

ステント留置による血管壁内応力集中および壁面せん断応力分布の局所的变化

Effect of Biomechanical Environment in Vessel Wall on Stent Restenosis

80816564 寺尾真美 (Mami Terao) Supervisor: 谷下一夫 (Kazuo Tanishita)

1 結論

狭窄した動脈内の開通性を確保するための血管内治療として、ステント留置が広く行われている。しかし、ステントを留置した患者で再狭窄が報告されており、その回避に関心が集まっている。再狭窄の原因として、ステント留置時のステントの拡張圧力による血管壁の障害[1]および血管壁に生じる壁面せん断応力(WSS)が誘発する内膜の過生成[2]が挙げられる。しかし、両者は分かれて議論が行われており、両者の関係性は調べられていない。

本研究では、ステント拡張によって血管壁に生じる応力集中および WSS 低下を数値解析で調べ、両者の形状に依存した関係性およびステント構造がおよぼす影響を調べた。

2 研究方法

2-1 有限要素解析

まず、血管でステント拡張時に血管壁に生じる応力分布を調べるため、有限要素法(FEM)を用いて血管内での冠状動脈ステント(Express 2, Boston Scientific)の拡張を解析した。解析は汎用 FEM ソフトウェア(Marc Mentat, MSC)で行い、ステントを血管で拡張時の血管壁の変形および応力分布を調べた。

2-2 数値流体力学解析

次に、FEM で得られた血管形状の内部に生じる WSS を調べるため、数値流体解析(CFD)を用いて血管内の流れを解析した。解析は汎用 CFD ソフトウェア(Fluent, ANSYS)で行い、ステントが留置された血管形状に血流が生じたときの WSS 分布を調べた。

2-3 ステントデザインの改善モデル

本研究では、ステント構造を操作することで構造が応力集中および WSS 分布に与える影響を調べた。ストラットを全て接続したモデルを Model 1, また軸方向に平行なストラットを3分の2に減らしたモデルを Model 2 とし、それぞれの応力分布および WSS 分布を調べた。

3 結果および考察

ステント拡張時に血管壁に生じる応力分布および WSS 分布を Fig. 1(a)および(b)に示す。同図より、ストラットが交わる部分が血管壁に接触すると局所的な応力集中が確認された。これは血管壁損傷の可能性を示唆している[1]。さらに、同じ部分で内膜新生を促進する WSS の低下が見られ、ステントによって変形した血管において内膜の過生成が生じる可能性を示している[2]。血管損傷および内膜過生成の部位が一致していることから、両者の相互作用による再狭窄の促進が推測される。

次に、ステントデザインを改善し、拡張時に血管のある断面で生じる長軸方向の応力および WSS の分布を Fig. 2(a)および(b)に示す。同図より、Model 1 では応力集中が緩和されたが、WSS は低下し、一方 Model 2 では WSS が全体的に上昇したものの、血管壁に高い応力集中が確認された。これは血管壁の応力集中がステントの接触面積に比例して改善されるのに対し、WSS 低下は進行することで生じると考えられる。よって再狭窄の原因となる応力集中および流れは形状に依存したトレードオフの関係にあるといえる。

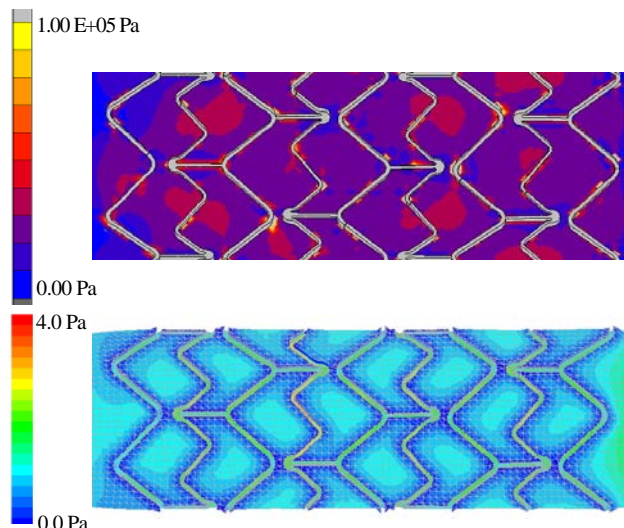


Fig.1 Stress(a) and WSS(b) distribution of an artery stented with Express stent

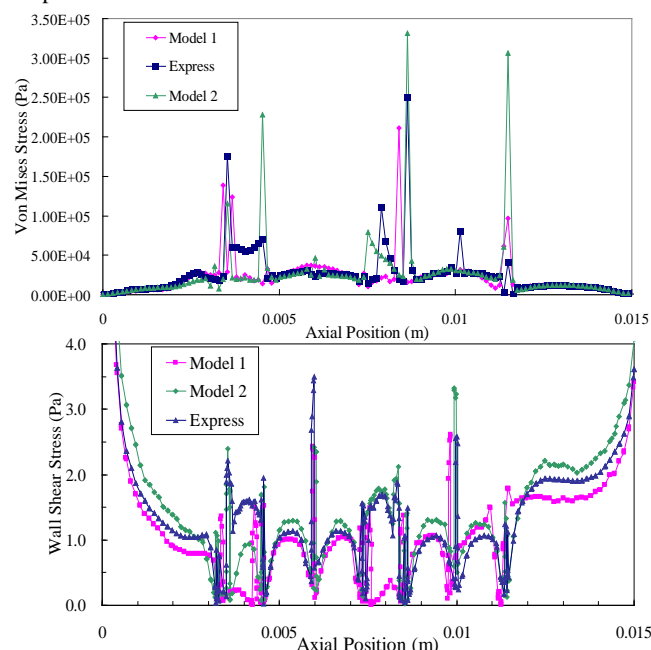


Fig.2 Stress (a) and WSS (b) distribution of an artery stented with 3 stent designs in a longitudinal cross-section

4 結論

- ・ 応力集中による血管損傷の可能性のある部位および低 WSS による内膜過生成の可能性のある部位は一致する。
- ・ 一点に集中するステントストラットの数を増やすと血管損傷を引き起こす可能性のある応力集中が回避されるが、内膜新生を引き起こす WSS の低下を招く

参考文献

- [1]H. Zahedmanesh et. al., *Med. Biol. Eng. Comput.* **47** :385-393 (2009)
 [2]J.Wenzel et. al., *Circulation* **104**: 91-96(2001)