doi:10.11659/jjssx.03E021038

·临床研究·

HR-MR 血管壁成像在镜像动脉瘤破裂患者中判断责任动脉瘤的价值

郭腾云[1],王冠宇[1],郭广阔[2],王舒楠[2],陈立朝[1] (1.陆军军医大学大坪医院神经外科,重庆 400016;2.陆军军医大学大坪医院放射科,重庆 400016)

[摘 要] **目的** 探讨高分辨磁共振(HR-MR)血管壁成像在镜像动脉瘤破裂出血患者中判断责任动脉瘤的可行性。**方法** 回顾性分析21例自发性蛛网膜下腔出血的镜像动脉瘤患者临床资料,并对术前通过HR-MR血管壁成像判断责任动脉瘤的结果与术中确认的责任动脉瘤结果进行一致性对比,计算通过HR-MR血管壁成像判断动脉瘤破裂的灵敏度、特异度和通过双侧动脉瘤瘤壁强化差异判断责任动脉瘤的准确率和失效率。**结果** 21例镜像动脉瘤患者共检出42个动脉瘤。HR-MR血管壁成像时出现瘤壁强化的动脉瘤22个,其中破裂动脉瘤20个,未破裂动脉瘤2个。HR-MR血管壁成像时未出现瘤壁强化的动脉瘤共有20个,其中破裂动脉瘤1个,未破裂动脉瘤19个。通过HR-MR血管壁成像时动脉瘤壁出现强化判断动脉瘤破裂的灵敏度为95.2%,特异度为90.5%。显微外科手术中共确认责任动脉瘤21个,其中术前通过HR-MR血管壁成像时双侧瘤壁的强化差异判定为责任动脉瘤的有20个,无法通过HR-MR血管壁成像判断责任动脉瘤的有1个。通过HR-MR血管壁成像时双侧动脉瘤瘤壁的强化差异判断责任动脉瘤的准确率为95.2%,失效率为4.8%。**结论** 在颅内镜像动脉瘤所致的蛛网膜下腔出血患者中,HR-MR血管壁成像对责任动脉瘤的判断有较高的准确率。

[关键词] 高分辨磁共振;颅内镜像动脉瘤;责任动脉瘤;显微外科治疗

[中图分类号] R604 [文献标识码] A [收稿日期] 2021-03-11

[基金项目] 十三五国家重点研发计划资助(2016YFC1300700);重庆市科学技术局与卫生健康委员会联合医学科研项目(2018ZDXM032)

[通信作者] 陈立朝,E-mail:chenlizhao1971@163.com

[10] 张 玉.椎管内麻醉联合闭孔神经阻滞麻醉在肌层浸润性膀胱癌患者中的应用[J].实用中西医结合临床,2020,20(4):55-56.doi:10.13638/j.issn.1671-4040.2020.04.027

[11] Nguyen TT,Huillard O,Dabi Y,et al.Neoadjuvant chemotherapy in patients with muscle-invasive bladder cancer and its impact on surgical morbidity and oncological outcomes:a real-world experience[J].Front Surg,2018,5:58.doi:10.3389/fsurg.2018.00058.

[12] 廖 海,冯浩泽,杜 勇,等.膀胱肿瘤整块切除术治疗非肌层浸润性膀胱癌的安全性和有效性的Meta分析[J].临床泌尿外科杂志,2020,35(6):439-444.doi:10.13201/j.issn.1001-1420.2020.06.005.

[13] Kees H,Atiqullah A,Perrine B,et al.Discrepancy between European association of urology guidelines and daily practice in the management of non-muscle-invasive bladder cancer:results of a European survey[J].Eur Urol Focus,2019,5(4):681-688.doi:10.1016/j.euf.2017.09.002.

[14] 郭长刚,包国昌,高志明,等.2μm激光整块切除与电切治疗非肌层浸润性膀胱癌的临床分析[J].现代肿瘤医学,2020,28(13):2283-2286.doi:10.3969/j.issn.1672-4992.2020.13.022.

[15] Stringfield SB,Ramamoorthy SL.Proctectomy for rectal cancer-what is the data for open,laparoscopy and robotics?[J].Semin Colon Rectal Surg,2019,30(2):120.doi:10.1053/j.scrs.2019.04.006.

