

ずり応力の影響を考慮したFMD検査データの解析

情報科学科 武田 友香

指導教員：神山 斉己

1 はじめに

日本人の死因の大きな割合を占めている循環器系疾患は、動脈硬化が主な原因になっている [1]. 動脈硬化とは、血液を全身に送り出す重要な役割を担っている動脈が、部分的または全体的に硬化する現象のことである。動脈硬化の初期段階である、血管内皮機能の低下を超音波装置を用いたエコー画像により、非侵襲的に評価する方法としてFMD検査がある。これは動脈硬化の早期診断が可能である。FMD検査では、超音波診断装置を用いて上腕動脈を描出し、平均血流速度および血管径の測定を行う。まず、安静時血管径の測定を行い、前腕部をカフによって5分間駆血をする(動脈血流を完全に遮断するために、駆血用カフは収縮期血圧プラス30~50mmHg以上で加圧・維持する)。駆血状態から血流を解放することによって、急激な血流の増加(反応性充血)を引き起こし、血管内皮へのずり応力が増加する。その結果、血管内皮細胞から血管拡張物質が放出され、血管平滑筋細胞に作用することによって上腕動脈拡張が生じる。FMD検査は、この時の血管の拡張具合により血管内皮機能の評価する検査である。

しかし、FMD検査は血流速度と動脈径の時間的なデータに含まれる情報を十分に活用しておらず、血管がどのように、あるいはなぜそのように反応したのかについての情報を提供していない。本研究では、ずり応力による影響と動脈径応答の両方を記述する、FMD検査からパラメータを導出するためのモデルを用いて、パラメータの推定を行いこのパラメータがどのような影響を及ぼしているのかの評価を行う。

2 モデルについて

Vanらは、shear exposure(ずり応力による影響)に対する上腕動脈径の応答を調べるために、exposure-responseモデルを提案した [2]. このモデルは、Shear Exposureモデル(ずり応力にさらされた時の影響に対するモデル)とDiameter Responseモデル(上腕動脈径のモデル)の2つの部分から構成されている。Shear Exposureモデルでは、まずFMD検査時の血流速度を表す微分方程式を以下の式(1)のように定義している。 V_{max} は最大血流速度、 λ_v は速度減衰率、 V_{SS} は定常状態の速度を表している。

$$\frac{\partial V(t)}{\partial t} = V_{max}e^{-\lambda_v t} - [V(t) - V_{SS}] \quad (1)$$

また、Diameter Responseモデルでは、カフ解放後の時間 t における上腕動脈径 $D(t)$ を以下のような式(2)で表した。

$$D(t) = D_0 - R_{constrict} + R_{dilate} \quad (2)$$

$R_{constrict}$ と R_{dilate} はそれぞれ負の血管収縮反応と正の血管収縮反応を表している、以下の式(3)(4)で算出している。 $E_{max_{const}}$ は最大の収縮変化、 $EC_{50_{const}}$ は血管収縮を刺激するためのずり応力、 $\Delta\gamma_{cum}$ はずり応力、 C_d は拡張反応の速度を記

述する時定数、 S_{dilate} は $\Delta\gamma_{cum}$ と動脈径の拡張の関係を定義するパラメータを表している。

$$R_{constrict}(t) = \frac{E_{max_{const}} \times \Delta\gamma_{cum}}{EC_{50_{const}} + \Delta\gamma_{cum}} \quad (3)$$

$$\frac{dR_{dilate}(t)}{dt} = \frac{1}{C_d}(S_{dilate} \times \Delta\gamma_{cum} - R_{dilate}) \quad (4)$$

これらの式を用いて実際に計測されたFMDデータのサンプリングを行い、フィッティングをし、パラメータを推定する。そしてパラメータによる影響を解析する。

3 パラメータ推定

パラメータの推定は最小二乗法を用いて行った。FMD検査における血流速度の波形と、その血流速度のデータから式(1)のパラメータ λ_v を推定したものをそれぞれ図1,2に示す。

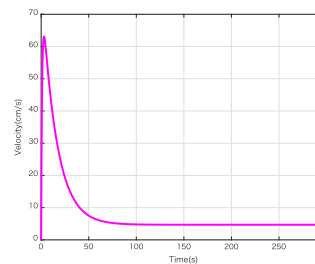


図1 血流速度

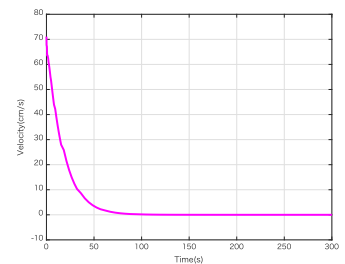


図2 推定結果

図2より、指数関数的な減衰を確認することができた。式(1)の指数関数の特徴が表されていると言える。同様にして、動脈径の数式からもパラメータの推定を行う。

4 まとめ

本研究では、ずり応力の影響が考慮された方程式を用いて、FMD検査データの解析を行った。FMD検査で得た血流速度と動脈径のデータを用いてパラメータ推定を行うことで、ずり応力がFMD検査にどのような影響を与えるかを解析した。今後は、パラメータ推定の精度を上げていくことが課題である。

参考文献

- [1] 厚生労働省, "令和元年(2019)人口動態統計月報年計(概数)の概況", <https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/geppo/nengai19/dl/gaikyouR1.pdf>
- [2] Van Brackle CH, Harris RA, Hallow KM. Exposure-response modeling of flow-mediated dilation provides an unbiased and informative measure of endothelial function. (2016)