

· 综 述 ·

# 形态学因素在颅内动脉瘤破裂风险评估中的研究进展

王炳昊 苏忠周 综述 王 智 审校

【关键词】 颅内动脉瘤;破裂风险;风险评估;形态学因素

【文章编号】 1009-153X(2022)03-0218-03

【文献标志码】 A

【中国图书资料分类号】 R 743.9

蛛网膜下腔出血(subarachnoid hemerrhage, SAH)是病死率和致残率均较高的脑血管疾病,主要原因为颅内动脉瘤破裂。一般人群颅内动脉瘤的检出率在2%~5%,仅0.7%~1.9%的病例最终破裂造成SAH<sup>[1]</sup>。发现颅内未破裂动脉瘤时,当务之急是行破裂风险评估,处理破裂风险较高的动脉瘤。MRA、CTA、DSA等技术可获得颅内动脉瘤的形态学指标,而形态学因素在颅内动脉瘤破裂风险因素中具有重要地位。本文就形态学因素在颅内动脉瘤破裂风险评估中的研究现状及进展进行综述。

## 1 二维形态学参数与破裂风险的关系

二维形态学参数指能直接获取、无需三维重建的指标,包括动脉瘤的大小、位置、纵横比(aspect ratio, AR)、大小比(size ratio, SR)、流入角度等。

1.1 动脉瘤大小 研究认为颅内动脉瘤的破裂风险随动脉瘤的增大而增加<sup>[2,3]</sup>。但也有研究发现当动脉瘤直径>15 mm时,破裂风险反而降低<sup>[4]</sup>。这些文献报道的差异表明动脉瘤大小与破裂风险的具体关系尚有争议。其分歧也可能与人种、生活方式、地理气候条件等不同有关,仍需进一步研究。

1.2 动脉瘤位置 动脉瘤位置是引起动脉瘤破裂的独立预测因素<sup>[5]</sup>。研究认为前交通动脉动脉瘤有更高的破裂出血倾向,而颈内动脉硬膜外段或眼动脉段动脉瘤出血概率则比较低<sup>[4]</sup>。也有学者认为血管分叉部更易形成动脉瘤,而且此处血流动力学的变化使动脉瘤更易破裂<sup>[6,7]</sup>。

1.3 AR与SR AR即图1中Hp/A。研究显示AR值增

高与动脉瘤破裂有关,但多因素logistic回归分析结果却不尽相同<sup>[4,8]</sup>。SR值为图1中的Hmax/C,与颅内动脉瘤的破裂风险呈正相关<sup>[9,10]</sup>。

1.4 流入角度 侧壁型颅内动脉瘤血管角度即 $\beta$ ,颅内动脉瘤倾斜角即 $\alpha$ ,流入角度为 $\alpha$ 和 $\beta$ 相加所得,表示载瘤动脉与动脉瘤最大高度的夹角(图1)。研究认为流入角度是颅内动脉瘤破裂的强影响因子,且随着流入角度的增大,当其无限靠近180°时,通过动脉瘤内的血流更易到达顶部,速度更快,壁面压力和壁面切应力增加,破裂风险也随之增大<sup>[10,11]</sup>。

## 2 三维形态学参数与破裂风险的关系

颅内动脉瘤的三维形态学参数需要三维重建后测量(图2),包括形状(椭圆指数、非球形指数、波动指数)、体积与瘤颈面积之比(volume-to-neck ratio, VNR)。

2.1 动脉瘤形状 颅内动脉瘤的形状分为球形和非球形,其中非球形又可分为椭圆形、长形、多叶形、不规则形等。Lauric等<sup>[12]</sup>借助形态模型对动脉瘤进行分析,认为椭圆度指数、波动指数、非球形指数是影响动脉瘤破裂的重要三维参数。Rooij等<sup>[13]</sup>研究发现非球形(包括椭圆形及多叶形)与动脉瘤破裂有关。Rohde等<sup>[14]</sup>对颅内动脉瘤的形态进行傅立叶分析显示78%的颅内破裂动脉瘤和42%的颅内未破裂动脉瘤的表面不规则性具有明显差异。这提示动脉瘤破裂同动脉瘤的形状关系密切,拥有非球形、不规则,特别是多叶形的特质意味着更高的破裂出血倾向。