[16] 李亚伟,程 浪,黄后宝.经尿道膀胱肿瘤海博刀整块切除与经尿道膀胱肿瘤电切治疗非肌层浸润性膀胱癌的疗效及安全性对比分析[J].现代泌尿生殖肿瘤杂志,2019,11(4):209-215.doi:10.3870/j.issn.1674-4624.2019.04.005.

[17] 熊 军,舒方国.经尿道内镜黏膜下剥离术与经尿道膀胱肿瘤电切术治疗非肌层浸润性膀胱癌的效果比较[J].中国肿瘤临床与康复,2020,27(5):599-602.doi:10.13455/j.cnki.cjcor.2020.05.24.

[18] 朱景振,刘 骞,梁佳佳,等.超声检查对膀胱癌的诊断价值Meta分析[J].现代泌尿生殖肿瘤杂志,2017,9(1):21-25.doi:10.3870/j.issn.1674-4624.2017.01.006.

[19] Li C,Gao L,Zhang J,et al.The effect of holmium laser resection versus standard transurethral resection on non-muscle-invasive bladder cancer:a systematic review and meta-analysis[J] Lasers Med Sci,2020,35(5):1025-1034.doi:10.1007/s10103-020-02972-w.

[20] 汪 鑫,齐进春,孟庆松,等.人工黏膜下水肿在经尿道膀胱肿瘤电切术中的应用[J].河北医科大学学报,2019,40(8):895-897.doi:10.3969/j.issn.1007-3205.2019.08.007.

[21] 中国康复医学会脊柱脊髓专业委员会脊柱外科神经电生理学组.规范化脊柱外科术中神经电生理监测技术的专家共识[J].中国脊柱脊髓杂志,2019,29(10):944-954.doi:10.3969/j.issn.1004-406X-2019.10.13.

(编辑:刘 艺)

Value of HR-MR vascular wall imaging in determining responsible aneurysm of patients with ruptured mirror aneurysm

GUO Teng-yun[1], WANG Guan-yu[1], GUO Guang-kuo[2], WANG Shu-nan[2], CHEN Li-zhao[1] (1. Department of Neurosurgery, Daping Hospital Affiliated to Army Medical University, Chongqing 400016, China; 2. Department of Radiology, Daping Hospital Affiliated to Army Medical University, Chongqing 400016, China)

Abstract: Objective To explore the feasibility of judging the responsible aneurysm through high resolution magnetic resonance (HR-MR) vascular wall imaging in the patients with ruptured mirror aneurysm. **Methods** The clinical data of 21 patients of mirror aneurysm with spontaneous subarachnoid hemorrhage were retrospectively analyzed. The results of preoperative judgement of responsible aneurysm by HR-MR vascular wall imaging were compared with those confirmed intraoperatively, and the sensitivity and specificity of the judgement of responsible aneurysms by HR-MR vascular wall imaging were calculated. The accuracy and failure rate of responsible aneurysm determined by the difference of bilateral aneurysm wall enhancement were calculated as well. **Results** A total of 42 aneurysms were detected in the 21 patients with mirror aneurysms. There were 22 aneurysms with wall enhancement during HR-MR vascular wall imaging, including 20 ruptured aneurysms and 2 unruptured aneurysms. There were 20 aneurysms without wall enhancement during HR-MR vascular wall imaging, including 1 ruptured aneurysm and 19 unruptured aneurysms. The sensitivity and specificity of the judgement of responsible aneurysms by wall enhancement during the HR-MR vascular wall imaging were 95.2% and 90.5%, respectively. A total of 21 aneurysms were confirmed by microsurgery, among which 20 aneurysms were identified as responsible aneurysms by differences of bilateral aneurysm wall enhancement in the preoperative HR-MR vascular wall imaging, and 1 aneurysm could not be identified by HR-MR vascular wall imaging. The accuracy of responsible aneurysm determined by the difference of bilateral aneurysm wall enhancement during the HR-MR vascular wall imaging was 95.2%, and the failure rate was 4.8%. **Conclusion** In patients with subarachnoid hemorrhage caused by intracranial mirror aneurysms, HR-MR vascular wall imaging has a high accuracy in the diagnosis of responsible aneurysms.

