

動脈硬化評価指標からの血管物性推定に関する研究

情報科学科 酒井 拓哉

指導教員：神山 斉己

1 はじめに

現在、循環器系疾患が日本人の死因の第2位を占めており、その主な要因は動脈硬化症である。動脈硬化症は、血管壁が部分的または全体的に硬化する現象のことであり、これに伴う血流や血圧の変化を観測することで診断される。代表的な方法としては、脈波伝播速度 (PWV:Pulse Wave Velocity) や CAVI(Cardio-Ankle Vascular Index) 等が知られている。これらの方法の基本的な考えは、異なる部位で得られた測定値の差分について、循環器系の解剖学的知見からモデル解析するものである。しかし、現在利用されている方法では、このモデルとして単純な導管が想定されている。

一方、全身の動脈系を対象とした血流伝搬解析モデルが Avolio により提案されている [1]。これを利用することで、より多くの観測点での情報を統合的に分析できるため、従来では分かり得なかった空間的な情報を得られる可能性がある。本研究では、こうした考え方にに基づき、循環器系モデルによる空間的動脈状態の分析手法の確立を目指す。そのため、簡易的な人体モデルを提案し、このモデル上で空間的に血管の状態が推定可能かについて、数値実験により評価を行った。

2 推定手法

2.1 適用モデル

Avolio により提案されたモデルでは、血流と血圧を電流と電圧とした等価回路で表せることに基づき、このセグメントを 128 個接続することで全身の動脈系を表現している。

モデルの内部パラメータとしては、ヤング率 E 、動脈径 r 、血管壁厚 h などがある。観測した血管状態を入力とし、血流モデルのシミュレーション結果としてこの状態が再現できるように内部パラメータを調整することで、血管の内部状態を推定し得ると考えられる。この観点に基づき、血管状態の取得方法を提案する。

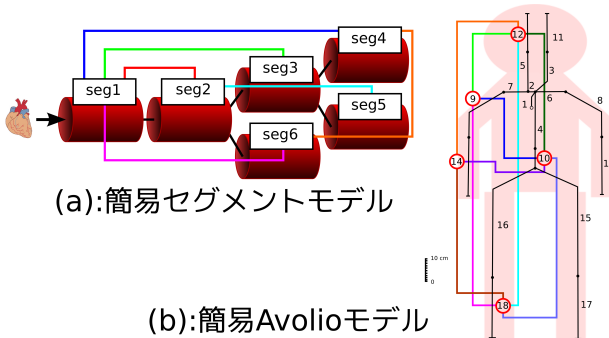


図1 検証モデル

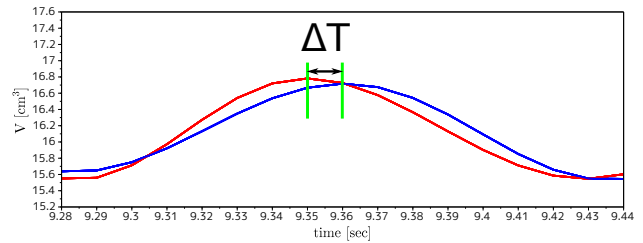
本研究では、図1(a)に示した評価用の簡易セグメントモデル、図1(b)に示した Avolio モデルを 18 セグメントに簡略化したモデルについて、数値実験により評価を行った。

2.2 パラメータ推定手法

あらかじめ真の内部状態を決定し、その時のモデル応答から PWV を計算した。そして、内部パラメータである血管壁の弾性の強さを表すヤング率 E を未知パラメータとした際、最適化によりヤング率 E を推定できるかを検証する。

また、PWV は図1の (a) 6 つ全てのセグメント、(b) 赤丸で示した 5 つの観測セグメント (9,10,12,14,18) において、図2に示す観測セグメント間の容積変化の時間変化と距離により式(1)

$$PWV = \frac{2 \text{ 点間の距離 } (D)}{\text{容積変化の時間差 } (\Delta T)} \quad (1)$$

図2 容積変化の時間差 ΔT

最適化法としては、局所的な収束に関する問題を回避するため、表1の条件に設定した遺伝的アルゴリズム (GA:Genetic Algorithm) を利用した。なお、評価量は、式(2)をのものを用いた。

表1 遺伝的アルゴリズムの最適化条件

個体数	交叉率	突然変異率	終了世代数	試行回数
100	0.7	0.1	(a)20,(b)10	20

$$J = \sum \left| \frac{PWV_{model} - PWV_{estimate}}{PWV_{model}} \right| \quad (2)$$

3 推定結果

図3と図4は、前述の推定を複数回試行し、推定結果の平均と標準偏差を示したものである。青点が真値であり、赤点及びエラーバーは推定値の平均と標準偏差に対応している。

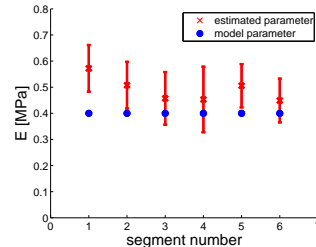


図3 簡易セグメントモデル

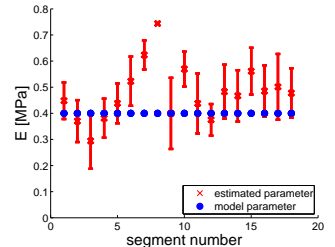


図4 簡易 Avolio モデル

図1(a)の簡易セグメントモデルについては、世代数の影響もあるが概ね真値に近い値を推定できた。また図1(b)の簡易 Avolio モデルについては、赤丸で示した5つの観測セグメント及びその間の経路上については概ね良く推定できているが、セグメント 6,7,8,10,15 については真値と異なる結果となった。

4 まとめ

本研究では、観測情報を複合的に利用するための血流モデルに基づいた基礎的な解析方法について提案し、数値実験により評価を行った。結果として、部分的な観測状態からもある程度の精度で血管物性を推定できる可能性があることを確認できた。

今後の課題としては、この手法を適用する範囲を拡大することや、終了世代数等の最適化条件を調整することでより詳細な推定を行うことが挙げられる。

参考文献

- [1] A.P.Avolio(1980), "Multi-branched model of the human arterial system", Medical & Biological Engineering & Computing, 1980, 18, 709-718