2.2 VNR VNR和AR都跟动脉瘤的破裂状态有关,两者之间无明显差异,但呈线性相关。与AR相比,VNR不易受动脉瘤形状的影响,因此无论动脉瘤形状如何,VNR的判断则更加准确<sup>[15]</sup>。

## 3 四维形态学参数与破裂风险的关系

颅内动脉瘤的四维形态学参数是在三维参数基

doi:10.13798/j.issn.1009-153X.2022.03.022

作者单位:313003 浙江,湖州市中心医院神经外科(王炳昊、苏忠周);150000 哈尔滨,哈尔滨医科大学附属第四医院微创神经外科(王 智)

通讯作者:王 智,E-mail:wangzhi@ems.hrbmu.edu.cn

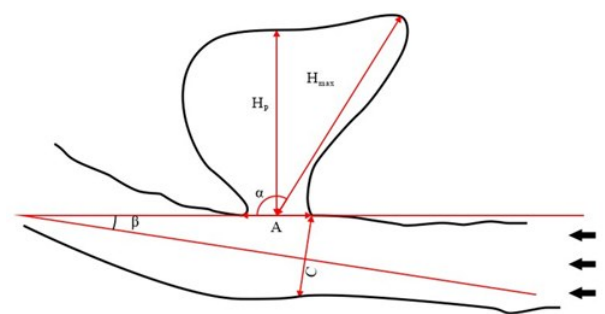


图1 颅内动脉瘤二维形态学参数示意图  
A. 瘤颈宽度,瘤颈两边缘的距离;Hp. 动脉瘤垂直高度,瘤顶到瘤颈平面的垂直距离;Hmax. 动脉瘤最大高度,动脉瘤瘤囊到瘤颈平面的距离;C. 载瘤动脉直径,垂直于血流方向; $\alpha$ . 倾斜角,动脉瘤最大高度与瘤颈平面夹角; $\beta$ . 血管角度:血流方向与瘤颈平面夹角;AR.  $H_p/A$ ;SR.  $H_{max}/C$

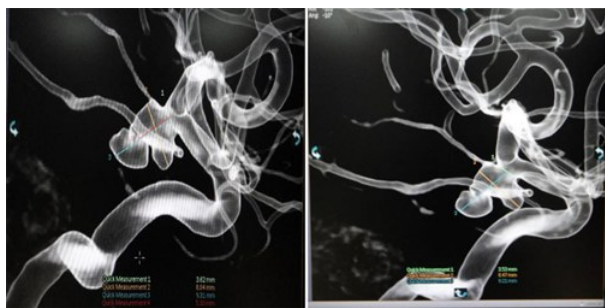


图2 颅内动脉瘤三维示意图  
三维重建后显示动脉瘤与载瘤动脉的关系,可以旋转不同角度对动脉瘤进行测量

础上加上时间窗,得到一个心动周期内的动态变化指标,包括异常搏动点、形态变化率等。

3.1 异常搏动点 目前,对于颅内动脉瘤瘤壁异常搏动点的判定均为主观判断,即运用心电门控四维血管成像(4D-CTA)对动脉瘤进行容积扫描,将一个心动周期平均划分为20个时间段得到20幅图像,由1名高年资神经外科医师和2名放射科医师共同评定,至少连续3幅图像在动脉瘤同一位置观察到小泡状或小尖突起,则判定为有异常搏动点(图3)。研究显示未破裂动脉瘤与破裂动脉瘤的异常搏动点分布不同,破裂动脉瘤的影像学分析更易发现异常搏动点,有异常搏动点的动脉瘤在随访过程中更易表现出形态学的变化;另外,影像学见到的异常搏动点同术中见到的瘤壁薄弱点和破裂点存在较强一致性,异常搏动点出现预示着颅内动脉瘤破裂风险的增加<sup>[8,16,17]</sup>。

3.2 形态变化率 运用4D-CTA技术可以对颅内动脉瘤心动周期内的体积变化进行数据上的量化(图3)。Kuroda等<sup>[18]</sup>率先提出膨胀率的概念,即一个心