Keywords: high resolution magnetic resonance; intracranial mirror aneurysms; responsible aneurysm; microsurgical treatment

颅内多发动脉瘤占颅内动脉瘤的15%～34%，颅内镜像动脉瘤是多发动脉瘤的一种亚型，约占颅内多发动脉瘤的38%，特指位于双侧同名载瘤动脉上相同位置的动脉瘤[1-3]。颅内镜像动脉瘤患者常因自发性蛛网膜下腔出血入院完善颅脑CTA检查时发现，病情严重，情况危急。但受限于双侧病变距离较远、病变之间重要组织结构遮挡及术中患者体位转换困难等因素，显微外科治疗时同期夹闭双侧动脉瘤的可能性较小，因此，颅内镜像动脉瘤的显微外科治疗策略是首先处理导致此次蛛网膜下腔出血的责任动脉瘤。鉴于该治疗原则，准确判断责任动脉瘤尤为重要[4-5]。目前对责任动脉瘤的判断主要依据神经功能受损后的症状及体征、头颅CT检查[6]、动脉瘤形态学特征[7-10]、血流动力学参数等[11-13]。但依据经验判断责任动脉瘤，可能导致结果相互矛盾或判断结果与术中实际情况不符，给患者的治疗带来困难。

与目前常用的无创血管成像方法CTA和磁共振血管成像(magnetic resonance angiography, MRA)相比，高分辨磁共振(high resolution magnetic resonance, HR-MR)血管壁成像能更清晰地显示血管壁的构成，分析判断管壁的稳定性，近年来被广泛应用于各种缺血性血管病变的检查中[14]。但既往关于HR-MR血管壁成像的研究多局限于其在缺血性脑血管病中的应用，而颅内动脉瘤属于出血性脑血管病，近年来尚无HR-MR血管壁成像应用于镜像动脉瘤的相关研究，且HR-MR血管壁成像应用于颅内常规动脉瘤的研究也相对较少。本研究拟探讨使用HR-MR血管壁成像判断责任动脉瘤的可行性，以期提高镜像动脉瘤破裂患者责任动脉瘤判断的准确性，从而降低既往因经验性判断失误给患者带来的风险及经济负担。

1 资料与方法

1.1 临床资料

回顾性分析2019年2月至2021年2月陆军军医大学大坪医院神经外科收治的23例患有颅内镜像动脉瘤并行显微外科治疗的患者临床资料。纳入标准：①颅脑CTA或脑血管造影证实为镜像动脉瘤，且术前行HR-MR血管壁成像检查；②首次治疗，且手术方式为显微外科治疗。排除标准：①非蛛网膜下腔出血的镜像动脉瘤；②动脉瘤位于双侧同名载瘤动脉的相同位置，但动脉瘤性质不同；③显微外科术中无法判断责任动脉瘤；④除镜像动脉瘤外，还存在其他部位动脉瘤；⑤任意一侧动脉瘤最大径小于2 mm；⑥存在颅内夹层动脉瘤、创伤性动脉瘤、假性动脉瘤。依据纳入和

排除标准筛选出21例自发性蛛网膜下腔出血的患者，共计42个动脉瘤(21个破裂动脉瘤,21个未破裂动脉瘤)，其中男8例，女13例，年龄59～78岁，平均(62.5±4.3)岁；Hunt-Hess分级1～3级21例；改良Fisher分级1～2级19例,3～4级2例；颅脑CTA或脑血管造影示动脉瘤位置：颈内动脉后交通段镜像动脉瘤11对,大脑中动脉分叉部镜像动脉瘤7对,颈内动脉眼段镜像动脉瘤3对。

1.2 HR-MR检查方法

所有患者的磁共振扫描资料均采集自德国西门子公司的MAGNETOM Verio 3.0T磁共振扫描仪(头部32通道线圈)，增强扫描的方式为静脉注射Gd-DTPA，按每千克体质量0.2 mL设定总注射剂量，注射速度为3.0 mL/s，增强前后扫描参数一致。依据患者术前头颈部CTA影像对镜像动脉瘤部位进行初步判断，磁共振扫描时先行常规时间飞跃法血管成像，对双侧动脉瘤进行精确定位，扫描重复时间为21 ms，回波时间为3.6 ms，扫描层厚为0.6 mm，扫描野200 mm×200 mm。本研究中所有患者均采用三维可变反转角快速自旋回波T1加权成像，扫描重复时间为700 ms，回波时间为11 ms，层厚为0.8 mm，扫描野215 mm×215 mm。

