

# Research Progress in Morphology and Hemodynamics of Intracranial Aneurysms

Zili Cai Jie Meng\* Jiwei Zhang Miao Yu

Neurosurgery Department of the Affiliated Hospital of Chengde Medical College, Chengde, Hebei, 067000, China

## Abstract

Intracranial aneurysm refers to the pathological dilation of the intracranial vascular wall, which has a high risk of rupture. At the same time, intracranial aneurysm rupture is also the primary cause of spontaneous subarachnoid hemorrhage (SAH). Subarachnoid hemorrhage caused by aneurysm rupture has the characteristics of high incidence rate, high mortality and poor prognosis. With the development of modern medicine, the diagnosis of aneurysm can also obtain the morphological parameters of the aneurysm. These parameters play a significant role in predicting aneurysm rupture and treatment prognosis, providing the best diagnosis and treatment plan for clinical physicians, and alleviating the pain of patients, their families, and even society.

## Keywords

intracranial aneurysm; morphology; hemodynamics

# 颅内动脉瘤形态学和血流动力学研究进展

蔡子立 孟杰\* 张继伟 于淼

承德医学院附属医院神经外科, 中国·河北承德 067000

## 摘要

颅内动脉瘤是指颅内血管壁的病理性扩张,具有较高的破裂风险,同时颅内动脉瘤破裂也是造成自发性蛛网膜下腔出血(SAH)的首要病因。动脉瘤破裂导致的蛛网膜下腔出血具有发病率高、死亡率高、预后差等特点,是当今社会严重危害人类健康的脑血管疾病之一。随着现代医学的发展,诊断动脉瘤的同时还能获取动脉瘤的形态学参数,这些参数对于预测动脉瘤破裂及治疗预后有重大作用,可以为临床医师提供最佳诊疗方案,缓解患者及其家庭乃至社会的伤痛。

## 关键词

颅内动脉瘤; 形态学; 血流动力学

## 1 引言

近些年来,随着CTA、MRA和DSA等影像学技术的发展,颅内动脉瘤检出率升高,诊断动脉瘤的同时还能获取相关形态学和血流动力学参数。因动脉瘤破裂和预后与其形态学特征密切相关,为了更好地评估其作用,论文就颅内动脉瘤破裂及预后因素做一总结。

## 2 形态学因素

动脉瘤形态学因素分类较多,包括直径、瘤颈宽度、最大深度、高度、宽度、高宽比(height/width, H/W)、

深宽比(Hmax/width, Hmax/W)、载瘤动脉直径(diameterofparentvessel, DV)、纵横比(aspect ratio, AR)、尺寸比(size ratio, SR)和流入角度,本综述中各参数依据Sujan Dhar的研究进行定义<sup>[1]</sup>。

### 2.1 动脉瘤大小

动脉瘤大小即直径,前瞻性设计的国际未破裂颅内动脉瘤研究表明,直径小于7mm的动脉瘤破裂风险较低(年破裂率约0.1%)<sup>[2]</sup>。但近期越来越多的研究表明直径小于7mm的动脉瘤也可能发生破裂,同时这一阈值也并不准确。唐晓宇<sup>[3]</sup>等研究发现破裂组的动脉瘤大小明显大于未破裂组,并且其研究中计算出的动脉瘤大小阈值为5.360mm,与7mm相差甚远。而王冠宇<sup>[4]</sup>等回顾研究结果则表明动脉瘤直径小也不意味着破裂的风险小。综上所述,目前认为动脉瘤大小在动脉瘤破裂过程中起着重要作用,一般认为直径越大,破裂风险越高,具体阈值尚不明确,也不能排除是否低于某一大小的动脉瘤更容易破裂,并且还需结合动脉瘤位置综合分析<sup>[4,5]</sup>。