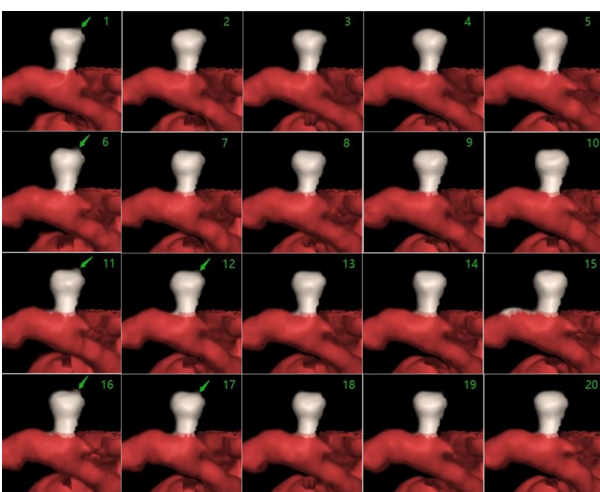


图3 颅内动脉瘤异常搏动点示意图  
一个心动周期内的20个时相图,绿色箭头指向的是动脉瘤搏动点

动周期内(颅内动脉瘤的最大体积—最小体积)/最小体积,研究指出颅内未破裂动脉瘤与正常颅内动脉在心动周期内的体积变化无差别,说明颅内未破裂动脉瘤瘤壁完整性与正常血管壁相一致。Firouzi等<sup>[19]</sup>报道颅内动脉瘤的体积变化率计算公式与此相同,认为颅内未破裂动脉瘤的体积变化跟载瘤动脉的位置有关,且存在个体差异。然而,高破裂风险的动脉瘤瘤壁极有可能存在薄弱点,此薄弱点在心脏射血运动过程中可能有更明显的搏动,与正常血管壁搏动的程度可能出现差异。这些研究的样本量少,且未能区分出高膨胀率病人并进行随访,因此膨胀率(体积变化率)与破裂风险的关系还需深入研究。顾艳<sup>[16]</sup>提出另一种用于计算形态学变化率的公式:(20个时相的最大值—最小值)/20个时相的均值,将其应用于预判评估颅内破裂动脉瘤术中的再破裂风险,发现当瘤颈变化率 $\geq 60\%$ ,诊断术中再破裂的敏感性和特异性都较高,分别为91.7%和76.7%。这个计算方法能降低数据二次损失,计算的各个形态学变化率数值更为客观,但这些反映心动周期内形态学变化的指标在未破裂组与破裂组中是否有差别、高变化率同高破裂风险是否相关还需进一步研究。

#### 4 其他因素

4.1 动脉瘤的生长 Molenberg等<sup>[20]</sup>通过对初次发现的颅内未破裂动脉瘤进行3个月到2年的短期随访,发现 $AR>1.6$ 、 $SR>3$ 、初始大小 $\geq 7$  mm与动脉瘤生长有关。一项平均218周(23~567周)关于颅内动脉瘤生长过程中形态变化检测的研究显示,在动脉瘤生长过程中,有关尺寸的指标都显著增加,椭圆率指数

则显著下降<sup>[21]</sup>。这说明颅内动脉瘤的生长会导致形态的变化继而增加其破裂风险。

**4.2 动脉瘤壁的强化** 一项将磁共振血管壁成像应用在颅内动脉瘤的研究显示,动脉瘤壁的磁共振强化在未破裂组与破裂组中有明显的差异,破裂组表现出的强化点与术中观察到的破裂点及薄弱点相符,且多提示此处动脉瘤壁有炎症反应<sup>[22]</sup>。此外,在识别存在高危破裂风险的<7 mm小动脉瘤中瘤壁的完全强化有重要意义,有瘤壁强化的颅内未破裂动脉瘤中短期内的破裂风险明显增加<sup>[23]</sup>。在形态学参数中,动脉瘤的大小和位置同瘤壁的强化密切相关,大小、AR、SR等参数符合随瘤壁强化程度增加而增大的趋势,这在判断颅内未破裂动脉瘤的高破裂风险方面提供了新的理论支持<sup>[5]</sup>。