1.3 观察指标

了解镜像动脉瘤患者的病史及发病后首次头颅CT中血液分布的位置，观察颅脑CTA或脑血管造影结果中动脉瘤的位置、大小、形态。HR-MR血管壁成像下寻找双侧动脉瘤所在的层面，并观察瘤壁是否出现强化，计算瘤壁的强化范围。显微外科术中观察此次处理的动脉瘤本身及周围组织情况：①动脉瘤顶部是否有血栓帽形成，或瘤周的蛛网膜下腔是否有积血；②动脉瘤周围的局部脑组织是否出现黄染；③显微镜下是否能观察到肉眼可见的动脉瘤破口。

1.4 判定方法

HR-MR血管壁成像结果判定此次蛛网膜下腔出血的责任动脉瘤采取两侧对比的形式：①仅单侧动脉瘤瘤壁有强化，判定强化侧动脉瘤为责任动脉瘤；②双侧动脉瘤瘤壁均有强化，计算强化范围，判定强化范围大的动脉瘤为责任动脉瘤；③双侧动脉瘤瘤壁均有强化，但双侧强化范围差别不大时，表示HR-MR血管壁成像判定失效；④双侧动脉瘤瘤壁均未见强化时，也表示判定失效。HR-MR增强前后图像结果由3名经验丰富的放射科医生及2名高年资神经外科医生进行双盲分析，评价结果不一致时协商解决。

由参与手术的2名高年资神经外科医师依据破裂动脉瘤的镜下表现来判断此次治疗的动脉瘤是否为责任动脉瘤。若术中判断困难，则综合病史，头颅CT中血液分布的位置，各个动脉瘤的形态、大小等因素进行判断[15]，结果再经3名以上神经外科高年资医师讨论后决定。

以显微外科术中判断的责任动脉瘤作为金标准，判断HR-MR血管壁成像判定出的责任动脉瘤与显微外科术中确认的责任动脉瘤是否一致，计算HR-MR血管壁成像判断责任动脉瘤的准确率和失效率。统计出HR-MR血管壁成像时瘤壁出现强化的动脉瘤中破裂动脉瘤的数量，进而计算出通过HR-MR血管壁成像时动脉瘤壁强化判断动脉瘤破裂状态的灵敏度与特异度[灵敏度=真阳性例数/(真阳性例数+假阴性例数)×100%；特异度=真阳性例数/(真阴性例数+假阳性例数)×100%]。

2 结果

2.1 动脉瘤破裂判定结果

21例镜像动脉瘤患者经颅脑CTA或脑血管造影共检出42个(21对)动脉瘤。HR-MR血管壁成像时出现瘤壁强化的共有22个，其中破裂动脉瘤20个，未破裂动脉瘤2个，动脉瘤破裂率为90.9%；未出现瘤壁强化的共有20个，其中破裂动脉瘤1个，未破裂动脉瘤19个，动脉瘤破裂率为5.0%。通过HR-MR血管壁成像时动脉瘤壁出现强化判断动脉瘤破裂的灵敏度为95.2%，特异度为90.5%。

