

内壁含有螺旋褶皱人工血管促旋动流生成仿真分析

石国宏¹, 李瑜¹

1. 机械与动力工程学院, 河南理工大学, 河南省, 焦作市

简介: 旋动血流可以提高壁面剪切力, 抑制动脉粥样硬化、内膜增生、血栓粘附等疾病的发生。但是对其产生的原因, 一直没有确切的定论。鉴于下肢动脉内壁具有螺旋褶皱, 螺旋型支架可以引导旋动流, 我们提出一种新型内壁有螺旋褶皱的血管模型, 通过仿真探寻此种类型人工血管的促旋动流生成的可行性。

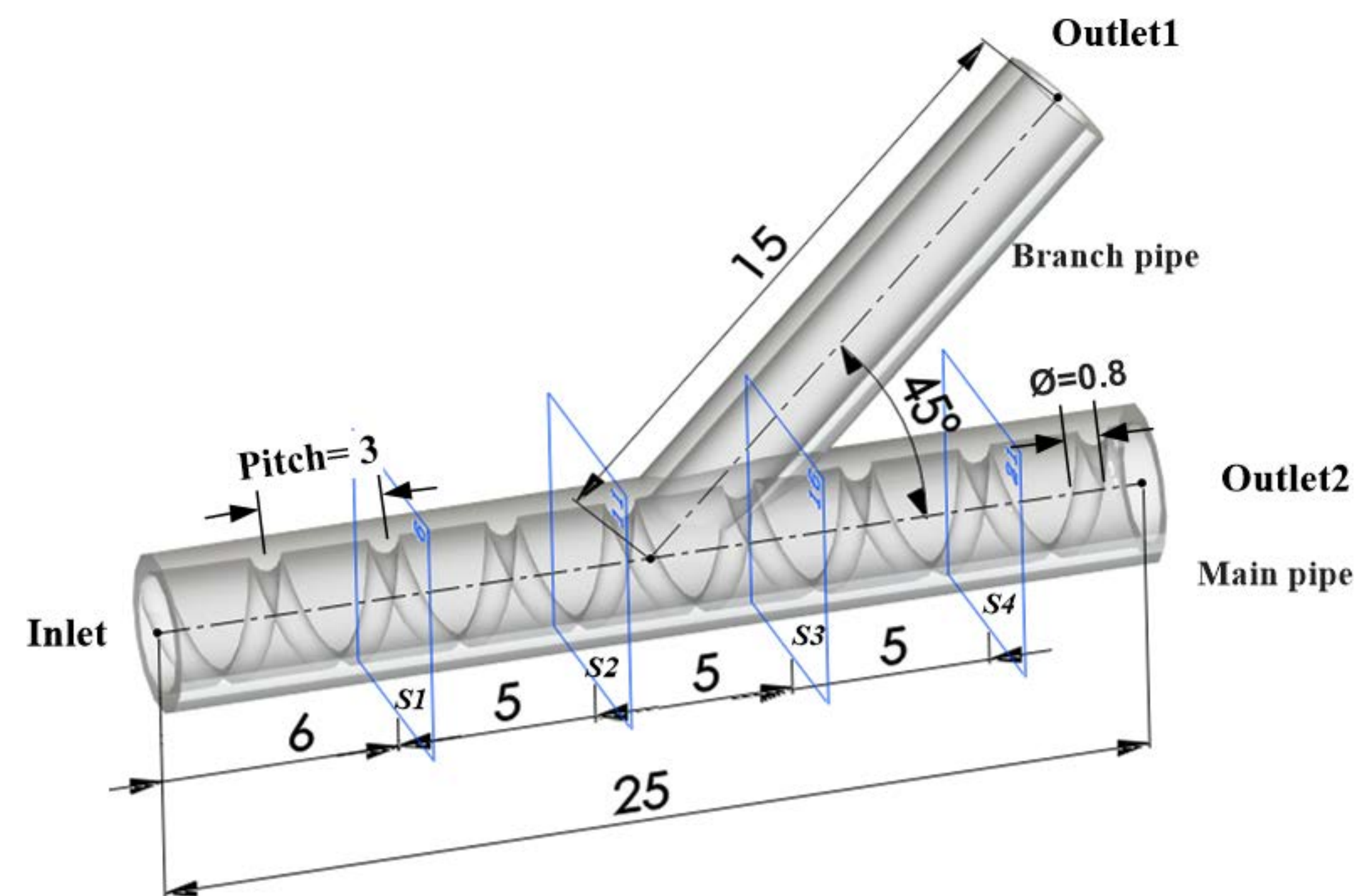


图 1. 血管模型

计算方法: 使用流固耦合模块, 血流采用不可压缩非牛顿流体, 血管使用线性、各向同性线弹性材料。在边界条件方面, 入口采用层流流入, 速度符合脉动曲线。出口压力符合压力曲线。仿真模型主要依据Navier-Stokes方程求解

