



doi:10.3978/j.issn.1005-6947.2015.06.018  
http://dx.doi.org/10.3978/j.issn.1005-6947.2015.06.018  
Chinese Journal of General Surgery, 2015, 24(6):857-860.

· 临床研究 ·

## 下腔静脉隔膜阻塞型 Budd-Chiari 综合征血流数值模拟

庄银苹<sup>1</sup>, 王权<sup>2</sup>, 侯琳<sup>1</sup>, 张彬<sup>1</sup>, 周思远<sup>1</sup>, 王阿明<sup>1</sup>, 祖茂衡<sup>3</sup>

(1. 徐州医学院医学影像学院, 江苏徐州 221002; 2. 徐州医学院第二附属医院影像科, 江苏徐州 221002; 3. 徐州医学院附属医院介入放射科, 江苏徐州 221002)

### 摘要

**目的:** 应用计算机仿真的方法研究 Budd-Chiari 综合征 (BCS) 下腔静脉隔膜生长过程中血管的血流动力学变化。

**方法:** 基于 MRA 图像建立下腔静脉隔膜阻塞型 BCS 血管模型, 利用 Ansys Fluent 软件进行血流参数仿真。

**结果:** 成功建立下腔静脉隔膜阻塞型 BCS 血管模型。模型实验结果显示, 在隔膜生长过程中, 在下腔静脉及 3 支主干肝静脉汇合处与隔膜之间有一低速区, 该区域面积随隔膜的增长而逐渐变大; 随着隔膜的发展, 下腔静脉及肝右静脉低剪切力的区域不断扩大, 而切应力变大。

**结论:** 下腔静脉隔膜的发生发展是一个缓慢变化的过程, 可能与下腔静脉壁面剪切力的变化密切相关。

### 关键词

Budd-Chiari 综合征; 血流动力学; 模拟数字转换

中图分类号: R654.3

## Numerical simulation of hemodynamics in Budd-Chiari syndrome caused by membrane obstruction of the inferior vena cava

ZHUANG Yinping<sup>1</sup>, WANG Quan<sup>2</sup>, HOU Lin<sup>1</sup>, ZHANG Bin<sup>1</sup>, ZHOU Siyuan<sup>1</sup>, WANG Aming<sup>1</sup>, ZU Maoheng<sup>3</sup>

(1. School of Medical Imaging, Xuzhou Medical College, Xuzhou, Jiangsu 221002, China; 2. Department of Medical imaging, the Second Affiliated Hospital, Xuzhou Medical College, Xuzhou, Jiangsu 221002, China; 3. Department of Interventional Radiology, the Affiliated Hospital, Xuzhou Medical College, Xuzhou, Jiangsu 221002, China)

### Abstract

**Objective:** To investigate the vascular hemodynamic changes during the formation of obstructive membrane of the inferior vena cava (IVC) in Budd-Chiari syndrome (BCS) using computer simulation methods.

**Methods:** The vascular model of BCS caused by membranous obstruction of the IVC was established based on MRA slice images, and then numerical simulation of hemodynamic parameter changes was demonstrated by using Ansys Fluent software.

**Results:** The vascular model of BCS with membranous obstruction of the IVC was established successfully. The results of numerical simulation experiments demonstrated that during the formation of the obstructive membrane, there was a low flow speed region between the membrane and the region of confluence of the IVC and the three main hepatic veins, which increasingly enlarged with the extension of the membrane; with the development of the membrane, the low shear stress field located close to the IVC and the right hepatic vein was continuously amplified, and moreover, the shear stress gradually increased.

基金项目: 江苏省高等学校自然科学基金资助项目 (12KJD310007)。

收稿日期: 2014-09-02; 修订日期: 2015-05-06。

作者简介: 庄银苹, 徐州医学院实验师, 主要从事布加综合征基础病因方面的研究。

通信作者: 祖茂衡, Email: zumaoheng@163.com

**Conclusion:** The formation and development of the obstructive membrane of the IVC is a process of slow change, which may be closely related to alterations in shear stress of the wall of IVC.