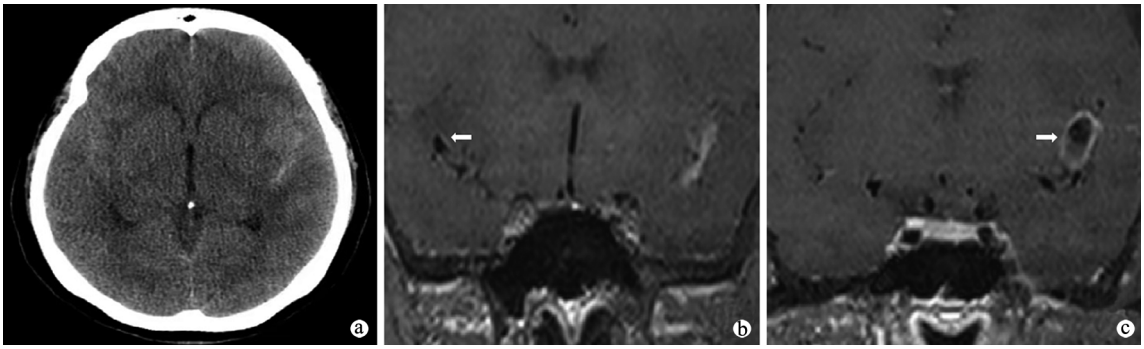
2.2 责任动脉瘤判定结果

21例镜像动脉瘤患者中一侧动脉瘤瘤壁强化而另一侧非强化的患者18例，判定强化侧的18个动脉瘤为责任动脉瘤；双侧动脉瘤瘤壁均有强化的患者2例，判定强化范围大的一侧动脉瘤为责任动脉瘤，强化范围相对较小的2个动脉瘤分别为分叶状动脉瘤和瘤囊上发出子囊的动脉瘤；1例镜像动脉瘤患者的双侧动脉瘤瘤壁均未见明显强化，判定失效。显微外科治疗术中依据经验判定的责任动脉瘤20例，其中通过显微外科术中观察到动脉瘤破口确认责任动脉瘤2例，通过动脉瘤周围发现血凝块或瘤周脑组织出现黄染确认责任动脉瘤18例；另1例患者因出血量较少，病史稍久，术中难以判断，术者结合详细病例资料进行综合分析并经专家讨论后确认出责任动脉瘤。回顾术前分析发现，通过HR-MR血管壁成像辅助下对比动脉瘤瘤壁强化差异判定的20个责任动脉瘤，均证

实与显微外科术中确认的责任动脉瘤一致。因此，HR-MR 血管壁成像辅助下动脉瘤瘤壁强化差异判定的责任动脉瘤的准确率为95.2%，失效率4.8%。

2.3 典型病例

患者，女，53 岁，因“突发头痛 10 d”入院，入院查体 Hunt-Hess 分级为 2 级，改良 Fisher 分级为 2 级，意识嗜睡，双侧瞳孔等大等圆，瞳孔直径 3 mm，对光反射灵敏，四肢可遵嘱活动，生理反射存在，病理反射未引出。颅脑 CTA 提示大脑中动脉分叉处镜像动脉瘤破裂伴蛛网膜下腔出血。患者发病后未及时就医，头颅 CT 可见蛛网膜下腔血液已有所消散，双侧外侧裂均可见条带状高密度影，无明显差异；遂完善 HR-MR 血管壁成像，见左侧大脑中动脉分叉处动脉瘤强化明显，右侧大脑中动脉分叉处动脉瘤未见强化（图 1）。遂急诊于全身麻醉下行经左侧翼点入路左侧大脑中动脉分叉处动脉瘤夹闭术，术中证实此次蛛网膜下腔出血的责任动脉瘤为左侧大脑中动脉分叉处动脉瘤，手术顺利，术后患者未遗留神经功能缺损，完全康复出院。



a：头颅 CT 平扫；b：HR-MR 血管壁成像增强序列（箭头示右侧大脑中动脉分叉处动脉瘤瘤壁未见强化）；c：HR-MR 血管壁成像增强序列（箭头示左侧大脑中动脉分叉处动脉瘤瘤壁见环形强化）

图 1 大脑中动脉镜像动脉瘤患者影像资料

3 讨论

对于镜像动脉瘤破裂导致蛛网膜下腔出血的患者，需准确判断并首先治疗导致此次出血的责任动脉瘤，目前主要依据如下经验进行责任动脉瘤的判断：①依据神经功能受损后的症状、体征进行责任动脉瘤的定位判断；②依据头颅 CT 检查判断，头颅 CT 扫描时责任动脉瘤侧蛛网膜下腔血液的聚集量可能相对更多[6]；③依据形态学判断，责任动脉瘤相比对侧动脉瘤体积更大，形态更不规则，拥有更大的高颈比或瘤顶发出子囊[3,7-10]；④依据血流动力学参数判断，责任动脉瘤可能有局部壁面切应力更低，切应力震荡指数更高，冲击域更加局限等血流动力学特点[11-13]。本研究拟探讨一种判断镜像动脉瘤破裂患者中责任动脉瘤的新方法，以提高判断责任动脉瘤的准确性，降低误判率。

