

2008-09-03

脳動脈治療を目的とした脳血管ステントの生体力学的デザイン

Biomechanical Design of the Intracranial Stent for the Cerebral Aneurysm Treatment

80716477 正林康宏 (Yasuhiro Shobayashi) Supervisor 谷下一夫(Kazuo Tanishita)

1 結論

脳動脈瘤は脳血管の動脈壁に生成する瘤状の血管病変の一種であり、破裂すると死亡率の高いくも膜下出血などの脳内出血を発症する。脳動脈瘤の治療では、瘤への血流を遮断することで血栓形成を促進させ破裂を防ぐことを目的とし、最近ではカテーテルによる血管内治療が期待されている。

ステント治療は脳動脈瘤の血管内治療で近年最も注目される治療技術である。脳血管ステントには、頭蓋内の屈曲した血管形状に適応させるため、曲げ剛性などの力学的柔軟性が求められる。これらの力学的特性を考慮して、これまで open-cell 構造のステントが使用されてきた。しかし、この構造が血管壁内に損傷を与える可能性があるため^[1]、closed-cell 構造で力学的柔軟性の高いステントモデルが求められる。ステントの力学的特性はその構造に依存することが予測されるが、これまで closed-cell 構造のステントについて力学的特性の関係を研究した例は少ない。

そこで本研究では closed-cell 構造のステントのメッシュパターンを変化させ、そのときの力学的柔軟性を有限要素法により調べた、またステントサンプルを作成して、実験でその妥当性を検証した。

2 解析及び実験方法

2.1 ステントモデル

まず Fig.1 の様に 3DCAD プログラム Solid Edge (SIEMENS PLM Software) を用いて、ステントを構成するセル形状を変化させ、異なる構造を持つモデルを作成した。またこれらのモデルと力学的特性を比較するため、脳動脈瘤ステント Neuroform stent 3 (Boston Scientific, inc, USA) を用いた。

2.2 有限要素解析

有限要素解析ソフトウェア Marc.Mentat (MSC Software) で有限要素モデルを作成した。モデルは四面体二次要素で構成され、材料特性は Ni-Ti 合金の応力-ひずみ曲線^[2]を参考に、ステントに一定の曲率を与えた際に得られるモーメントを計算した。これより異なる構造を持つステントモデルの力学的特性を比較、評価した。

2.3 力学試験

ステントの 3DCAD モデルを基に DXF 形式の二次元図面を作成し、ステントサンプルを作成した。また、ステントの力学試験装置を作製して、曲げ試験を行い有限要素解析で得られた結果の妥当性を検証した。

3 結果及び考察

ステントサンプルの曲げ試験の結果を Fig.2 に示した。このグラフはステントサンプルに一定の曲率を与えた際にこれに要した曲げモーメントの変化を表している。これよりステントの構造によって各々の力学的挙動が異なることが分かる。これはモデルによってステントを構成するセルの幾何形状が

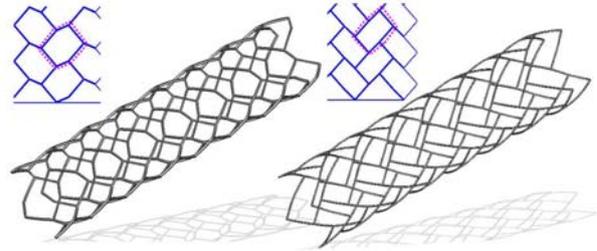


Fig.1 The 3D geometries and cell configurations of the stent

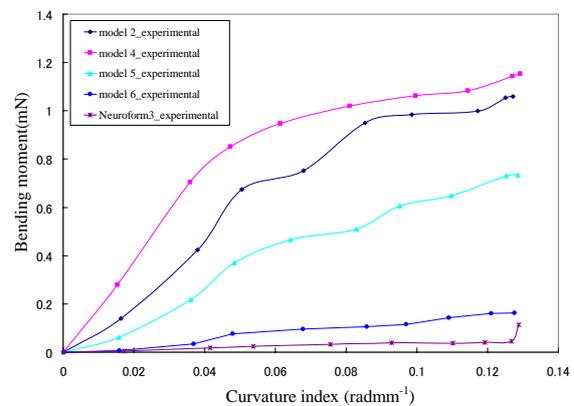


Fig.2 Bending moment-Curvature index curves relative to the models 2, 4, 5, 6 and Neuroform stent 3.

異なるため、これによりセル周辺のワイヤの角度が円周方向や長軸方向に対して変化し、ステント全体の変形に大きく影響しているためだと思われる。

ここで Fig.2 で各モデルの曲率とモーメントの変化曲線は、グラフの下側に位置するモデルほど、曲げ剛性が低く、柔軟性が高いことを示しており、これより model6 が作成したステントサンプルの中では最も柔軟性が高いことがわかる。またこのモデルにおいては open-cell 構造を持つステントである Neuroform Stent 3 に近い値も示した。これは model6 のステントを構成しているセルの幾何学形状が大きく影響しており、セルが円周方向に長い形状をしているため、ステントのワイヤが拘束されず変形しやすいためだと考えられる。

4 結言

・ステントの曲げ剛性の変化は構成するセルの幾何学形状に依存し、セルの幾何学形状が円周方向に長くなるとステントの曲げ剛性は低くなった。

・Closed cell 構造のステントでもセルの幾何学形状を変化させることによって open-cell 構造のステントに近い力学的柔軟性が得られた。

5 参考文献

- [1] R. T. Higashida et al., Initial Clinical Experience with a New Self-Expanding Nitinol Stent for the Treatment of Intracranial Cerebral Aneurysms, *AJNR Am J Neuroradiol* **26**(2005), 1751-1756.
- [2] Xiao-Yan Gong et al., Finite Element Analysis on Nitinol Medical Applications, Nitinol Device & Components, *IMECE, BED-Vol.53*. 1-2 (2002).