young cerebrovascular surgeons[J]. J Neurol Surg A Cent Eur Neurosurg, 2019, 80(3): 205 - 212. doi: 10.1055/s - 0039 - 1683397.

(编辑:魏 源)