**Key words** Budd-Chiari Syndrome ; Hemodynamics; Analog-Digital Conversion

**CLC number:** R654.3

Budd-Chiari综合征 (Budd-Chiari syndrome, BCS) 是各种原因引起的肝静脉 (hepatic vein, HV) 和/或肝段下腔静脉 (inferior vena cava, IVC) 部分或完全梗阻、血液回流障碍, 导致淤血性门脉高压和/或下腔静脉高压症候群<sup>[1]</sup>。既往BCS被认为是罕见病, 随着临床对该病认识的提高以及医学诊疗技术的提高尤其是随着医学影像检查的广泛开展, BCS已成为我国黄、淮河中下游流域的一种较常见病。病程较长, 发病隐匿, 在西方国家以肝静脉阻塞型BCS多见<sup>[2]</sup>, 大多有明确的基础病因, 如口服避孕药、妊娠、血液性疾病等, 而在亚洲以下腔静脉阻塞型BCS多见, 我国发病的BCS患者中, 下腔静脉阻塞型高达70%左右<sup>[3]</sup>, 发病原因多不清楚。

近年来, 徐州医学院附属医院的BCS介入治疗水平已达到国内领先水平, 但是仍有6%左右患者存在复发<sup>[3]</sup>。临床研究发现, 血流动力学在血管性病的发生、发展、阻塞以及治疗过程中扮演着重要角色<sup>[4]</sup>。随着计算机技术的发展, 有限元仿真分析已成为研究血流动力学的重要手段。BCS的血管模型, 尤其是下腔静脉隔膜阻塞型BCS血管模型的建立是血流动力学分析的基础。由于BCS病程较长, 发病隐匿, 早期发病无明显症状, 一旦就医下腔静脉已经完全或大部分被隔膜阻塞。早期隔膜的生成形态很难获取。因此本研究基于BCS患者术后血管无明显异常的MRA图像三维重建血管模型, 人工构建下腔静脉隔膜, 进行有限元仿真分析, 探讨隔膜生长过程中肝后下腔静脉的血流动力学变化, 进一步探讨下腔静脉隔膜产生的基础病因。

## 1 设计与方法

### 1.1 数据获取

本研究所用的MRA断层图像信息采集自徐州医学院附属医院, 患者为下腔静脉隔膜阻塞型

BCS, 女性, 年龄46岁, 在介入放射科行介入手术治疗后, 预后较好, 术后未见明显血管异常。应用GE 3.0T磁共振机器扫描, 扫描范围包括心脏下缘至盆腔整个腹部区域, 层厚0.52 mm, 数据以DICOM 3.0标准直接储存, 共计92张, 提取研究区域有效图像52张。

### 1.2 三维建模与血流动力学流程设计

试验前期收集病例静脉期MRA图像, 通过Mimics医学图像处理软件建立其三维模型, 运用Geomagic Studio逆向工程软件进一步修洁下腔静脉模型使其更加完善, 重建3个隔膜大小不同的下腔静脉三维模型, 最后利用ANSYS软件建立隔膜阻塞型BCS血管模型并进行数值模拟, 使用SPSS软件对数据进行统计分析。流程图如图1所示。

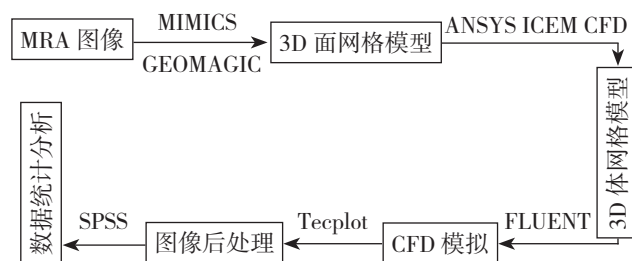


图1 三维模型建立与数值模拟分析流程图

Figure 1 Flow chart of the establishment of 3D model and numerical simulation analysis

