

COMSOL
CONFERENCE

2015 北京



MAC 动脉瘤血流动力学分析

宣讲作者：刘孟杰 电话：138-3714-1966
宣讲单位：郑州大学——化工与能源学院

01

研究背景及意义

02

研究方法及建模

03

模拟结果与分析

04

研究结论与不足

1.1 研究背景



图1 郭桑与赵本山光艳演出



图2 郭桑与赵本山头痛经历

是什么让他们如此“接地气”？

1.1 研究背景

- 蛛网膜下腔自发性出血是严重威胁中老年人健康的疾病之一, 早期的死亡率高达30%-50%^[1-2]。临床发现动脉瘤破裂出血是引起的动脉瘤型自发性蛛网膜出血 (Aneurysmal subarachnoid haemorrhage: ASAH) 的一种常见原因。
- 动脉瘤是动脉血管壁发生病变, 在血管壁上形成的一种异常凸起, 临床多发现于脑血管区动脉段, 具有1%-14%左右的发病率^[3、4]。
- 发生颅内动脉瘤后, 主要症状会有头痛、恶心、头晕、呕吐、定向障碍、意识障碍、木僵、痴呆、癫痫等, 严重影响正常生活。
- 动脉瘤破裂出血后, 约1/3在入院前猝死, 另1/3在医院死亡, 仅1/3经治疗得以存活, 存活的一部分人, 一般也会存在严重的神经功能障碍后遗症等。

1.2 研究意义

- 目前国外一大批学者已经在仿真模拟领域取得了巨大进展，一方面国外学者进入脑血管领域较早，另一方面得益于计算机技术的迅速发展。例如：Cebal JR、Steinman DA、Hassan T 等。
- 国内学者比如刘建民、黄清海等进入该领域比较早，某些工作也值得我们学习，但整体而言国内在该领域的研究还处于起步阶段。
- 但普遍的研究对动脉瘤的发病机制认识还不清晰。因此有必要进行更加深入的基础规律性研究。
- COMSOL 是一款发展迅速的计算机模拟软件，在许多科研领域均可尝试。希望为 COMSOL 在医学领域的使用，贡献更多应用经验。

医学统计分析，在Willis环周围区域动脉瘤比较多见，这一区域内许多血管形态都比较复杂，其中Middle cerebral artery (MCA) 区段相对规则一些。

