

自己拡張型大腸ステントが閉塞性大腸癌へ及ぼす 機械的刺激評価のための有限要素解析

A Finite Element Analysis for Mechanical Stimulation Evaluation of Self-Expandable Colonic Stent on Obstructive Colorectal Cancer

須賀一博¹⁾, 宮杉拓哉²⁾, 横田大空²⁾, 荒井皓一郎³⁾, 渡邊浩志⁴⁾

Kazuhiro Suga, Takuya Miyasugi, Sora Yokota, Koichiro Yokota and Hiroshi Watanabe

1) 博(工) 工学院大学 (〒163-8677 東京都新宿区西新宿1-24-2, E-mail: ksuga@cc.kogakuin.ac.jp)

2) 学(工) 元工学院大学 工学部機械工学科 (〒163-8677 東京都新宿区西新宿1-24-2)

3) 博(工) Hexagon (〒101-0054 東京都千代田区神田錦町2-2-1 KANDA SQUARE 16階)

4) 博(工) 株式会社テクスパイア (〒102-0083 東京都千代田区麹町3-3-8 麹町センタープレイス4階)

This study aims to establish a finite element method to evaluate the mechanical stimulation of self-expandable colonic stents on occluded colorectal cancer tissue. First, the influence of the analytical model and analytical conditions on the simulation of stent deployment force is evaluated, and a stent model is developed. Next, we simulate the deployment of the stent in the affected area of obstructive colorectal cancer and attempt to evaluate the mechanical stimulation exerted by the stent on the obstructive colorectal cancer tissue.

Key Words : JSCES Conference, Times, *Italic 9pt*

1. 諸言

閉塞性大腸癌に対するステント治療では、大腸癌組織への強い機械的刺激が予後を悪化させる可能性が示唆されている。また、ステントが留置部からずれる逸脱や腸管に穴が開く穿孔といった合併症の発生リスクに機械的刺激が影響する。機械的刺激を制御することで予後改善と合併症リスク低減を実現する大腸ステント治療の確立が期待されている。そのためには、ステントが大腸癌組織に及ぼす機械的刺激の把握することが不可欠である。しかし、臨床においては、ステントが癌組織へ与える機械的刺激は直接計測できない。本研究の目的は、ステントが大腸癌組織へ与える機械的刺激を有限要素解析で予測することである。目的達成のため、解析手法の妥当性評価を試みる。本報告では、まず、解析条件として時間刻み幅、要素分割、収束判定条件が解析結果に与える影響を評価する。次に、実験に合うように材料定数をキャリブレーションする。

2. ステントの有限要素モデル

(1) 形状モデル

Boston Scientific社のWallFlex Colonic Stent^[1]を参考に、ステントの形状モデルを作成した。ただし、解析条件を変更した解析を繰り返し行うため、解析時間の低減を目的に、ステントワイヤーの本数とステント全長を変更した。ステント本数は、12本から3本へ変更した。ステント全長120 [mm]から41.5 [mm]へ変更した。ステント直径は22 [mm]、ステント構成するワイヤーの直径は0.2 [mm]と製品と同じにした。ワイヤーの軌道は、pyformex^[2]を用いて

生じた。ステントの形状モデルを図-1に示す。

(2) 材料モデル

ステントワイヤーの材料は、NiTiである。NiTi材料の材料挙動は、Auricchioらの材料モデル^[3]で再現する。材料定数は、文献^[4]を参考に決定した。

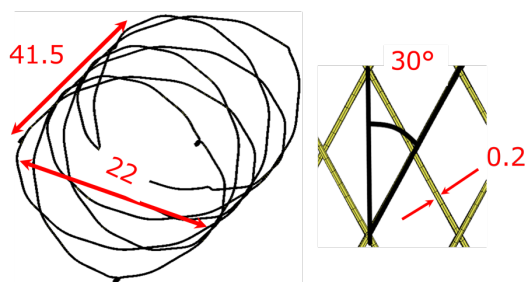


図-1 ステントの形状モデル

(3) 展開力評価

無負荷状態のステントを6枚の板を用いて均等に押し込む。その後、無負荷状態まで拡張させる。このとき、6枚の板に生じる反力の合計をステントの展開力とする。

3. 解析条件の影響

解析条件を決定するために、有限要素解析条件が解析で得られたステント展開力に及ぼす影響を調べる。解析条件として、時間刻み幅、要素分割、収束判定条件を考慮した。これら3つの条件を系統的に変化させて解析で得られたステント直径と展開力の関係性を評価した。要素分割には六面体一次要素を用いた。汎用有限要素解析ソフト

MSC Marcを用いて有限解析をした。解析に用いたCPUは、Ryzen 9 7900(3.7GHz)である。

(1) 時間刻み幅

要素の平均寸法を0.1 [mm]、収束判定条件の閾値を0.1として、時間刻み幅を0.01 [s]、0.02 [s]、0.05[s]と変化した。得られたステント直径と展開力の関係を図-2に示す。各凡例の右の数字は解析時間を表す。時間刻み幅と0.02 [s]で、拡張力の推移が収束した傾向を見せた。解析時間を考慮し、時間刻み幅を0.02 [s]とした。

