

カフ圧を考慮した全身動脈モデルのシミュレーション

情報科学科 末藤 萌々香

指導教員：神山 斉己

1 はじめに

現在、心疾患や脳梗塞などの循環器系疾患は日本人の主要な死因の一つであり [1]、循環器系疾患の代表である心筋梗塞や脳梗塞などは動脈硬化が進行することによって発症することが知られている。このような動脈硬化の進行状態を把握するための指標の一つとして血圧が挙げられる。オシロメトリック法に代表される無侵襲血圧計測法は、カフ圧を徐々に低下させた時のカフ下動脈の体積変化情報を利用して血圧を決定しようとするものである。カフ圧を加えた際、全身動脈系において測定が行えない箇所の高血圧変動については数値シミュレーションを行うことで影響を把握することが出来る。

数値シミュレーション手法としては様々なものが考えられるが、その一つとして MATLAB/Simulink が挙げられる。MATLAB/Simulink はブロックを接続していくことによってモデルの作成が可能であり、用いることによって視覚的にも分かりやすいシミュレーションを行うことが出来る。そこで本研究では MATLAB/Simulink を用いた、任意の位置にカフ圧を加えた際の全身動脈系の数値シミュレーションを行う。

2 モデルの構成

Naik らは全身動脈系の数値シミュレーションモデルを構築した [2]。動脈は図 1 のように円筒形の血管であり、動脈の壁は弾性を持っている。集中定数モデルを用いることでヒトの心血管系全体を抵抗、コンプライアンス、インダクタンスのネットワークとして記述することが出来る。モデルでは動脈系を複数のコンパートメントに分けて表現しており、それぞれに抵抗器-コンデンサ-インダクタンス素子が含まれている。このパラメータは対応する血管の半径、長さ、血液の粘度と密度、血管の弾性のヤング率に応じて計算される。

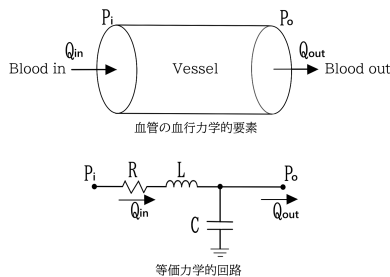


図1 血管と電気部品の等価性

動脈は先端、中間、末梢部分において異なる式で表現される。そのモデル式を以下に示す。

【先端部分】

$$\frac{dP_{in}}{dt} = \frac{2(Q_{in} - Q_1)}{C_1} \quad (1)$$

$$\frac{dP_1}{dt} = \frac{2(Q_1 - Q_2)}{C_1} \quad (2)$$

$$\frac{dQ_1}{dt} = \frac{P_{in} - P_1 - R_1 \times Q_1}{L_1} \quad (3)$$

【中間部分】

$$\frac{dP_n}{dt} = \frac{Q_n - Q_{n+1}}{C_n} \quad (4)$$

$$\frac{dQ_n}{dt} = \frac{P_{n-1} - P_n - R_n \times Q_n}{L_n} \quad (5)$$

【末梢部分】

$$\frac{dP_{out}}{dt} = \frac{Q_n - \frac{P_{out}}{Z_L}}{C_n} \quad (6)$$

$$\frac{dQ_n}{dt} = \frac{P_{n-1} - P_n - R_n \times Q_n}{L_n} \quad (7)$$

このモデルを用いることにより、特定の動脈の血圧や血流量を計算することが可能となる。

3 全身動脈系の数値シミュレーション

図2は Naik らのモデルを基に MATLAB/Simulink で作成したモデルの一部である。この図は大動脈弓を表現したブロックの内部を示している。

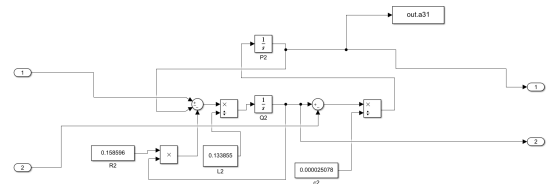


図2 作成した MATLAB/Simulink のモデル図

血管を表現したブロックを図3のように繋げていくことによって全身動脈系の様子を再現している。

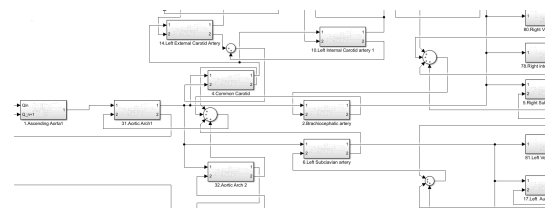


図3 ブロックの接続図

4 まとめ

本研究では MATLAB/Simulink を用いて、全身動脈モデルを構築した。構築したモデルは血管セグメントとブロックが視覚的に対応づけられているため、カフ圧に伴う特性変化や血管閉塞など、特定のセグメントのパラメータ変更時の血流動態のシミュレーションを容易に行うことが出来るようになった。

参考文献

- [1] 厚生労働省, "令和元年人口動態統計(確定数)の概況", https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/kakutei19/d1/15_all.pdf
- [2] Ketan Naik, Mathematical Modelling and Simulation of Human Systemic Arterial System, July 2014, pp.142-148