本研究中 21 例镜像动脉瘤患者的 42 个动脉瘤中，瘤壁强化的动脉瘤破裂率为 91%，瘤壁未强化的动脉瘤破裂率为 5%。Hu 等[16] 回顾性分析了行 HR-MR血管壁成像检查的 30 个动脉瘤资料（破裂动脉瘤 6 个，未破裂动脉瘤 24 个），结果显示 6 个破裂的动脉瘤均出现了瘤壁强化，24 个未破裂动脉瘤中 8 个出现了瘤壁强化。Nagahata 等[17] 对 144 个动脉瘤进行研究，其中破裂动脉瘤 61 个，未破裂动脉瘤 83 个，均行HR-MR血管壁成像检查，其中高达 98.4% 的破裂动脉瘤出现瘤壁强化，而未破裂动脉瘤中仅有 18.1% 出现瘤壁强化。Edjlali 等[18] 的研究显示，17 个破裂动脉瘤中有 16 个出现瘤壁强化。HR-MR 血管成像时动脉瘤壁出现强化与动脉管壁的结构密不可分，颅内动脉由内膜、中膜和外膜组成。内膜由两层结构组成，一层是血管内皮细胞，另一层是具有一定机械强度的内皮下结缔组织形成的内弹性膜；中膜主要由平滑肌细胞组成；外膜由疏松结缔组织构成，与颅外动脉相比，中膜与外膜之间缺少外弹性膜。颅内动脉瘤的产生、进展、破裂与炎症反应介导的动脉结构改变密不可分，未破裂的动脉瘤往往有相对完整的内皮和平滑肌细胞层，动脉瘤壁中很少有巨噬细胞和其他炎症细胞，而破裂的动脉瘤通常会出现内皮撕裂、巨噬细胞和淋巴细胞侵入动脉瘤壁[19-20]。炎症反应的发生、动脉结构的破坏、血管内皮的屏障效果下降等因素导致对比剂能够进入血管壁，在影像学上可表现为 HR-MR 血管壁成像时动脉瘤瘤壁的强化。以上研究结果说明，HR-MR血管壁成像时动脉瘤瘤壁出现强化与动脉瘤破裂具有密切的相关性。本研究显示，通过 HR-MR 血管壁成像时双侧动脉瘤瘤壁的强化差异判断责任动脉瘤的准确率为95.2%，失效率为4.8%，提示HR-MR 血管壁成像对责任动脉瘤的判断有较高的准确率，有

助于显微外科手术治疗方案的制定。

吕楠等[21]在动脉瘤形态对 HR-MR 血管壁成像瘤壁强化的影响因素研究中将动脉瘤分为强化组 34 个和非强化组 52 个,强化组中不规则形态动脉瘤 19 个,非强化组中不规则形态动脉瘤 9 个。本研究中有 2 个未破裂动脉瘤出现了瘤壁强化,通过颅脑 CTA 阅片可见其中 1 个在形态学上属于分叶状不规则形态动脉瘤,另 1 个动脉瘤瘤囊上发出小的子囊,从形态学上判断,此 2 个动脉瘤破裂风险较高;其余 19 个未破裂动脉瘤均属于囊状规则形态动脉瘤。本研究结果进一步证实了吕楠等[21]的结论,即不规则形态是 HR-MR 血管壁成像时动脉瘤瘤壁出现异常强化的独立危险因素。

综上所述,本研究认为在颅内镜像动脉瘤破裂所致的蛛网膜下腔出血病例中,HR-MR 血管壁成像时动脉瘤瘤壁的强化状态对责任动脉瘤的判断具有一定的价值。但本研究尚存在一些局限性:①本研究属于单中心回顾性研究,样本量较小且可能存在病例选择偏倚;②对动脉瘤瘤壁强化范围的测量缺少量化;③缺少对镜像动脉瘤患者术后长期的影像学随访资料。

[参考文献]

[1] 余国清,汪 峰,王小强,等. 大脑中动脉镜像动脉瘤手术治疗及预后的临床研究进展[J]. 中国脑血管病杂志,2019,16(10):545 - 551. doi:10.3969/j.issn.1672 - 5921.2019.10.008.

[2] Wang R,Zhang D,Zhao J,et al. A comparative study of 43 patients with mirror-like intracranial aneurysms:risk factors,treatment,and prognosis[J]. Neuropsychiatr Dis Treat,2014,10:2231 - 2237. doi:10.2147/ndt.S70515.

[3] Huang ZQ,Zhou XW,Hou ZJ,et al. Risk factors analysis of mirror aneurysms:a multi-center retrospective study based on clinical and demographic profile of patients[J]. Eur J Radiol,2017,96:80 - 84. doi:10.1016/j.ejrad.2017.09.015.

[4] 孙正辉,武 琛,王芙昱,等. 颅内镜像动脉瘤的外科治疗[J]. 中华外科杂志,2013,51(10):912 - 915. doi:10.3760/cma.j.issn.0529 - 5815.2013.10.012.

[5] 王洪生,赵佩林,杨昭伟,等. 颅内镜像动脉瘤 17 例临床分析[J]. 中华神经医学杂志,2011,10(3):289 - 292. doi:10.3760/cma.j.issn.1671 - 8925.2011.03.018.