### 1.3 下腔静脉隔膜面的建立

为研究下腔静脉隔膜生长过程中血流动力学的情况, 需要建立下腔静脉隔膜生长过程中不同阶段的隔膜模型, 课题初步设计隔膜面的大小分别为管腔面积的20%、40%、60%。构建的模型如图2所示。

### 1.4 仿真条件设定

本试验运用FLUENT计算流体力学软件对人体下腔静脉血液流动进行数值模拟计算。假定血管为刚性、无渗透, 壁面无滑移, 血液为不可压缩非牛顿流体。

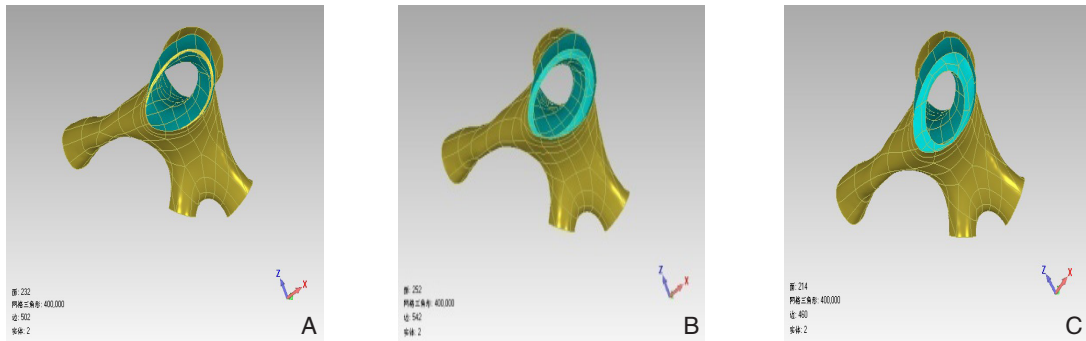


图 2 隔膜模型 A、B、C: 隔膜生长面积为管腔面积 20%、40%、60%

Figure 2 Membrane model A, B, C: Membrane size accounting for 20%, 40%, and 60% of the vascular lumen, respectively

## 2 结果

### 2.1 血流速度分布图

在隔膜生长过程中, 在下腔静脉及 3 支主干肝

静脉汇合处与隔膜之间有一低速区, 该区域面积随隔膜的形成长逐渐变大。血流速度变化分布图如图 3 所示。

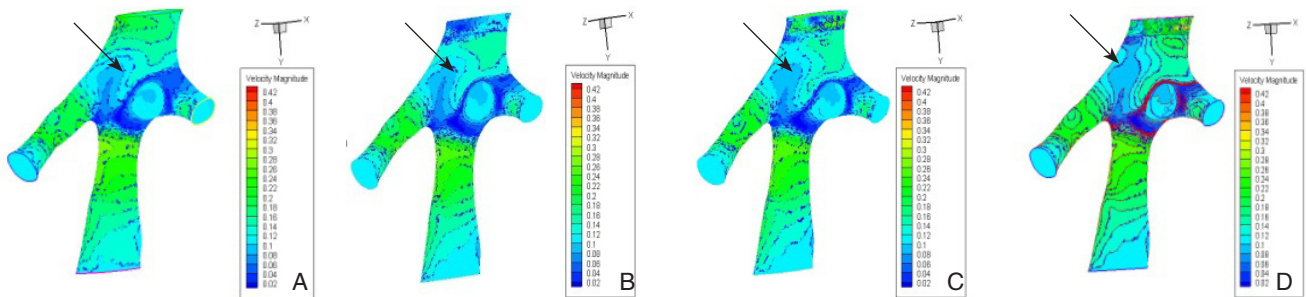


图 3 血流速度分布图 (箭头所指为特征性低速区域) A: 正常血管血流速度分布; B、C、D: 隔膜增长分别达 20%、40%、60% 血流速度分布

Figure 3 Blood velocity profiles (arrows showing the characteristic low speed region) A: Normal flow velocity distribution; B, C, D: Flow velocity distribution with the membrane size reaching 20%, 40%, and 60% of the vascular lumen, respectively