【作者简介】蔡子立(1996-),男,中国江苏镇江人,在读硕士,从事神经外科研究。

【通讯作者】孟杰(1972-),男,中国河北承德人,硕士,副主任医师,硕士研究生导师,从事颅内肿瘤、脑血管病、颅脑创伤等治疗研究。

## 2.2 高度和宽度

高度为瘤颈平面到动脉瘤顶的垂直距离，宽度则为垂直于高度的最大径，两者一定程度上决定了动脉瘤的形态，是近似圆形还是椭圆形。李不言的研究中，动脉瘤破裂组高度和宽度普遍大于未破裂组。J Mocco 等人研究了 57 例破裂动脉瘤患者和 198 例未破裂动脉瘤患者，在多变量分析中，得出了垂直高度是动脉瘤破裂的唯一显著预测因素。综上所述，表明了动脉瘤高度和宽度是动脉瘤破裂的危险因素之一。

## 2.3 入射角度

入射角度即瘤颈平面中心到瘤顶所在线与载瘤动脉的夹角。有人研究计算了 24 例患者的入射角度，其中破裂组入射角度大于未破裂组入射角度<sup>[6]</sup>。但 Lv 等研究了 108 例小动脉瘤患者资料，表明在破裂组和未破裂组中的入射角度存在统计学意义，入射角度可能是小动脉瘤破裂的独立危险因素之一。由此得出入射角度越大，射入动脉瘤内的血量就越多，产生更多的血液涡流，从而形成更为复杂的血流动力学，使动脉瘤壁尤其是动脉瘤顶遭受巨大的冲击力，最终使动脉瘤发生形态学改变甚至于发生破裂。

## 2.4 长宽比

长宽比是指动脉瘤最大直径与动脉瘤宽度的比值。ELSHARKAWY 等<sup>[7]</sup>研究的 1309 个 MCA 动脉瘤中，69% 未破裂，31% 破裂。大多数未破裂的 MCA 动脉瘤长宽比为 1 (47%)，破裂的 MCA 动脉瘤长宽比大于 1 (72%)。长宽比一定意义上显示了动脉瘤的形状，比值越小，其形状看上去就越“矮胖”，破裂风险相对较低。

## 2.5 纵横比 (AR)

纵横比 (AR) 为高度和瘤颈宽度的比值，高度一定程度上影响了动脉瘤的体积，而瘤颈宽度则代表了血流面积。黎俊<sup>[8]</sup>等人研究表明 AR 间接反映了动脉瘤瘤壁张力及动脉瘤壁厚薄程度，AR 值越高，所产生的壁面剪切力面积比就越大，从而导致血管内皮功能障碍。杨利超<sup>[9]</sup>表示具有较大 AR 值的动脉瘤腔，其血管内皮细胞却处于缺氧状态，从而加剧了瘤腔内血管内皮细胞的损害，促使动脉瘤破裂。同时闫薇等<sup>[10]</sup>研究了 80 例动脉瘤术后患者预后情况，得出 AR 大于 2.0 是影响术后恢复的因素。综上所述，AR 高的动脉瘤首先产生血流动力学改变，从而引起血管壁的损伤，最终导致动脉瘤破裂，但其阈值还没有统一论，是日后研究的一个重点。

## 2.6 尺寸比 (SR)

SR 是动脉瘤最大深度与载瘤动脉直径的比值，涵盖了动脉瘤的几何形状及载瘤血管的直径。和 AR 值类似，SR 越低的颅内动脉瘤其血流涡流也就相对简单，而 SR 较高者的血流则表现为多个漩涡和复杂模式<sup>[11]</sup>。有学者分别计算出 SR 的阈值为 1.5、1.8<sup>[12,13]</sup>。结合国内外文献，SR 是预测动脉瘤破裂的可靠指标，但值得注意的是，破裂动脉瘤导

致的蛛网膜下腔出血会引起相应血管的痉挛，进而影响 SR 值的准确性<sup>[14]</sup>，所以测量载瘤动脉直径的时间应引起学者思考。

## 2.7 形状

颅内动脉瘤按照大体形状可以分为囊状、梭形及壁间动脉瘤，而具有子囊或者分叶形状的动脉瘤则称为不规则形态。黎俊研究了 202 例动脉瘤，发现子囊、形态不规则是颅内动脉瘤破裂的危险因素。同时有研究统计了 103 患者，显示破裂组病人的子囊存在率为 60.26%，高于未破裂组的 24.00%<sup>[15]</sup>。王冠宇<sup>[4]</sup>等研究表明动脉瘤形态不规则也是颅内小动脉瘤破裂的危险因素。综上所述，形状不规则尤其是带有子囊的动脉瘤破裂风险远高于形状规则的动脉瘤，动脉瘤形状是预测动脉瘤破裂的危险因素之一。