综上所述,形态学因素在评估颅内动脉瘤的破裂风险中具有重要的作用,形状不规则、有搏动点、较大的SR值且存在瘤壁强化的动脉瘤可能更易破裂,但有些因素的影响仍有争议。总之,颅内动脉瘤的破裂是多因素综合作用的结果,在临床工作中需要整体把握。随着影像技术的发展,新的影像技术不断应用于动脉瘤的研究,将得到更多关于颅内动脉瘤的形态学信息,为动脉瘤不稳定因素的判定及破裂风险的评估提供新的无创性标记。由于动脉瘤的生长及破裂本身也会造成形态学的变化,而前瞻性研究的缺乏会导致结果的偏差,需要对颅内未破裂动脉瘤进行长期随访直至动脉瘤破裂,记录其形态学参数的变化,在生长后破裂前重新评估,深入分析得到危险阈值,对未破裂进行监测将起到有效预警作用。

#### 【参考文献】

- [1] Rinkel GJ, Djibuti M, Algra A, *et al.* Prevalence and risk of rupture of intracranial aneurysms: a systematic review [J]. *Stroke*, 1998, 29(1): 251-256.
- [2] UCAS Japan Investigators, Morita A, Kirino T, *et al.* The natural course of unruptured cerebral aneurysms in a Japanese cohort [J]. *N Engl J Med*, 2012, 366(26): 2474-2482.
- [3] Wiebers DO, Whisnant JP, Huston J 3rd, *et al.* Unruptured intracranial aneurysms: natural history, clinical outcome, and risks of surgical and endovascular treatment [J]. *Lancet*, 2003, 362(9378): 103-110.
- [4] 邢国祥,刘建民,许奕,等. 颅内动脉瘤的大小和部位与

破裂的关系[J]. *中国脑血管病杂志*, 2010, 7(8): 395-401.

- [5] 吕楠. 基于瘤壁影像与流体力学的颅内动脉瘤破裂危险相关性研究[D]. 中国人民解放军海军军医大学, 2018.
- [6] 张学敬,郝伟丽,杨松涛,等. 基底动脉分叉形态学和血流动力学对动脉瘤形成的作用研究[J]. *介入放射学杂志*, 2019, 28(5): 415-420.
- [7] 张丹. 颈内动脉分支处动脉瘤血流动力学发病机制的研究[D]. 河北医科大学, 2017.
- [8] 魏苑柔. 基于心电监控4D-CTA技术的颅内动脉瘤影像学特点研究[D]. 延边大学, 2017.
- [9] Dhar S, Tremmel M, Mocco J, *et al.* Morphology parameters for intracranial aneurysm rupture risk assessment [J]. *Neurosurgery*, 2008, 63(2): 185-197.
- [10] 袁金龙,徐善水,李真保,等. 颅内动脉瘤形态学参数的研究进展[J]. *中国脑血管病杂志*, 2016, 13(4): 216-218.
- [11] Skodvin TØ, Evju Ø, Sorteberg A, *et al.* Prerupture intracranial aneurysm morphology in predicting risk of rupture: a matched case-control study [J]. *Neurosurgery*, 2019, 84(1): 132-140.
- [12] Lauric A, Miller EL, Baharoglu MI, *et al.* 3D shape analysis of intracranial aneurysms using the writhe number as a discriminant for rupture [J]. *Ann Biomed Eng*, 2011, 39(5): 1457-1469.
- [13] Rooij NK, Velthuis BK, Algra A, *et al.* Configuration of the circle of Willis, direction of flow, and shape of the aneurysm as risk factors for rupture of intracranial aneurysms [J]. *J Neurol*, 2009, 256(1): 45-50.
- [14] Rohde S, Lahmann K, Beck J, *et al.* Fourier analysis of intracranial aneurysms: towards an objective and quantitative evaluation of the shape of aneurysms [J]. *Neuroradiology*, 2005, 47(2): 121-126.
- [15] Ryu CW, Kwon OK, Koh JS, *et al.* Analysis of aneurysm rupture in relation to the geometric indices: aspect ratio, volume, and volume-to-neck ratio [J]. *Neuroradiology*, 2010, 53(11): 883-889.
- [16] 顾艳. 心电监控4D-CTA对颅内动脉瘤异常搏动点和形态学变化率的研究[D]. 苏州大学, 2017.
- [17] Hayakawa M, Tanaka T, Sadato A, *et al.* Detection of pulsation in unruptured cerebral aneurysms by ECG-gated 3D-CT angiography (4D-CTA) with 320-row area detector CT (ADCT) and follow-up evaluation results: assessment based on heart rate at the time of scanning [J]. *Clin Neuro-radiol*, 2014, 24(2): 145-150.