

血管内カテーテル/ガイドワイヤシミュレータ (計算結果と医用画像との比較)

高嶋一登¹, 太田信², 葭仲潔³, 向井利春¹, 大田慎三⁴

理化学研究所 基幹研究所 理研-東海ゴム人間共存ロボット連携センター¹

東北大学流体科学研究所² 東京大学大学院工学系研究科³

大田記念病院⁴

Catheter and guidewire simulator for intravascular surgery (Comparison between simulation results and medical images)

Kazuto Takashima¹, Makoto Ohta², Kiyoshi Yoshinaka³, Toshiharu Mukai¹, Shinzo Ota⁴

RIKEN-TRI Collaboration Center for Human-Interactive Robot Research, Advanced Science Institute, RIKEN¹

Institute of Fluid Science, Tohoku University²

Department of Bioengineering, The University of Tokyo³

Oota Memorial Hospital⁴

1. はじめに

著者らは、脳血管内でカテーテルを安全に操作誘導するための血管内カテーテル/ガイドワイヤシミュレータを開発してきた^[1,2]。これまで、トーラス形状に理想化した血管モデルの中でガイドワイヤに押し・ねじり動作をそれぞれ加えたときの挙動を調べ、シミュレーションに用いるパラメータの基礎検討を行ってきた。しかし、実際には、医用画像から患者個別の症例に対応した血管モデルの構築を行う必要がある。

そこで本研究では、Willis 動脈輪近位部に動脈瘤がある症例の脳血管撮影画像より構築した血管モデルを用いたシミュレーションを行った。医用画像としてはガイドワイヤを挿入した状態のものを用い、実際の挿入位置と計算結果を比較し、本シミュレータの validation を行った。

2. 解析方法

ガイドワイヤは、円筒形の剛体セグメントが仮想弾性ばねと粘性ダッシュポットで直列結合した多関節リンクと仮定した。曲げ・ねじり変形は、3 自由度の回転機構を与え、関節の粘弾性にて記述した。個々のセグメントの運動は並進と回転を考え、各セグメントの接触時の接触力を求め、Newton-Euler 運動方程式を用いて定式化した。また、ガイドワイヤの根元は固定されたカテーテル内に挿入した。

血管は内径が均一な弾性円筒と仮定した。血管の中心曲線を数値データで与え、その各中心点を中心とする円筒を設定し、血管モデルを形成した。本研究では、動脈瘤を撮影した各断面画像 (DICOM 形式) を 2 値化して血管領域を抽出し、重心位置を求め、それを積み重ねて血管の中心線データとした。さらに、実際の画像上のガイドワイヤの位置も同様に求めて、シミュレーション結果と比較した。なお、研究はヘルシンキ宣言に則り、被験者のインフォームド・コンセントを得て行った。また、大田記念病院の倫理委員会の承認を得た。さらに、血管の形状を表す特徴量として曲率、振れ率を計算し、シミュレーション結果への影響を検討した。

ガイドワイヤと血管との接触力の算出のために、まず、ガイドワイヤモデルの各セグメントの端点と血管モデルの中心線との距離を求めた。その後、その距離をガイドワイヤと血管間のクリアランスと比較し、ガイドワイヤが血管を押し込んだ量に応じて接触力を算出した。

シミュレーションを大腿動脈の挿入部位から患部まで計算するのによいかもしいが、実際に挿入が難しいのは患部近傍である。そのために患部近傍まで挿入した状態から押し・引きを加えたときのガイドワイヤの軌道・血管から受ける反力を調べた。

3. 結果および考察

計算例を図 1 に示す。ガイドワイヤの根元の押し・引きを繰り返すにつれて、ガイドワイヤの先端が実際の位置 (画像上に黒い線のように表示されている部分) に近づいていった。本研究では、患部近傍から挿入したが、実際の位置に近くなった。このような手法によって最終位置を推定することができる。

参考文献

- [1] 高嶋一登ほか: カテーテルシミュレータの開発 (第 1 報, ガイドワイヤ・血管の特性の評価) . 機論, 72-C(719) : 2137-2144, 2006.
- [2] 高嶋一登ほか: カテーテルシミュレータの開発 (第 2 報, ガイドワイヤのトルク伝達性の評価) . 機論, 73-C(735) : 2988-2995, 2007.

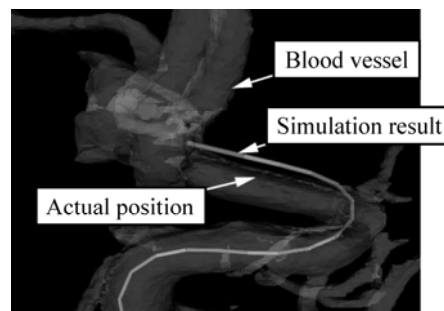


図 1 計算例