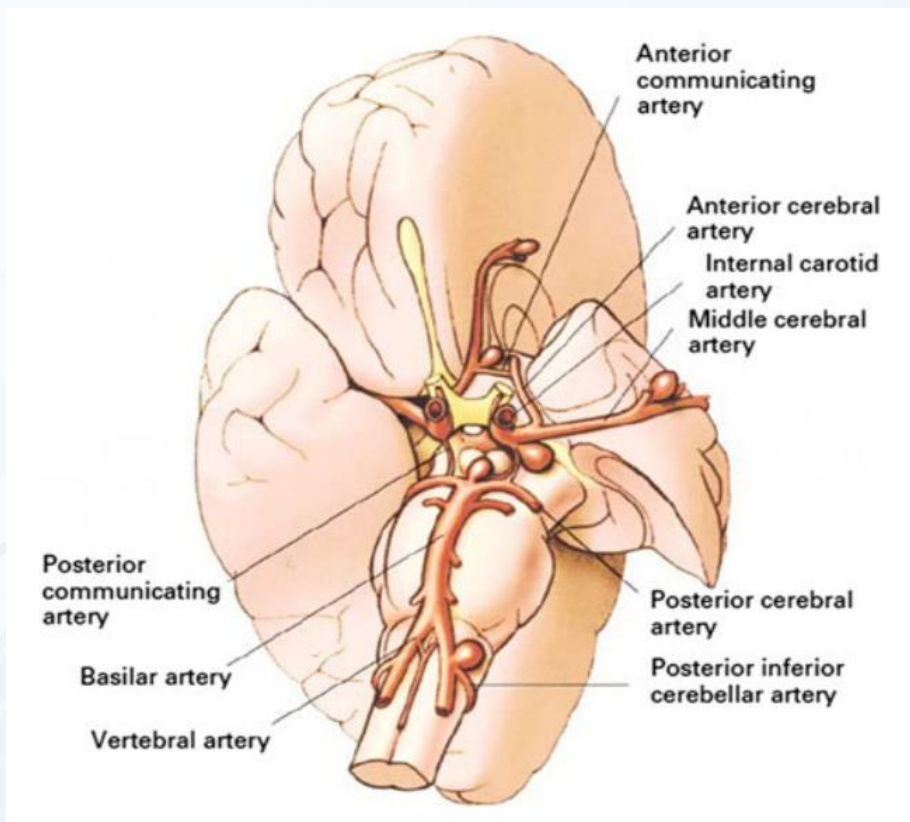


图3 人体脑血管Willis环动脉瘤分布示意图

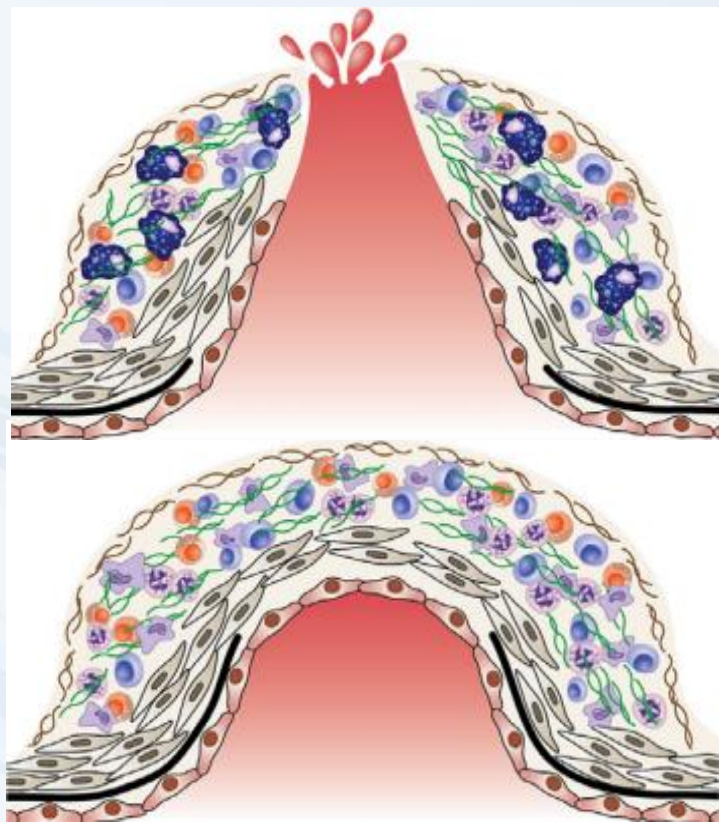


图4 动脉瘤破裂示意图

实际脑血管又相当的复杂，形态各异。为了研究的方便必须进行简化。

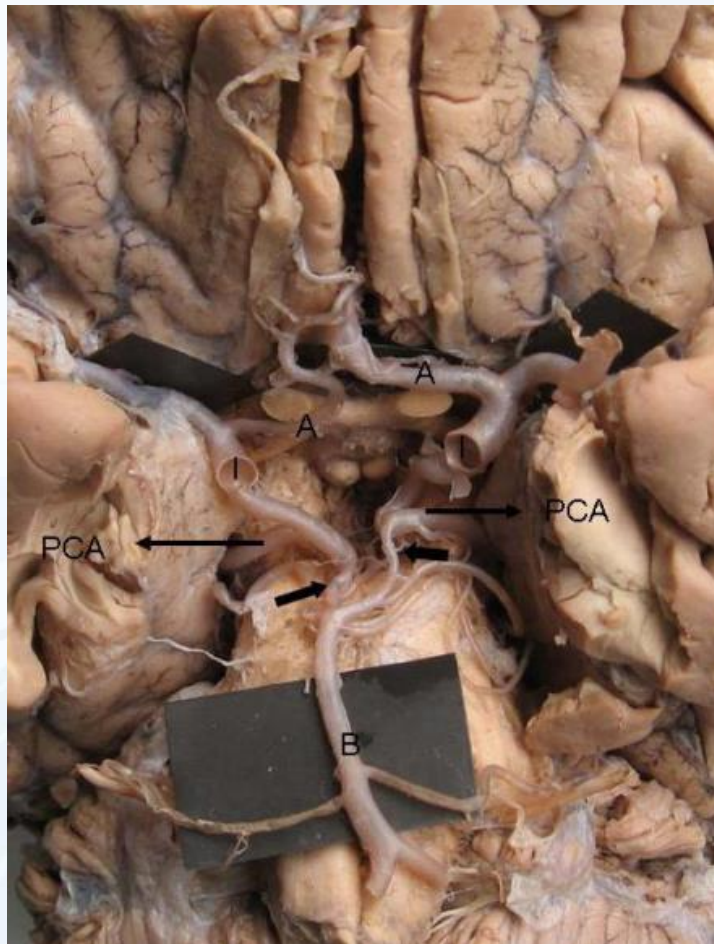


图5 人体脑血管医学样本



图6 动脉瘤临床照片

2.1 问题简化与说明

为了降低血管形态复杂特性对动脉瘤形态研究的影响，我们选择MCA段动脉瘤作为研究对象。参考多数研究者的研究成果，我们对血液流体和动脉瘤的几何特征做了一定的简化；结合其几何特征，基于以下假设，建立了理想动脉瘤模型。