### 2.2 壁面剪切力分布图

对比正常下腔静脉与隔膜阻塞型下腔静脉的剪切力分布, 可以发现隔膜形过程中, 下腔静脉

及肝右静脉低剪切力的区域不断扩大。各模型剪切力分布如图 4 所示。

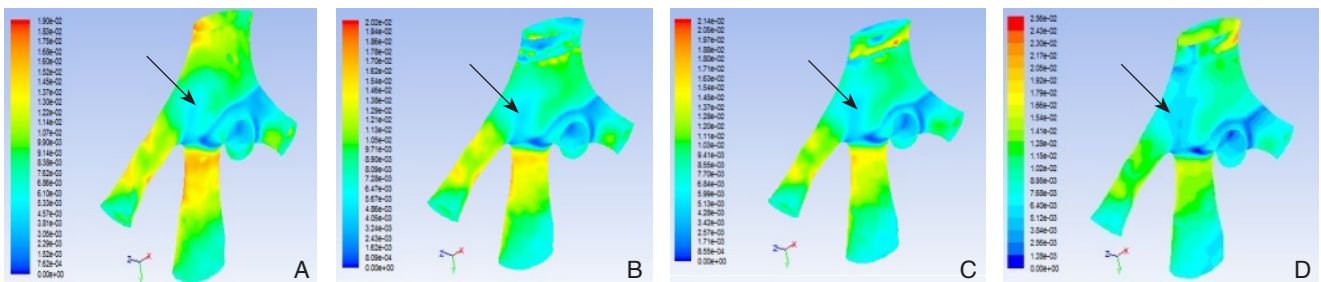


图 4 剪切力分布图 (箭头所指为特征性低剪切力域) A: 无隔膜静脉壁面剪切力分布; B、C、D: 隔膜增长分别达 20%、40%、60% 静脉壁面剪切力分布

Figure 4 Distribution of shear stress (arrows showing the low shear stress field) A: Shear stress distribution without membrane obstruction; B, C, D: Shear stress distribution with the membrane size reaching 20%, 40%, and 60% of the vascular lumen, respectively

### 2.3 统计分析壁面剪切力变化

单因素ANOVA方法分析血管模型的壁面剪切力变化,结果显示,正常无隔膜及隔膜生长面积分别为管腔面积20%、40%、60%时,壁面剪切力数值分别为 $1.139 \pm 0.312$ 、 $1.061 \pm 0.231$ 、 $1.085 \pm 0.124$ 、 $1.530 \pm 0.254$ ,各组间差异有统计学意义( $P < 0.05$ );随着隔膜的增长,壁面剪切力逐渐变大从而抑制隔膜的增长,不同隔膜面积间两两比较差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$ )。这与隔膜增长是个缓慢发展的过程相一致。

## 3 讨论

本课题研究初步建立隔膜生长过程中BCS血管的有限元模型并进行血流动力学仿真分析。结果显示,在隔膜生长过程中在3支肝静脉与下腔静脉汇合口上方血流速度、切应力变化明显,存在着低速、低剪切力区<sup>[9-10]</sup>。随着隔膜的生长,剪切力升高。

切应力是指血液流动时对内皮细胞产生的切线方向的张力,也是血流对细胞表面产生的摩擦力,它的方向与血管壁平行,它的大小与血流的速度梯度及血液黏度呈正比,与血管半径呈反比。现已证明,壁面切应力是与血管病变及其局灶性分布密切相关的血流动力学参数,也是调节血管直径的主要血流动力学因素。血流剪切力可以通过影响一些内皮细胞活性因子的水平来调节平滑肌细胞增殖。有研究<sup>[11-15]</sup>证实较高剪切力作用时,内皮素1的水平明显降低,而且内皮细胞会增加一些抑制血管平滑肌细胞增殖的因子,低剪切力作用下,血管中的PDGF水平升高,平滑肌细胞的增殖相应增强,长期的低血流剪切力易诱导内皮细胞功能的损害。肝后下腔静脉血流剪切力降低,可能与血管内皮损伤,隔膜生长存在一定的相关性,随着隔膜的生长,系统进行自我修复,提高剪切力抑制隔膜的生长,进一步解释了隔膜生长是一个缓慢的发展过程。