[6] 廖黎庆,陈如东,杨洪宽,等. 蛛网膜下腔出血的积血部位与颅内动脉瘤的位置关系[J]. 中华神经外科杂志,2019,35(6):577 - 580. doi:10.3760/cma.j.issn.1001 - 2346.2019.06.008.

[7] Xu L,Wang H,Chen Y,et al. Morphological and hemodynamic factors associated with ruptured middle cerebral artery mirror aneurysms:a retrospective study[J]. World Neurosurg,2020,137:e138 - e143. doi:10.1016/j.wneu.2020.01.083.

[8] Neyazi B,Swiatek V,Skalej M,et al. Rupture risk assessment for multiple intracranial aneurysms:why there is no need for dozens of clinical,morphological and hemodynamic parameters[J]. Ther Adv Neurol Disord,2020,13:1756286420966159. doi:10.1177/1756286420966159.

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

[10] 李剑秋,陈 莉,姚开情,等. 颅内动脉瘤形态学特征及破裂风险 CTA 评估[J]. 第三军医大学学报,2012,34(15):1552 - 1555.

[11] Doddasomayajula R,Chung BJ,Mut F,et al. Hemodynamic characteristics of ruptured and unruptured multiple aneurysms at mirror and ipsilateral locations[J]. AJNR Am J Neuroradiol,2017,38(12):2301 - 2307. doi:10.3174/ajnr.A5397.

[12] Mo X,Meng Q,Yang X,et al. The impact of inflow angle on aneurysm hemodynamics:a simulation study based on patient-specific intracranial aneurysm models[J]. Front Neurol,2020,11:534096. doi:10.3389/fneur.2020.534096.

[13] 吴 俊,刘清源,王诺川,等. 颅内动脉瘤形态学和血流动力学特点对夹闭术中动脉瘤破裂的预测作用[J]. 中华神经外科杂志,2019,35(3):288 - 292. doi:10.3760/cma.j.issn.1001 - 2346.2019.03.012.

[14] 朱梦颖,李 澄,陈雅筝,等. 高分辨率磁共振血管壁成像在评估颅内动脉瘤稳定性中的研究进展[J]. 磁共振成像,2018,9(8):631 - 636. doi:10.12015/issn.1674 - 8034.2018.08.014.

[15] 邓世强,贺 杰,孙思辉,等. 颅内多发动脉瘤的外科手术治疗研究[J]. 临床神经外科杂志,2020,17(5):486 - 489. doi:10.3969/j.issn.1672 - 7770.2020.05.002.

[16] Hu P,Yang Q,Wang DD,et al. Wall enhancement on high-resolution magnetic resonance imaging may predict an unsteady state of an intracranial saccular aneurysm[J]. Neuroradiology,2016,58(10):979 - 985. doi:10.1007/s00234 - 016 - 1729 - 3.

[17] Nagahata S,Nagahata M,Obara M,et al. Wall enhancement of the intracranial aneurysms revealed by magnetic resonance vessel wall imaging using three-dimensional turbo spin-echo sequence with motion-sensitized driven-equilibrium:a sign of ruptured aneurysm?[J]. Clin Neuroradiol,2016,26(3):277 - 283. doi:10.1007/s00062 - 014 - 0353 - z.

[18] Edjlali M,Gentric JC,Régent-rodriguez C,et al. Does aneurysmal wall enhancement on vessel wall MRI help to distinguish stable from unstable intracranial aneurysms?[J]. Stroke,2014,45(12):3704 - 3706. doi:10.1161/strokeaha.114.006626.

[19] Omodaka S,Endo H,Niizuma K,et al. Circumferential wall enhancement on magnetic resonance imaging is useful to identify rupture site in patients with multiple cerebral aneurysms[J]. Neurosurgery,2018,82(5):638 - 644. doi:10.1093/neuros/nyx267.

[20] Chalouhi N,Hoh BL,Hasan D. Review of cerebral aneurysm formation,growth,and rupture[J]. Stroke,2013,44(12):3613 - 3622. doi:10.1161/strokeaha.113.002390.

[21] 吕 楠,陈士跃,王馨蕊,等. 颅内未破裂动脉瘤形态学对高分辨率 MR 管壁成像瘤壁强化的影响因素分析[J]. 中国脑血管病杂志,2018,15(1):10 - 15. doi:10.3969/j.issn.1672 - 5921.2018.01.003.

(编辑:魏 源)