三个假设：

- 血液为粘度一定、密度一定的流体，流动形式为层流。
- 动脉瘤壁为刚性壁面，壁面采用无滑移的壁面条件。
- 入口采用速度入口边界条件，速度为周期脉动。

明确了问题与需要

需要找到一个合适的工具！

2. 研究方法及建模

2.2 Comsol Multiphysics

- **COMSOL Multiphysics** 多物理场仿真软件可以对任何的系统进行模拟仿真。其中 **CFD** 模块常用于二维和三维空间的稳态及瞬态流体流动。
- **CFD** 模块中预置的一系列物理场接口包含多种不同形式的流体方程，可以用来建立和求解各种流体流动问题。
- **COMSOL** 灵活参数化扫描功能，能够很好地满足我们对动脉瘤不同几何形态的模拟研究需要，灵活、高效。

2.3 建模介绍

选4mm作为载瘤动脉直径，建立了尺寸为10mm×8mm典型的MCA中型侧方动脉瘤。如图1所示：

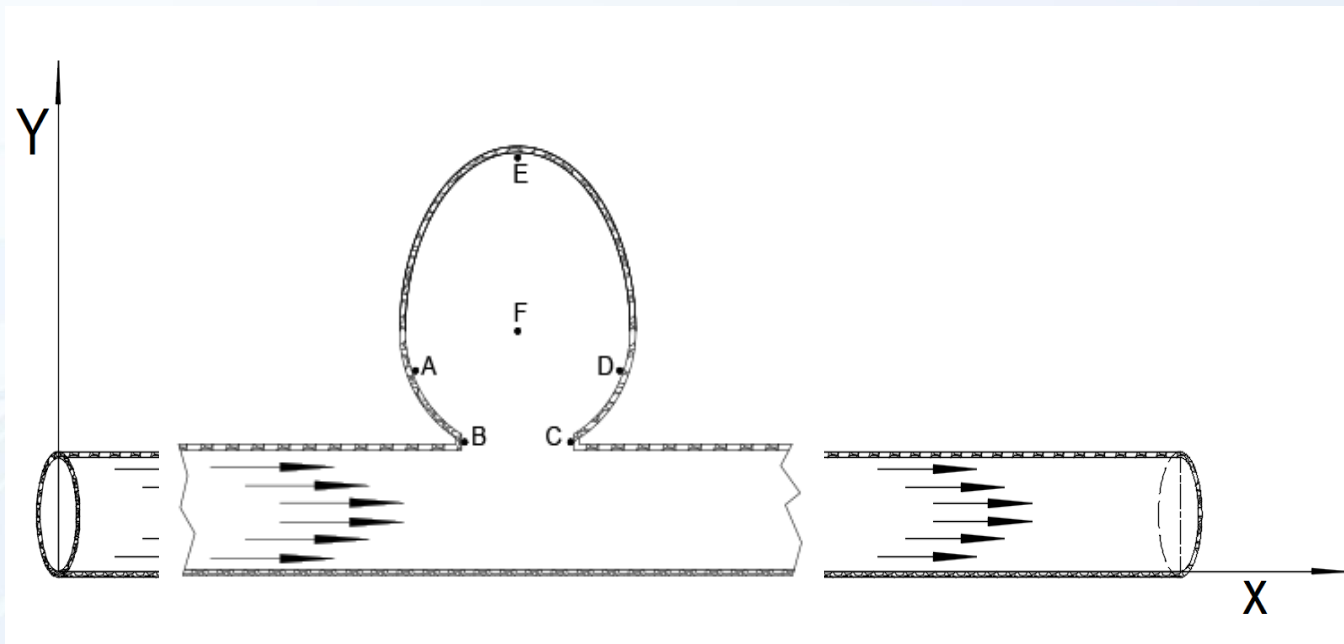


图7 动脉瘤模型示意图

2. 研究方法及建模

2.4 边界条件和参数

周期脉动入口速度边界，随着心脏的周期波动，血管中血液的流动是周期性变化的。参考 Ryo Torii 等论文，采用如图所示的入口边界条件；流体参数如表1所示。

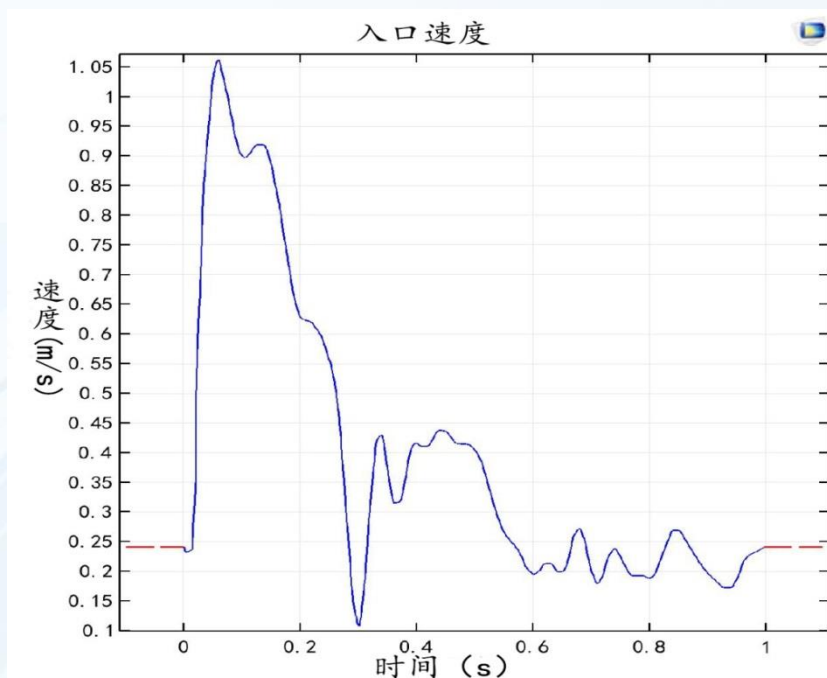


