430 循環系マルチスケールシミュレーションのための全身動脈血管系の 3次元計算力学的モデルの構築

Development of An Arterial Tree, 3D Computational Mechanical Model for A Multi-Scale Circulatory Simulator

○ 小山 智億 (千葉大院) 正 姫野 龍太郎 (理研) 正 劉 浩 (千葉大)

Tomooku KOYAMA, Graduate School, Chiba University, Yayoi-chou1-33, Inage-ku, Chiba

Ryutaro HIMENO, Riken

Hao LIU, Chiba University, Yayoi-chou1-33, Inage-ku, Chiba

Key Words: Computational Mechanical Model. Multi-Scale Circulatory Simulator

1. 緒言

循環系のバイオメカニクスの研究は、血管や細胞などの各スケールにおいて生体の部分的要素の力学モデルに関する確度を上げることにより主眼がおかれていたが、実際体内で起きている現象とは本質的な違いがある。今後生体現象の多重スケールや多物理の全体図を解明するためには、マルチスケール・マルチフィジックスの広義の連成解析を可能とする循環系統合システムの開発が必須である。

我々は、ヒト循環器系の多重スケールにおける循環機能を、血管系の精密な形態学、材料特性および力学のモデルに基づき、総合的に評価できる循環系マルチスケール力学シミュレータの構築を目指す。このシミュレータでは、内皮細胞から大血管に至るスケール毎のモデリングの大規模な統合に基づき心臓などの臓器や動脈・静脈血管系の循環機能への統合的シミュレーションを可能とするため、ヒト循環器シミュレータの一つのプラットフォームを提供すると同時に、多重スケールにおける循環機能への総合的理解が可能となる。本研究は、この循環器系シミュレータの一環として全身動脈血管系モデリング及び計算力学モデリングを行う。

2. 動脈血管系の3次元計算力学的モデルの構築

モデルを作成するにあたって使用したのは Visible Human Project の画像に基づき作成された Voxel-Man 3D Navigator の画像である。そのソフトより正面と右方向から見た画像を取り出し、各血管の芯線の座標、径の値を 3D CAD ソフト Rhinoceros v.3.0 を用いて抽出した。Fig.1 にその作業工程の一例を示す。

Fig1. Tracing aorta

また、今回血管の径は円近似とした。次に抽出したデータを劉氏が作成した計算格子作成プログラムに通し 3D 形状デー

タと計算格子データの構築を同時に行った。

これらのモデルを可視化ソフト Field View v.10 により可視化した。今回作成した動脈血管は合計 266 本である。今回は一プロトタイプの動脈血管系モデルの構築を最大の目標としている。Voxel-Man 3D navigator には首の部分の画像データが存在しないため、その部分は一般化された解剖学的形状を参考にしてモデル化した。(Fig.2)

3. 考察

モデルの妥当性について評価するために Voxel-Man 3D navigator から取り出した元画像と作成したモデルを重ね合わせて比較したのが Fig.3 である。重なり具合から分かるように、動脈血管系のトポロジーや血管形状が、形態学的には比較的高い精度でモデルを作成することができた。

一方、今回使用した Voxel-Man 3D navigator の画像は、大動脈や頸動脈から直径数ミリまでの血管などの輪郭の比較的高い精度で再現できているが、また芯線・径ともに正確に抽出することができたように思われるが、末端の 1 ミリ以下の細動脈などの小さい血管までは十分な精度で再現できていなかったため、細動脈の多い臓器付近や脳内の末梢などの血管モデルの正確性に少なからず影響を及ぼしたと思われる。そのため、元画像の質の向上が最終的なモデルの質の向上に直接つながっているといえる。例えば、CT 画像を用いてモデルの構築を行う場合については、スライス間隔の小さい画像の使用がモデルの質の向上には不可欠である。また、今回は首部分の画像データが存在していなかったため、その分の血管精度は確かめる事が難しい。そのため、画像の質に加えて多くの血管を広い範囲で捉えている画像の重要性も大きいといえる。

4. 結言

本研究で作成した動脈血管系幾何学及び計算力学モデルは一プロトタイプのものであり、今後これを土台に、個人の医用画像に基づき、個人別な 3次元計算力学的モデルを作成する必要がある。そのために更にマトリクスを用いたマッピング手法を開発し、本血管系モデルを基に個別モデルへ効率的な拡張を目指す。また、本動脈血管系モデルを用いて並列計算による全身血流動態の解析を行う予定である。

Fig.2-1 Voxel-Man image
(Front)

Fig.2-2 An arterial tree model
(Front)

Fig.2-3 Voxel-Man image
(Side)

Fig.2-4 An arterial tree model
(Side)

Fig.3-1 Reconstructed model
in the Voxel-Man image (Front)

Fig.3-2 Reconstructed model
in the Voxel-Man image (Side)

謝辞

本研究の一部は独立行政法人日本学術振興会科学研究費補助金（基盤研究B 17300141）の助成を得て行われた。ここに記し深謝の意を表す。

参考文献

- [1] 金子丑之助、金子勝治、穂田真澄：日本人体解剖学（下）、南山堂
- [2] 高橋長雄：からだの地図帳、講談社
- [3] 菊池晴彦、堀智勝、小林祥泰、松本昌泰：脳血管障害の最新医療、先端医療技術研究所
- [4] 周藤安造：医学における三次元画像処理、コロナ社