## 2.8 其他相关因素

其他因素例如动脉瘤位置，颅内动脉瘤大部分位于前循环系统，常见的有前交通动脉瘤、后交通动脉瘤、大脑中动脉瘤和颈内动脉瘤，而位于后循环系统的颅内动脉瘤仅占 10%~20%<sup>[16]</sup>。而 Carter 等人研究发现破裂动脉瘤好发部位分别是眼动脉、颈内动脉分叉、基底动脉分叉、大脑中动脉分叉、后交通动脉、前交通动脉、小脑后下动脉和“远端”位置，其中“远端”定义为位于 A2、P2 或 M2 分叉远端的 IA。此外是否多发、既往高血压、糖尿病、吸烟、饮酒等，也都是影响动脉瘤破裂的因素，因此临床医师对动脉瘤患者进行个性化分析，临床制定相应治疗方案是十分有必要的。

## 3 血流动力学

临床借助 CFD 技术可以直接对人脑血管进行重建，从而计算出血流动力学参数，包括壁面剪切力 (wall shear stress, WSS)、震荡剪切指数 (oscillatory shear index, OSI) 和相对滞留时间 (relative retention time, RRT)。

### 3.1 壁面剪切力 (WSS)

WSS 即血流流动产生的垂直于血管壁的摩擦力，与血流的密度及粘滞度有关。裘天仑研究发现瘤颈与载瘤动脉的比值决定了 WSS 比值的大小。当瘤颈是载瘤动脉直径的 2 倍及以上时，WSS 比值明显增高。但也有研究表明破裂组患者 WSS 明显低于未破裂，WSS 值较小的动脉瘤更易破裂<sup>[5]</sup>。而近期研究表明 WSS 首先作用于血管内皮细胞，将血流动力学的机械信号转化为生物信号，接着激活炎症反应，然后引起动脉瘤的退行性改变最终引起动脉瘤的破裂。许明伟研究显示异常的 WSS 可驱动脑血管内皮细胞产生促炎反应，主要表现为巨噬细胞、淋巴细胞浸润及炎症因子浸润。而杨利超等在基因层面进行了分析，得出了 miR-143 和 miR-145 是保护性因素，而 miR-29a 和 miR-126 为动脉瘤破裂的独立危险因素。也有研究发现颅内支架治疗后可引起血管形态的改变，从而引起血流动力学的改变，但缺少定量分析。综上所述，低 WSS 可能从基因层面加强炎症因子

的表达,从而导致了动脉瘤壁的炎症反应,而高WSS则进一步损害动脉瘤壁,低和高WSS均可导致动脉瘤的发生、生长并且导致破裂。

### 3.2 震荡剪切指数 (OSI)

OSI是测量心脏循环过程中WSS的方向变化,弥散性的血流即WSS方向和角度变化越明显,则计算出的OSI值越高。沈健等收集了24例动脉瘤患者数据,破裂组OSI明显高于未破裂组,而WSS则明显低于未破裂组。Mikacenic C等人得出了和上述一样的结论,并且发现在WSS较低和OSI较高的情况下,内皮细胞表面黏附分子表达上调,内皮细胞的通透性增加,从而促进炎症细胞浸润和动脉粥样硬化形成。综上所述,同WSS一样,OSI也是促进炎症因子表达的因素之一,有助于评估动脉瘤破裂的风险,较高的OSI是动脉瘤破裂的因素之一,但其准确性还需进一步观察。

### 3.3 相对滞留时间 (relative retention time, RRT)

RRT反映血液在血管壁附近的停留时间,RRT越高则表明瘤壁周围更容易产生涡流。涡流引起的复杂的血流动力学从而导致了炎症反应的发生。许明伟等比较了不同炎症程度下RRT的差异,得出RRT值仅在低炎症反应组与高炎症反应组之间有统计学差异,而在其他反应组中间无统计学差异。