图8 脉动速度

表1 血液特性参数

变量	值	单位
密度	1060	Kg/m ³
动力粘度	0.005	Pa.s

我们的目的在哪？
需要找到一个合适的角度观察！

3.1 速度

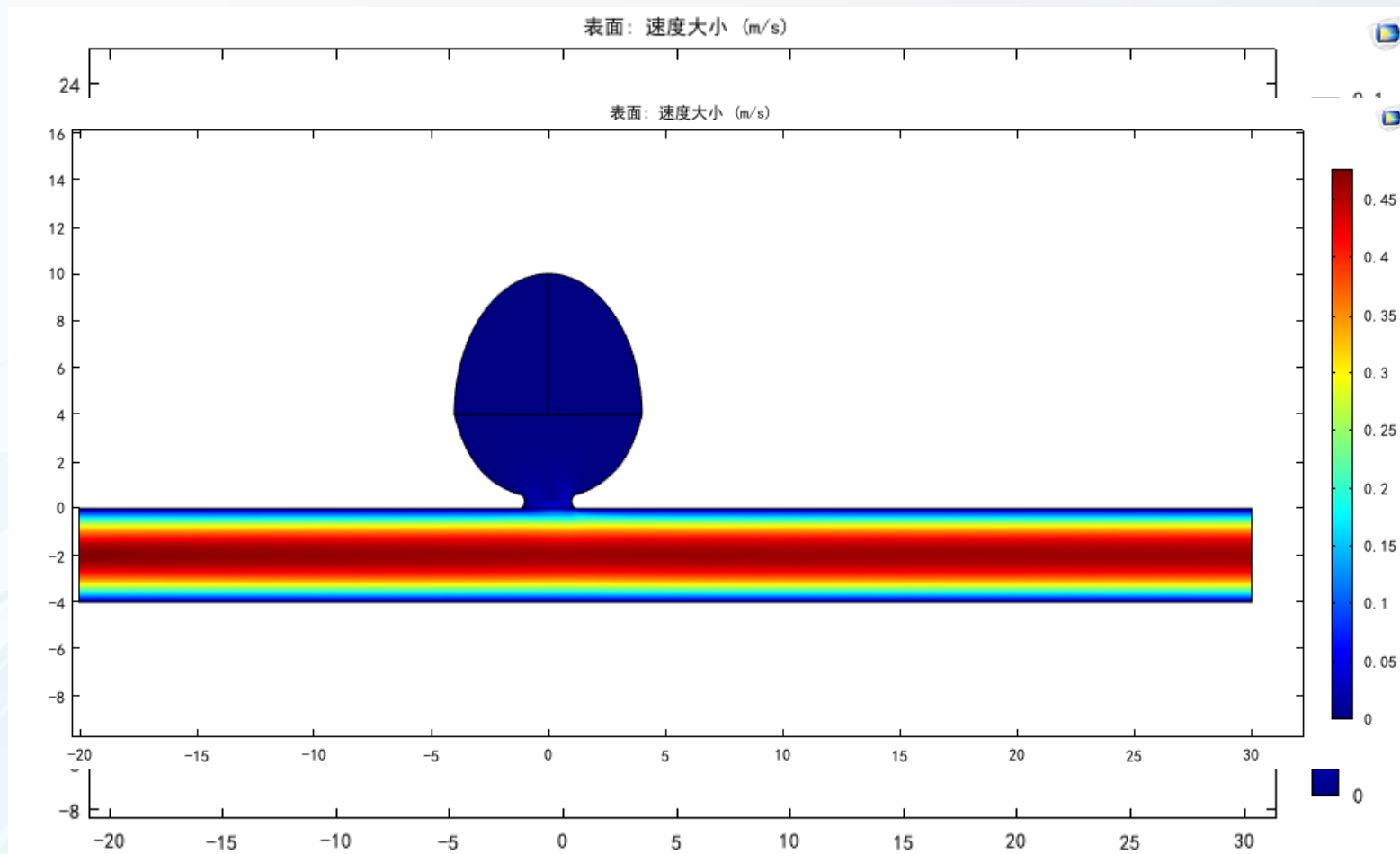


图9 速度云图

3.2 矢量图

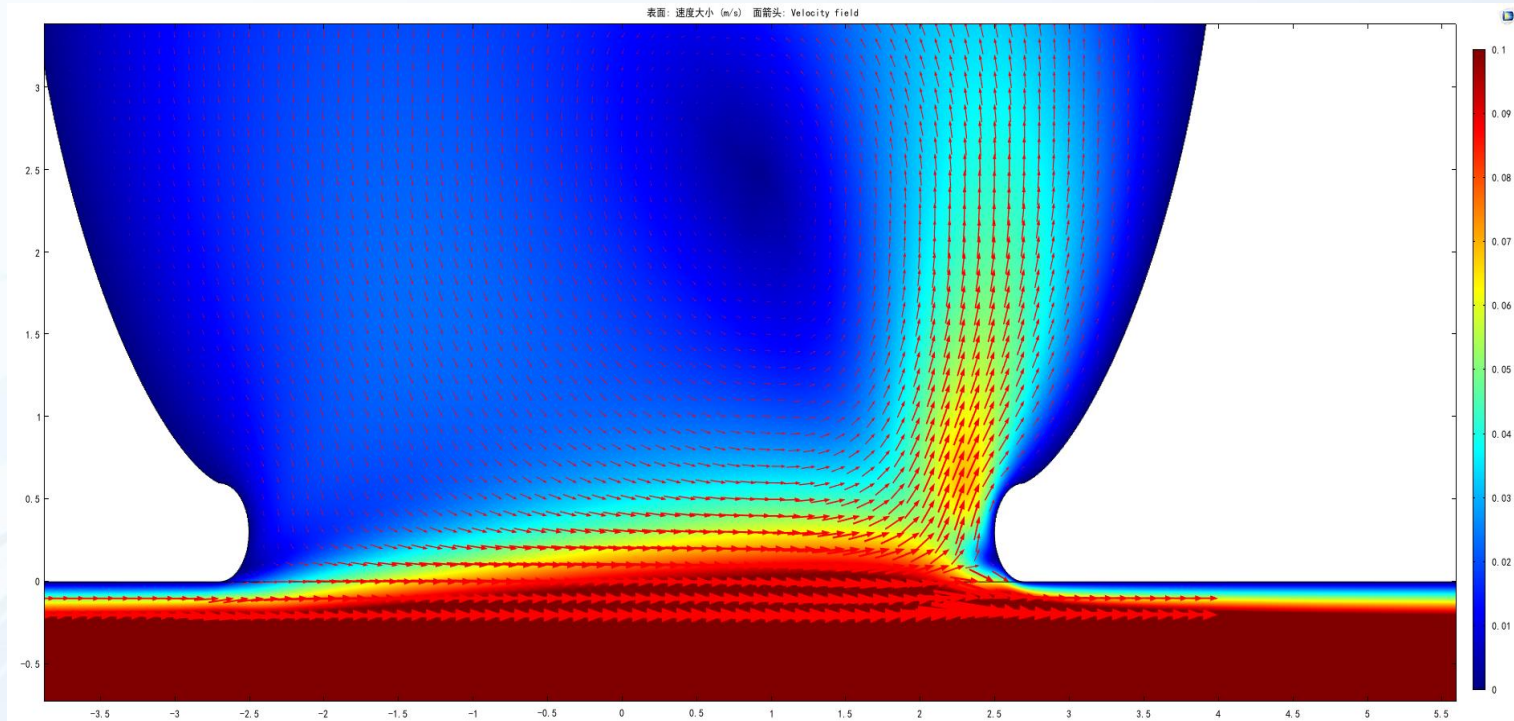


图10 W=3mm, 速度矢量图

3.3 结果分析

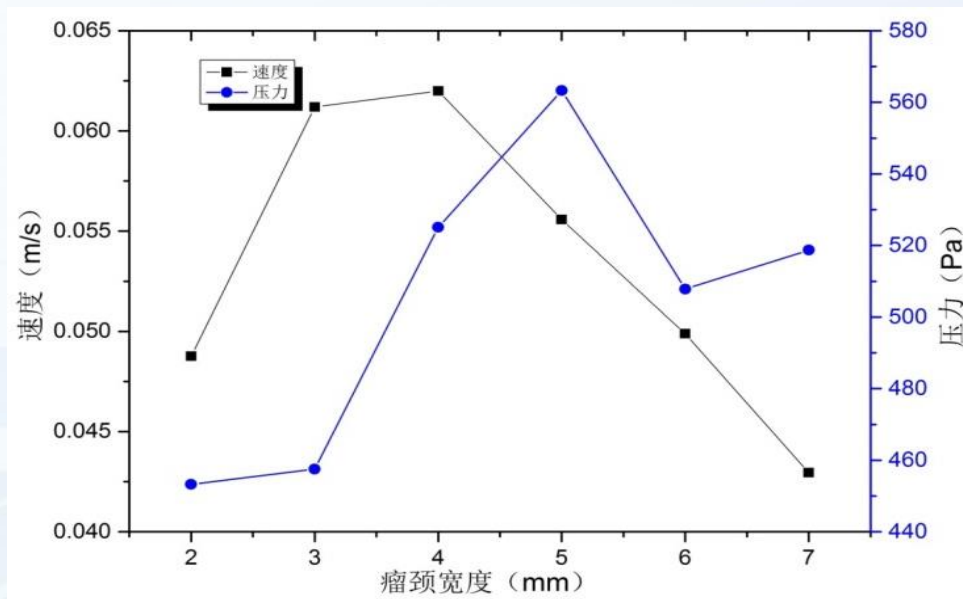


图11 F点速度，速度与压力随瘤颈宽度变化