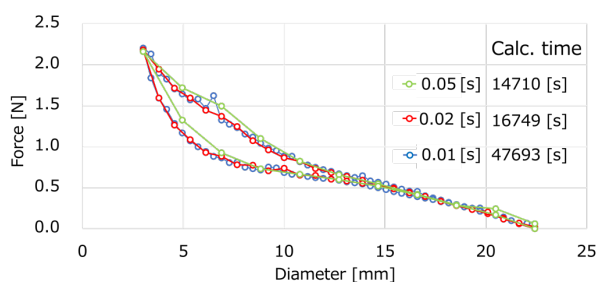


図-2 時間刻み幅の影響

(2) 要素分割

時間刻み幅を0.02 [s]、収束判定条件の閾値を0.1として、平均要素寸法を0.1 [mm]、0.2 [mm]、0.4[mm]と変化した。得られたステント直径と展開力の関係を図-3に示す。平均要素寸法が小さくなるにつれ、拡張力の違いは小さくなる傾向を確認した。展開の初期であるステント直径が3から8 [mm]の範囲において、解析結果に大きな差が生じている。0.1 [mm]と0.2 [mm]で要素分割した解析結果では、最大0.5 [N]程度、およそ30%の差が生じた。一方で、ステント直径が8 [mm]以上となる範囲では、同様の比較において、最大0.1 [N]程度、およそ10%の差となった。さらに、平均要素寸法を0.05 [mm]とすると解析が実行できなかった。以上から、平均要素寸法を0.1 [mm]とした。

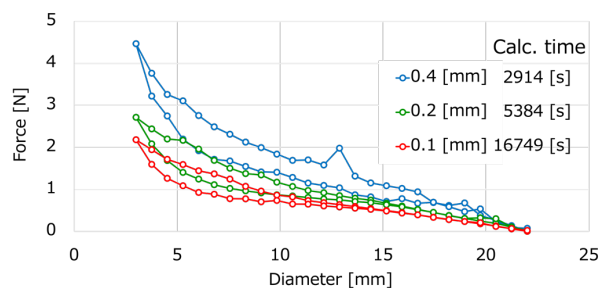


図-3 要素分割の影響

(3) 収束判定条件

時間刻み幅を0.02 [s]、要素分割を0.1 [mm]として、収束判定条件の閾値を0.0011, 0.01, 0.1と変化した。得られたステント直径と展開力の関係を図-4に示す。収束判定条件の違いによる拡張力の違いは、小さいことが確認できた。収束判定条件の閾値が0.01と0.1の場合を比較すると、

展開力は、最大で0.5 [N]程度、およそ8%の差が生じた。収束判定条件の閾値が0.001と0.01の場合を比較すると、展開力は、最大で0.02 [N]程度、およそ2%の差であった。解析時間を考慮し、収束判定条件の閾値を0.01とした。

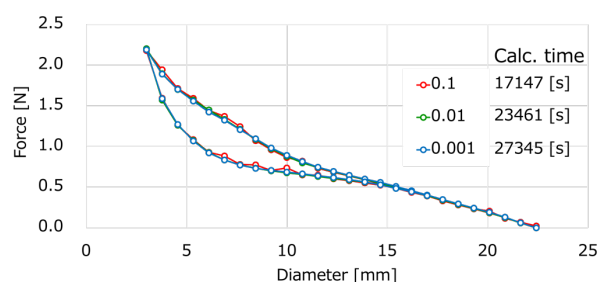


図-4 収束判定条件の影響

4. 実験結果との比較

決定した解析条件を用いて解析した展開力を実験結果^[5]と比較した。比較結果を図-5に示す。材料定数は文献^[4]から変更している。

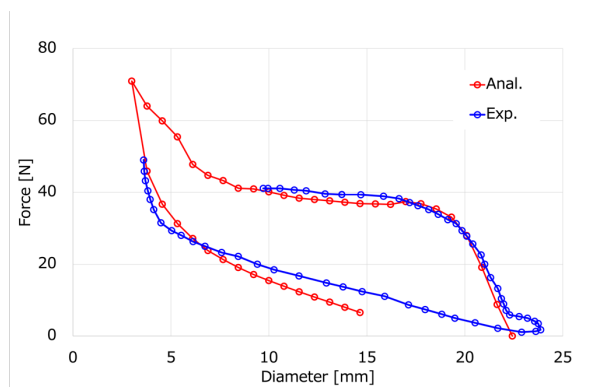


図-5 実験結果との比較

参考文献

- [1] WallFlex, <https://www.bostonscientific.com/en-US/products/stents--gastrointestinal/wallflex-colonic-stents.html>.
- [2] pyFormex, <https://www.nongnu.org/pyformex/>.
- [3] Ferdinando Auricchio et al.: Shape-memory alloys: macromodelling and numerical simulations of the superelastic behavior, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol. 146,1997, pp. 281-312.
- [4] S. Puértolas, D. et al., A methodology for the customized design of colonic stents based on a parametric model, Mechanical Behavior of Biomedical Materials, 71, 2017, pp. 250-261.
- [5] Takashi Sasaki et al.: Comparing the mechanical properties of a self-expandable metallic stent for colorectal obstruction: Proposed measurement method of axial force using a new measurement machine, Digestive Endoscopy2021,33, pp.170-178.