$$V_{inlet}(t) = \begin{cases} 240e^{-7.557t} \sin 13.09t, & (0 \leq t \leq 0.24) \\ -34.3e^{-7.557t(t-0.24)} \sin 13.09 \cdot (t-0.24), & (0.24 \leq t \leq 0.2743) \\ -34.3e^{-7.557t(0.3086-t)} \sin 13.09(0.3086-t), & (0.2743 \leq t \leq 0.3086) \\ 0, & (0.3086 \leq t \leq 0.8) \end{cases}$$

$$P_{outlet}(t) = \begin{cases} 102.479 + 25.121 \sin 17.167(t-0.0614), & (0 \leq t \leq 0.24) \\ 114.5035 - 42.3326t, & (0.24 \leq t \leq 0.8) \end{cases}$$

$$\rho \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \rho(\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = \nabla \cdot [-p\mathbf{I} + \mu(\nabla \mathbf{u} + (\nabla \mathbf{u})^T)] + \mathbf{F}$$

$$\rho \nabla \cdot \mathbf{u} = 0$$

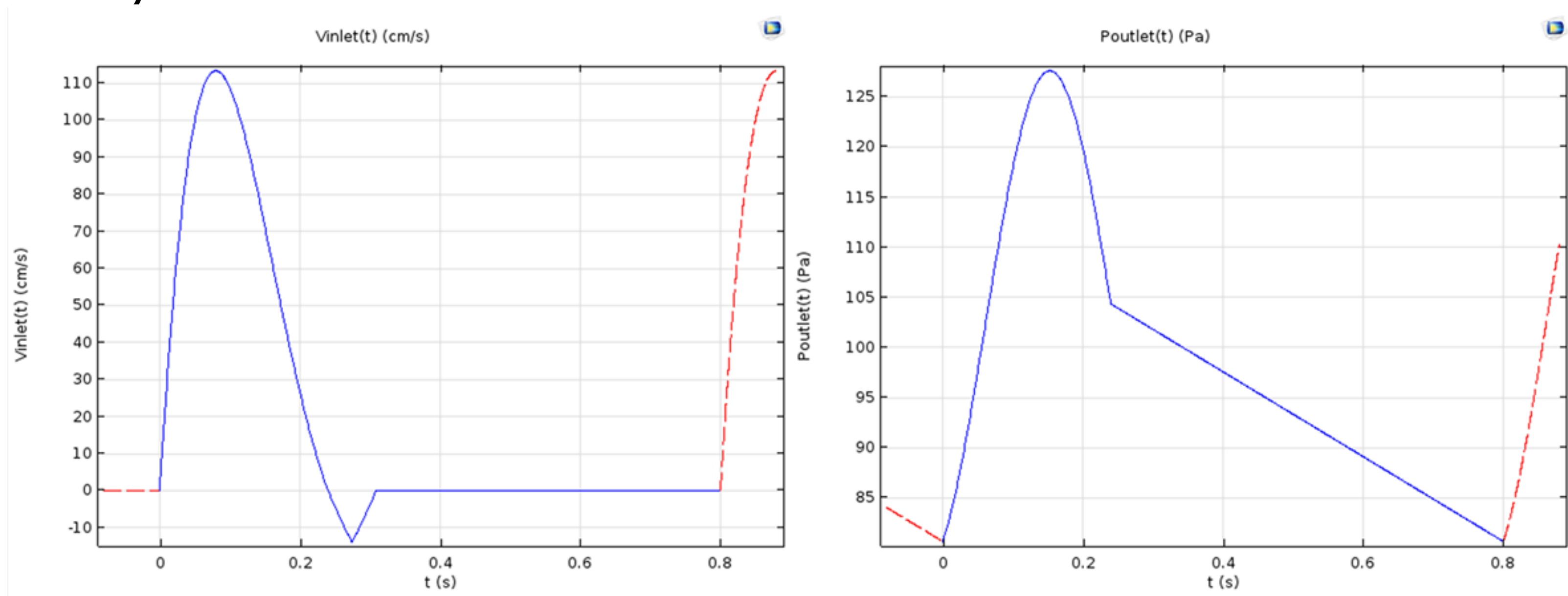


图 2. 进口速度曲线及出口压力曲线

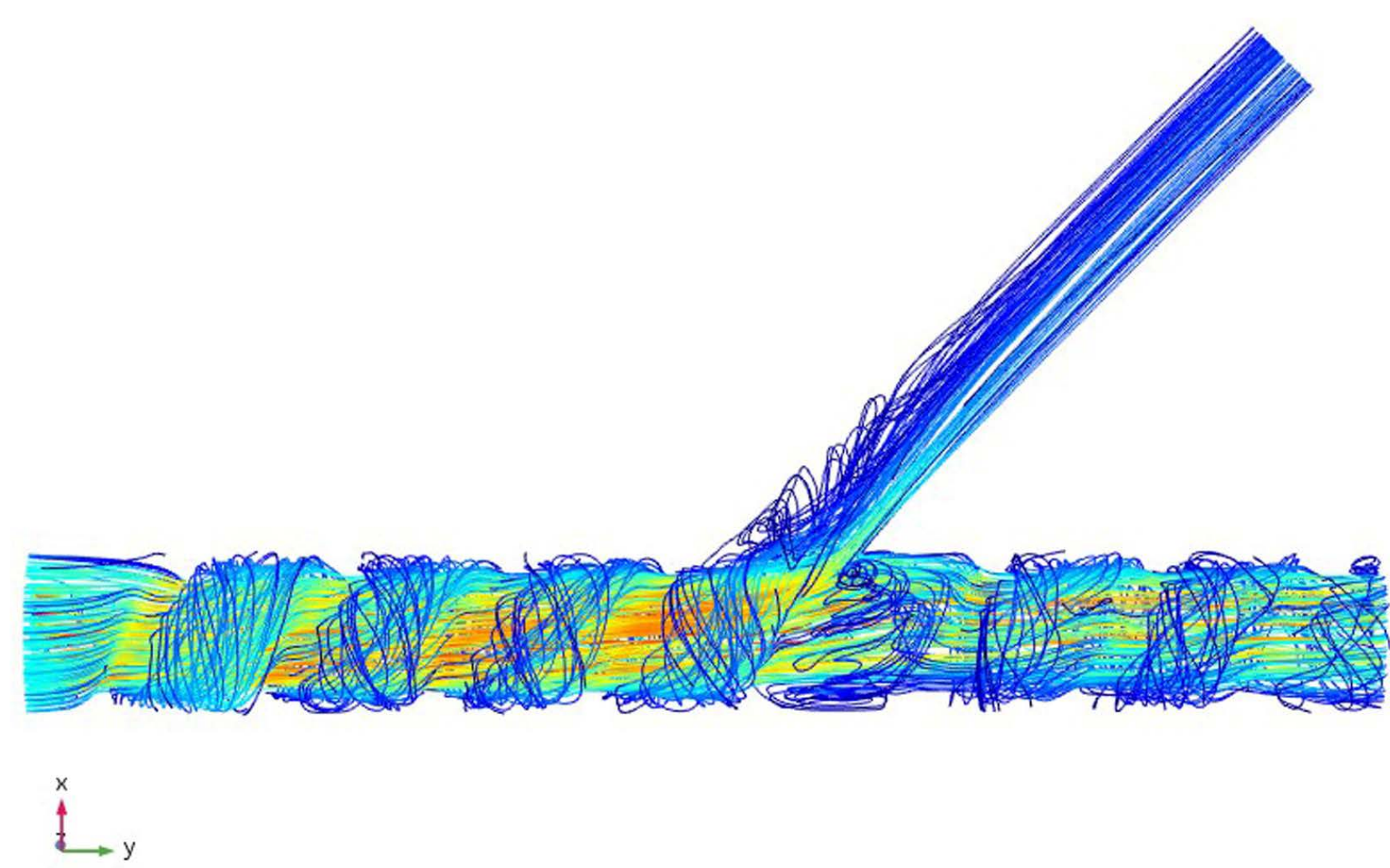


图 3. 旋动血流产生

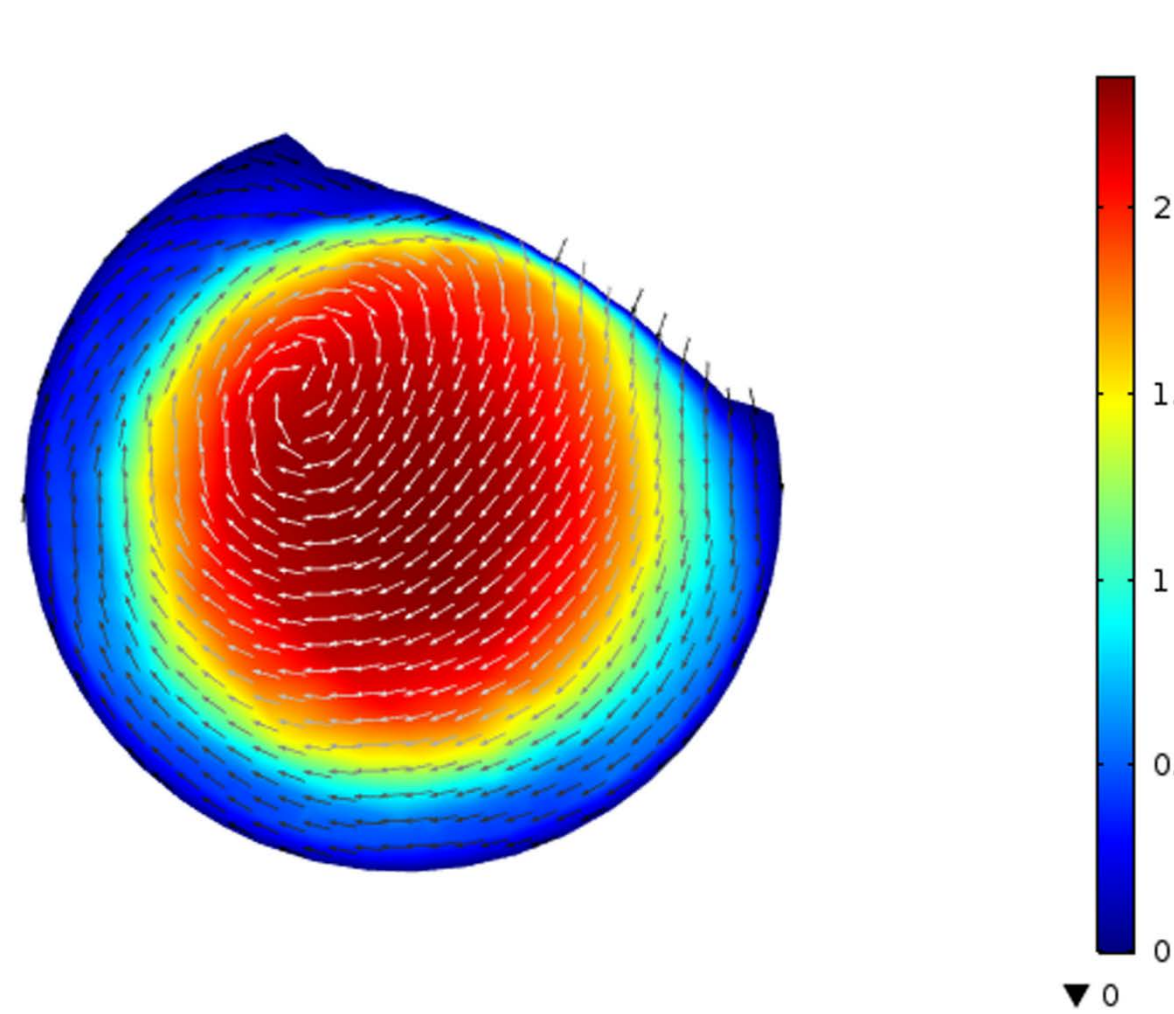


图 4. S1截面处速度流线

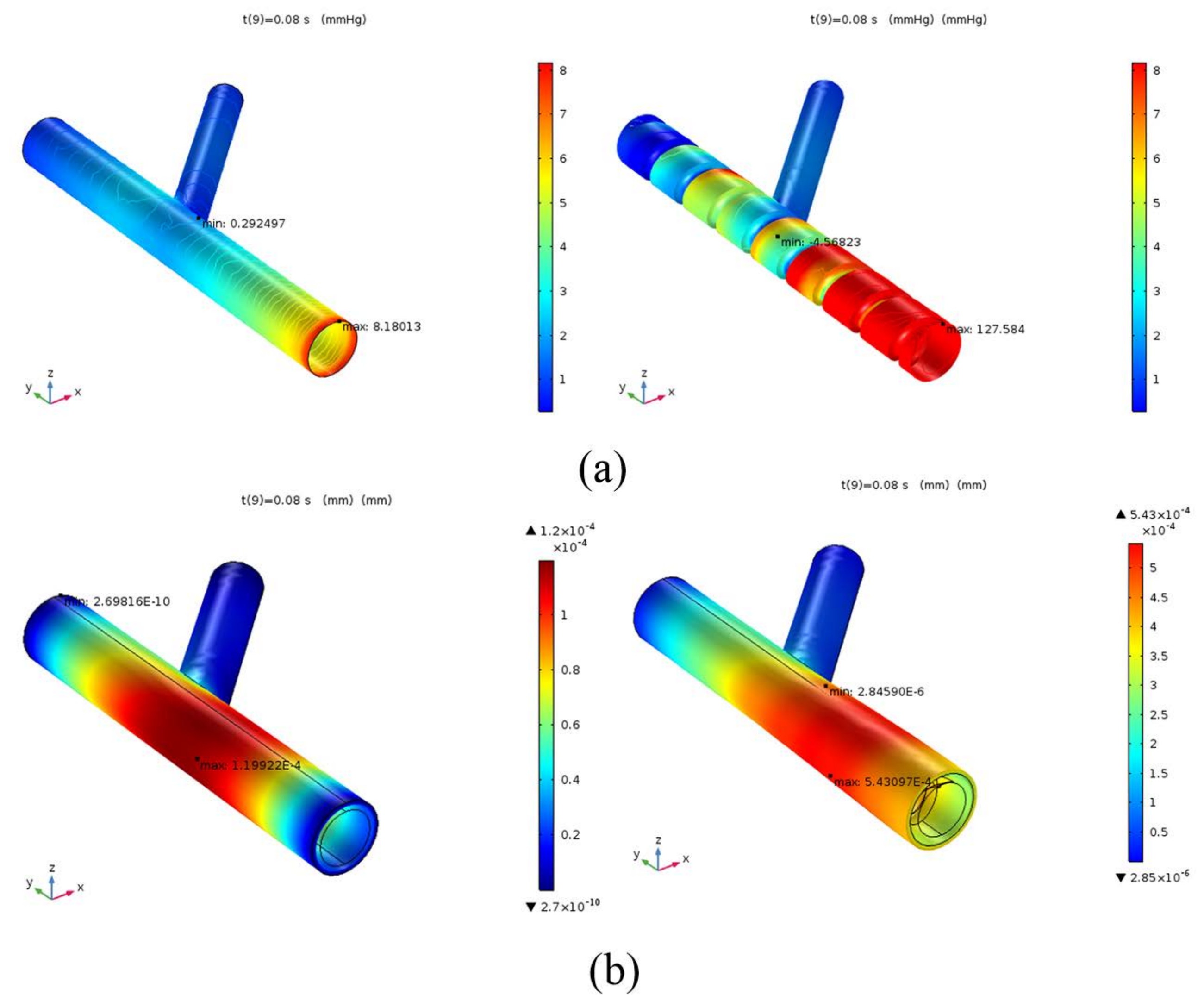


图 5. 光滑与褶皱内壁模型在0.08s (a) WSS与 (b) 形变

变量	数值	单位
血液密度	1050	Kg/m ³