3.3 结果分析

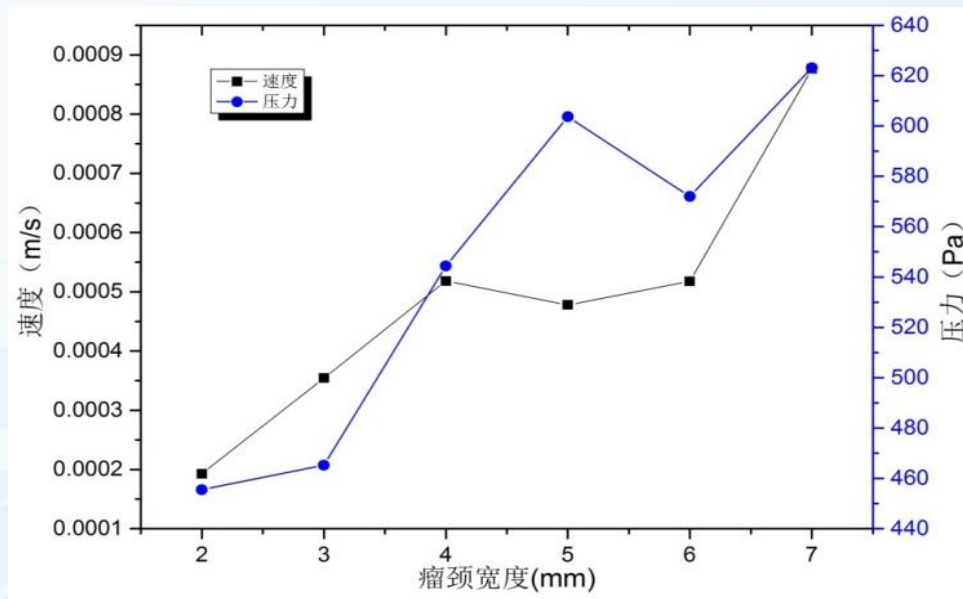


图12 顶点E处，速度与压力随瘤颈宽度变化

3.3 结果分析

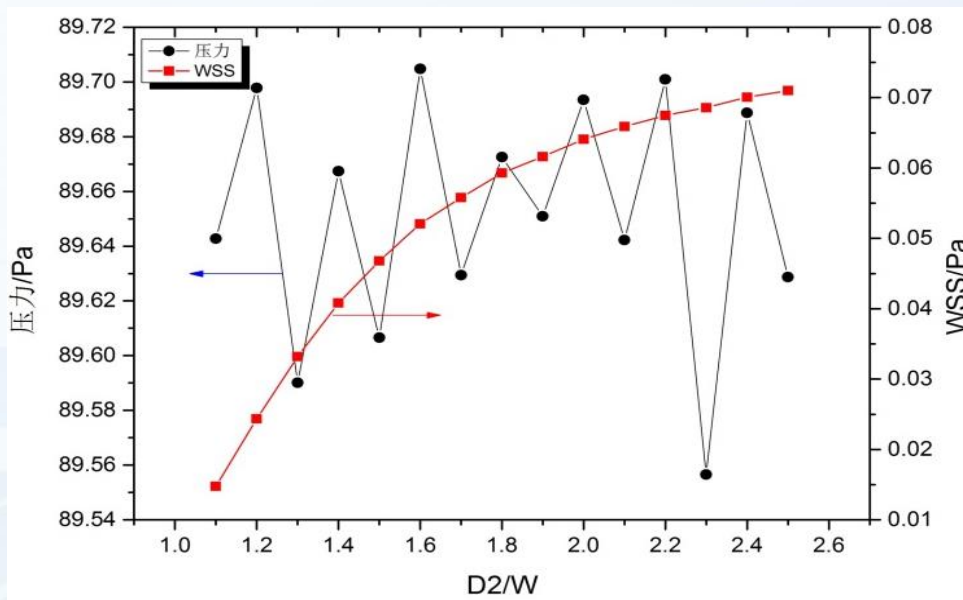


图13 不同D2/W值顶点E处的WSS与压力分布曲线图

3.3 结果分析

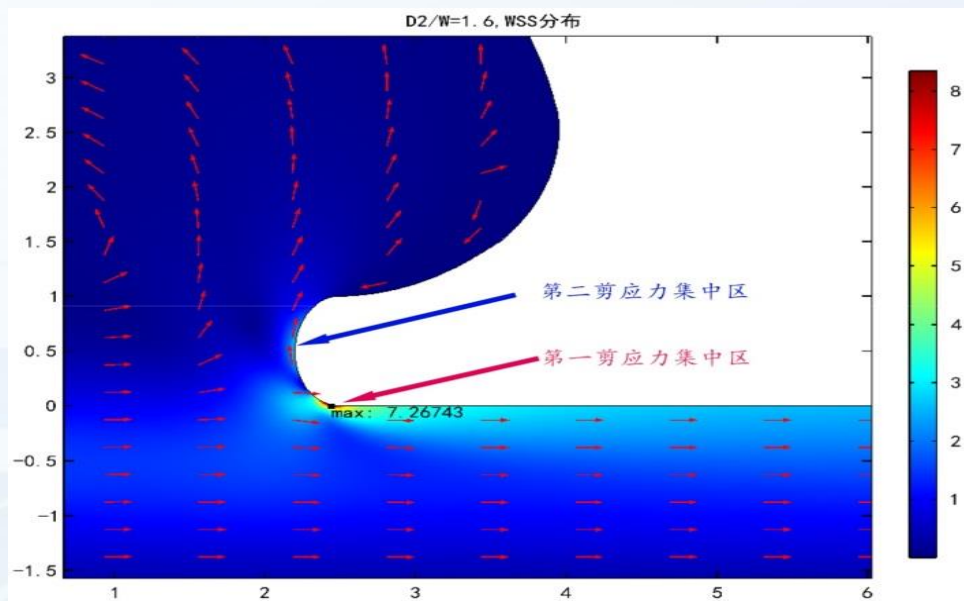


图14 动脉瘤壁面剪应力WSS分布图

3.3 结果分析

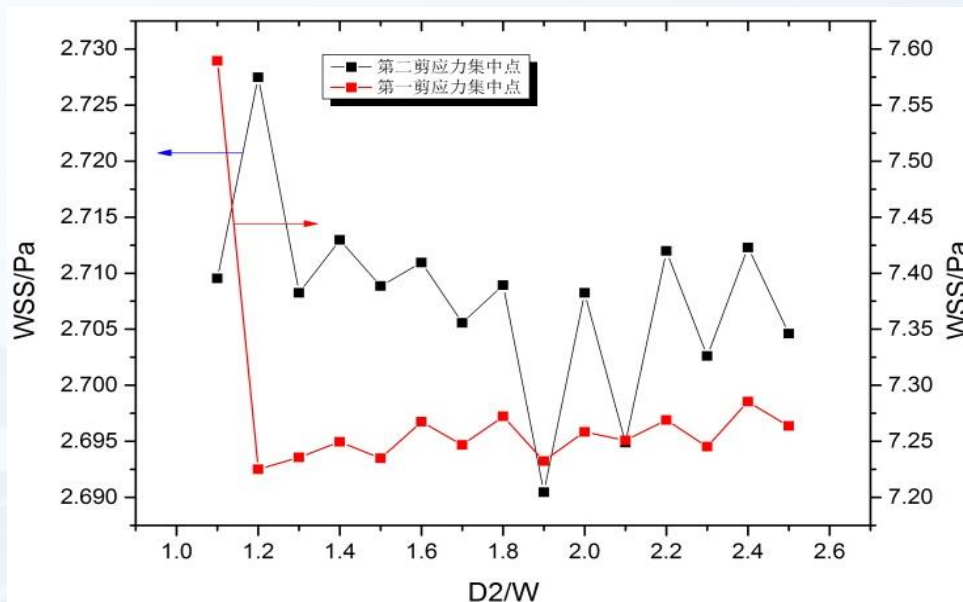


图15 第一、第二集中点最大剪应力随 $D2/W$ 的变化曲线