由于计算数据量较大,课题建立的下腔静脉隔膜模型数量较少,在后续的研究中将细化研究,为下腔静脉隔膜形成的基础病因提供血流动力学依据。

### 参考文献

- [1] Menon KV, Shah V, Kamath PS. The Budd-Chiari syndrome[J]. N Engl J Med, 2004, 350(6):578-585.
- [2] Wang ZG, Zhang FJ, Yi MQ, et al. Evolution of management for Budd-Chiari syndrome: a team's view from 2564 patients[J]. ANZ J Surg, 2005, 75(1/2):55-63.
- [3] 庄银苹, 祖茂衡, 张庆桥, 等. 1148例Budd-Chiari综合征的流行病学分布研究[J]. 中国普通外科杂志, 2011, 20(6):614-617.
- [4] Dolan JM, Meng H, Singh S, et al. High fluid shear stress and spatial shear stress gradients affect endothelial proliferation, survival, and alignment[J]. Ann Biomed Eng, 2011, 39(6):1620-1631.
- [5] 赵峰, 高勃, 刘震侠, 等. Dicom标准和Mimics软件辅助建立下颌骨三维有限元模型[J]. 西南国防医药, 2005, 15(5):479-481.
- [6] 魏天翔, 黄洁琼. 基于Geomagic的三维人体头像建模技术的研究[J]. 上海第二工业大学学报, 2013, 30(2):117-122.
- [7] 穆士卿, 杨新健, 张莹, 等. 两种常见形态颅内动脉瘤的血流动力学研究[J]. 中华神经外科杂志, 2009, 25(7):621-625.
- [8] 胡小忠, 熊江, 栾韶亮, 等. 基于计算流体力学技术的胸主动脉瘤血流动力学研究[J]. 中华医学杂志, 2011, 91(42):2963-2966.
- [9] 张文广. Budd-Chiari综合征:下腔静脉阻塞隔膜位置关系研究[D]. 郑州:郑州大学, 2011:4-20
- [10] Qi YX, Jiang J, Jiang XH, et al. PDGF-BB and TGF- $\beta$ 1 on cross-talk between endothelial and smooth muscle cells in vascular remodeling induced by low shear stress[J]. Proc Natl Acad Sci, 2011, 108(5):1908-1913.
- [11] 韩新巍, 张文广, 闫磊, 等. Budd-Chiari综合征:下腔静脉阻塞膜与肝静脉的位置关系研究[J]. 实用放射学杂志, 2011, 27(4):542-544.
- [12] 张峰, 刘衿希, 沈婧, 等. 缺血性中风患者血管重构和血流剪切力与内中膜层厚度的关系[J]. 广东医学, 2014, 35(10):1516-1517.
- [13] 王雪蕊, 刘燕, 王绿娅, 等. 血流剪切力对血管内皮细胞过氧化物C3a受体表达影响的研究[J]. 心肺血管病杂志, 2015, 34(4):310-313.
- [14] 苗鹏. 剪切力与血管内皮细胞通透性的关系[D]. 沈阳:中国医科大学, 2014:21-50.
- [15] 高莲, 张榆锋, 章克信, 等. 病变血管内血流分布模型的研究进展[J]. 系统仿真学报, 2014, 26(1):146-151.

(本文编辑 姜晖)

本文引用格式: 庄银苹, 王权, 侯琳, 等. 下腔静脉隔膜阻塞型 Budd-Chiari综合征血流数值模拟[J]. 中国普通外科杂志, 2015, 24(6):857-860. doi:10.3978/j.issn.1005-6947.2015.06.018

Cite this article as: ZHUANG YP, WANG Q, HOU L, et al. Numerical simulation of hemodynamics in Budd-Chiari syndrome caused by membrane obstruction of the inferior vena cava[J]. Chin J Gen Surg, 2015, 24(6):857-860. doi:10.3978/j.issn.1005-6947.2015.06.018