动力粘度	0.00316	N·s/m ²
血管密度	960	Kg/m ³
泊松比	0.46	1

表 1. 参数设置

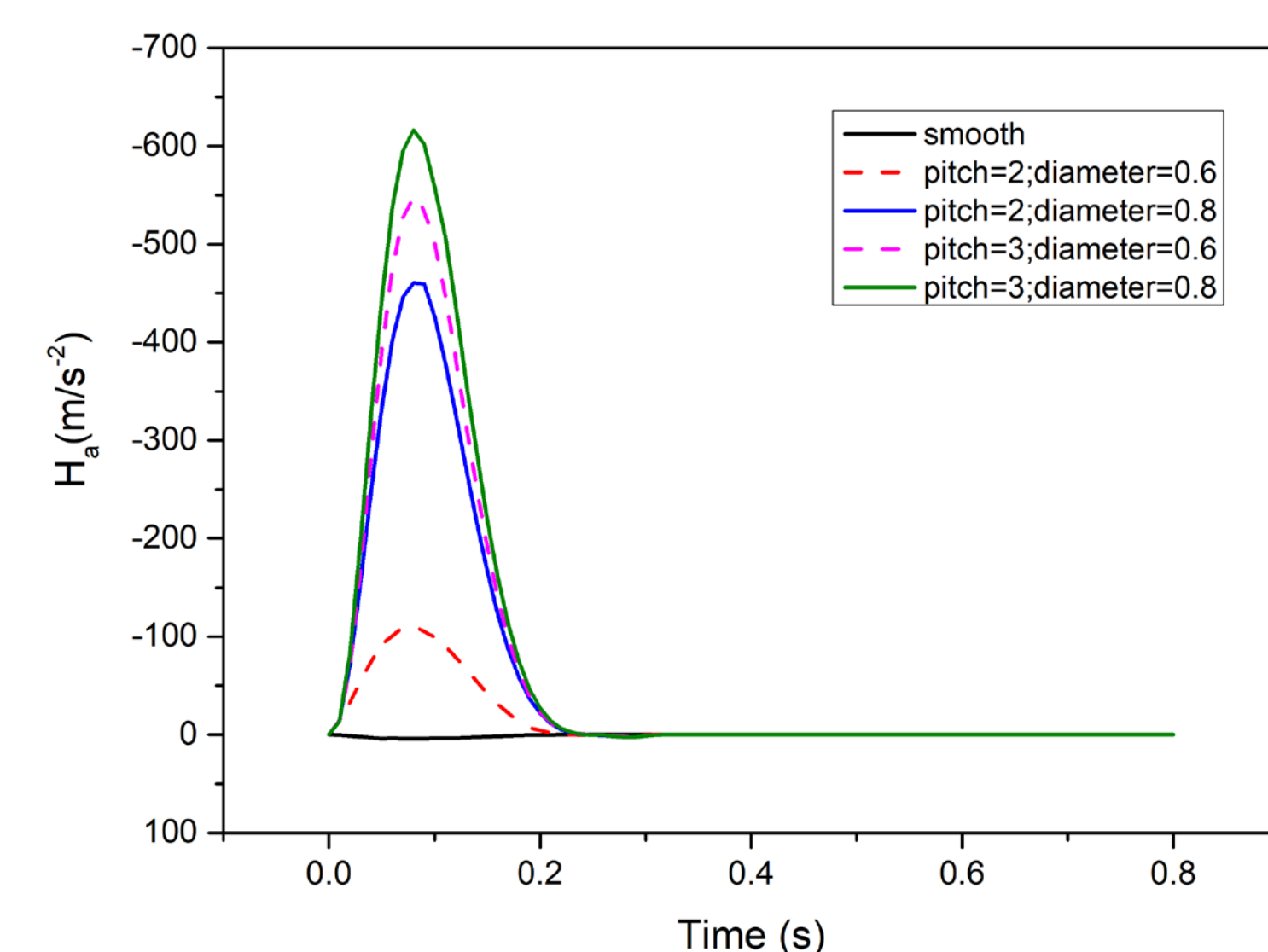


图 5. 不同褶皱尺寸对螺旋度H_a的影响

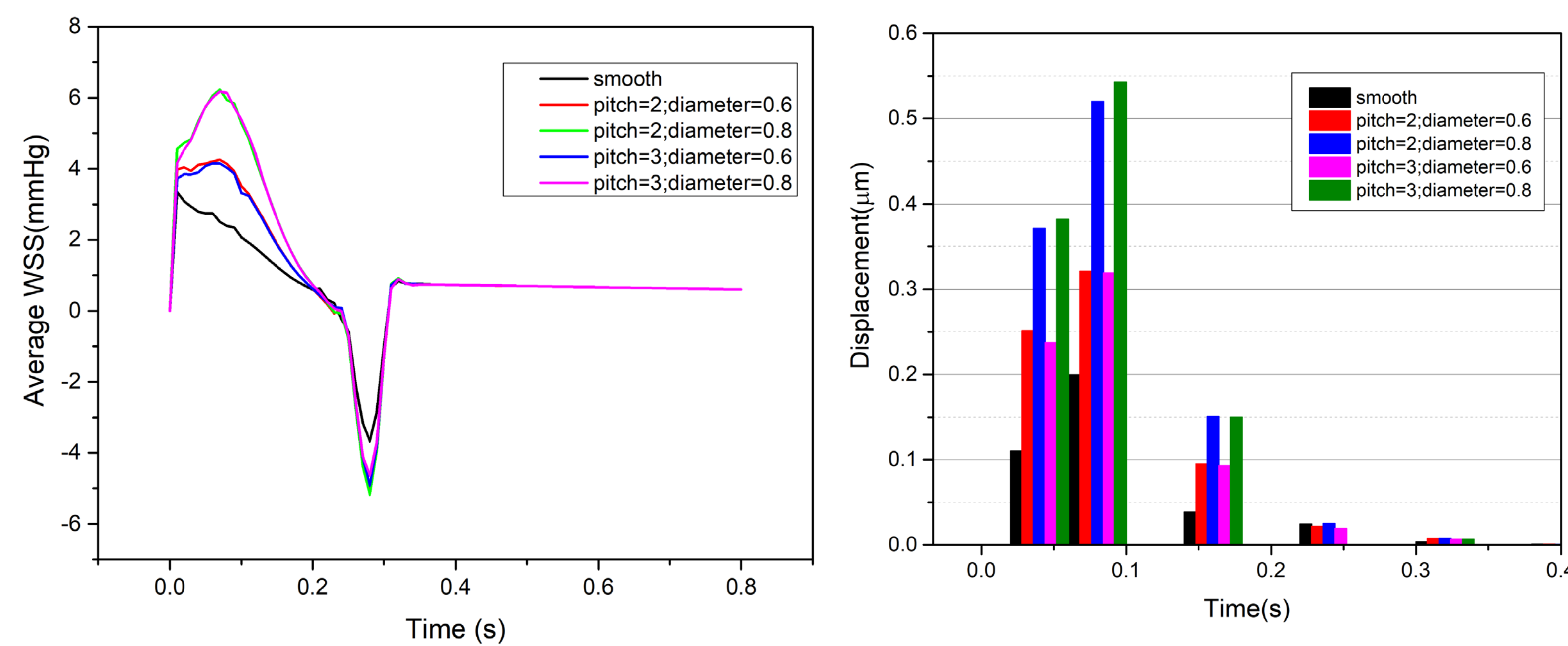


图 6. 不同褶皱尺寸对WSS及形变的影响

结果: 我们发现螺旋褶皱可以诱导旋动流的生产。另外旋动流可以增加壁面剪应力和变形, 还可以减缓支管分叉处的低速涡流区。其次, 我们分析了不同褶皱参数对旋动流的影响。

结论: 内壁含有螺旋褶皱的血管模型可以促进旋动流的生产, 且旋动流的强度的大小受褶皱尺寸的影响, 增加褶皱的节距和横截面积可以增加螺旋度密度, 但是节距的影响大于横截面积; 血管变形和平均壁面剪切应力随着横截面积的增加而增加。此结论为制备新型促旋动流人工血管提供了新的思路。

参考文献:

- (1) Liu X, Wang L, Wang Z, Li Z, Kang H, Fan Y, Sun A and Deng X. Bioinspired helical graft with taper to enhance helical flow. JOURNAL OF BIOMECHANICS 2016; 15: 3643-3650.
- (2) Chen Z, Zhang X, Deng X. Swirling flow can suppress monocyte adhesion in the flow disturbance zones of the endovascular stent[J]. Biorheology, 2012, 49(5-6):341
- (3) Stonebridge PA, Vermassen F, Dick J, Belch JJF and Houston G. Spiral Lamellar Flow Prosthetic Bypass Graft: Medium-Term Results From a First-In-Man Structured Registry Study. ANNALS OF VASCULAR SURGERY 2012; 8: 1093-1099.