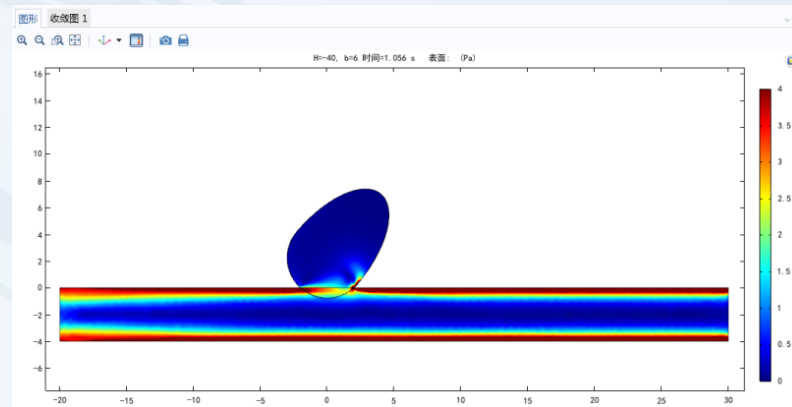
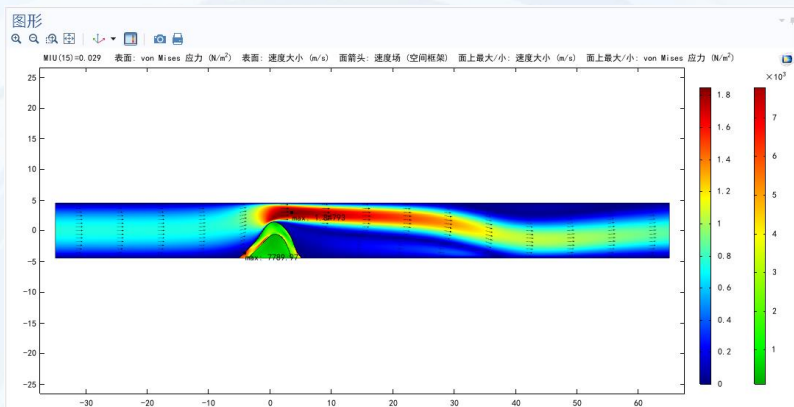
4.1 结论

通过软件模拟及数值分析得出如下结论：

- 对于窄颈动脉瘤，其中心区域 F 点流速随动脉瘤基底直径增大而增大，当基底宽度与载瘤直径 4mm 相当时，F 点速度达到最大值，随后随动脉瘤直径增大而降低。
- 随着 $D2/W$ 逐渐增大，动脉瘤顶部压力变化不明显，顶部壁面剪应力呈线性增大趋势，但远低于 0.3Pa；
- 随着 $D2/W$ 逐渐增大，动脉瘤瘤颈一侧出现两个应力集中区域，其中第一应力集中区壁面剪应力明显高于安全壁面剪应力的上限，因此第一剪应力集中区组织稳定性更差，血管壁组织更容易发生功能退化。

4.2 局限与不足

- 软件使用二维，通用模型，忽略了载瘤血管和动脉瘤本身几何形态对流场的影响，和临床要求还有一段距离；
- 研究更侧重流场分析，对血管、动脉瘤组织特性考虑的还比较有限，流固耦合方面还要进行一定的研究。
- 对动脉瘤破裂机制的认识，专业领域内还没有确切的结论，相关规律性研究工作还有必要加强。



COMSOL CONFERENCE

2015 北京



谢谢

宣讲作者：刘孟杰 电话：138-3714-1966

宣讲单位：郑州大学——化工与能源学院