结合上述,结合另外两个血流动力学因素WSS、OSI不难看出,血流动力学首先影响了炎症反应的发生,然后产生血管内皮的损伤,最终引起动脉瘤形态的改变,而形态又决定着血流特性等。总之,动脉瘤形态学与血流动力学互为因果,动脉瘤的形状、朝向决定了血流特性等,而血流则通过冲击力、冲击方向,重塑动脉瘤外形,两者循环往复,相互影响。

## 4 总结与展望

总之,动脉瘤破裂是由多种因素引起的疾病,不能用单一的参数来预测。患者家庭状况、身心压力、既往病史、外伤史和高血压病史都有可能导致动脉瘤破裂。目前国内对于动脉瘤形态学和血流动力学的研究仍需进一步观察,对于不同参数的定义、测量方法和评估方法也都应该进行统一。同时笔者认为动脉瘤形态学研究应从“预测破裂”逐渐转移到“预测治疗预后”这一方向,因为动脉瘤一旦存在,无论破裂风险高低,积极治疗都是首要步骤。

### 参考文献

[1] Dhar S, Tremmel M, Mocco J, et al. Morphology parameters for intracranial aneurysm rupture risk assessment. *Neurosurgery*. 2008 Aug;63(2):185-96; discussion 196-197.  
 [2] 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.

[3] 唐晓宇,文立利,吴琪,等.尺寸比及子囊形成对颅内镜像动脉瘤破裂的影响[J].河北医科大学学报,2023,44(2):167-172.  
 [4] 王冠宇,郭腾云,王舒楠,等.颅内小型动脉瘤破裂危险因素分析[J].实用临床医药杂志,2021,25(11):1-3.  
 [5] 沈健,周海航,郁龚杰等.颅内动脉瘤形态学及血流动力学特征预测破裂风险的临床意义[J].心电与循环,2022,41(3):272-274+283.  
 [6] Lv N, Feng Z, Wang C, et al. Morphological risk factors for rupture of Small (<7 mm) posterior communicating artery aneurysms[J]. *World Neurosurg*,2016(87):311-315.  
 [7] Elsharkawy A, Lehečka M, Niemelä M, et al. Anatomic risk factors for middle cerebral artery aneurysm rupture: computed tomography angiography study of 1009 consecutive patients. *Neurosurgery*. 2013,73(5):825-837.  
 [8] 黎峻,裴景春,杨淋,等.老年前循环小动脉瘤破裂危险因素分析[J].老年医学与保健,2023,29(1):105-110+116.  
 [9] 杨利超,赵中甫,胡国超.动脉瘤形态、血流动力学和微小RNA对颅内动脉瘤术中破裂的影响及预测价值[J].临床神经病学杂志,2022,35(4):269-274.  
 [10] 闫薇,程慧冉,牛江涛.显微夹闭术与介入栓塞术治疗颅内动脉瘤的效果及预后不良危险因素分析[J].医药论坛杂志,2023,44(13):64-69.  
 [11] TREMMEL M, DHAR S, LEVY E I, et al. Influence of intracranial aneurysm-to - parent vessel size ratio on hemodynamics and implication for rupture : Results from a virtual experimental study [J]. *Neurosurgery*,2009,64(4):622-630.  
 [12] Wang GX , Liu J , Chen YQ , et al. Morphological characteristics associated with the rupture risk of mirror posterior communicating artery aneurysms [J]. *Neurointerv Surg*,2018,10(10):995-998.  
 [13] Kang H, Ji W, Qian Z, et al. Aneurysm characteristics associated with the rupture risk of intracranial aneurysms : a self - controlled study [J]. *PLoS One*, 2015,10(11):e0142330.  
 [14] Zhang Y, Jing L, Liu J, Li C, Fan J, Wang S, Li H, Yang X. Clinical, morphological, and hemodynamic independent characteristic factors for rupture of posterior communicating artery aneurysms. *J Neurointerv Surg*, 2016,8(8):808-812.  
 [15] 吴磊,沈龙山,朱晶洁,等.颅内动脉瘤破裂风险评估中CTA的有效性及其形态学特征分析[J].蚌埠医学院学报,2020,45(9):1261-1265.  
 [16] HIGATA T, UJIIE H, KATO K, et al. Basilar artery trunk saccular aneurysms: morphological characteristics and management[J]. *Neurosurg Rev*, 2009,32(2):181-191.