

令和 4 年 6 月 8 日現在

機関番号：12501

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K17163

研究課題名（和文）形態画像と数値流体解析の統合による大動脈瘤の解析手法の確立と増大予測モデルの構築

研究課題名（英文）Establishment of growth prediction model of aortic aneurysm by integrating morphological images and computational fluid dynamics

研究代表者

窪田 吉紘（KUBOTA, Yoshihiro）

千葉大学・医学部附属病院・特任助教

研究者番号：30836177

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では増大傾向にある動脈瘤の初期の画像と増大傾向のない動脈瘤の画像を後方視的に参照、内部血流を数値流体解析・血流解析の手法を用いて検討し、内部血流の違いによる動脈瘤増大との関連を評価しようと試みた。数値流体解析は解析に膨大な時間を要することから、過去のCT・MRI画像から4D flow MRIを撮像する方法を検討した。血管モデルと心拍動ポンプで増大初期の動脈瘤の内部血流を再現し、4D flow MRIで撮像を行ない、数値流体解析に比べて短時間で動脈瘤内の血流解析を行うことができた。現在、血管モデルの4D flow解析の妥当性を検証し、論文化を目指している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

動脈瘤の増大予測において増大初期の動脈瘤内の血行動態を評価するために血管モデルを用いた4D flow MRIの撮像を行なった。解析結果の妥当性の検証は引き続き必要だが、過去の形態画像から4D flow MRIを撮像し、内部血流の評価ができることは、今後の動脈瘤の血流解析において重要な手法となると考える。

研究成果の概要（英文）：In this study, we retrospectively referred to the initial CT or MRI images of aneurysms that tended to grow and the images that did not tend to grow and examine the internal blood flow using the methods of computational fluid dynamics (CFD). We attempted to evaluate the association with aneurysm enlargement due to differences in blood flow. Since it took an enormous amount of time to evaluate internal blood flow by CFD, we investigated a method of imaging 4D flow MRI from past CT / MRI images with a blood vessel model and a pulsatile pump. The internal blood flow was reproduced and imaged by 4D flow MRI. The obtained results were compared with the angiographic findings, and the results were comparable. In addition, it was possible to analyze the blood flow in the aneurysm in a shorter time than CFD. We are aiming to verify the validity of 4D flow analysis of the blood vessel model and publish it as a paper.

研究分野：血流解析

キーワード：4D flow MRI CFD 大動脈瘤

1．研究開始当初の背景

大動脈瘤は破裂するまでは無症状であるが、一旦破裂すると致死的な疾患である。動脈瘤壁に加わる張力は Laplace の法則にしたがって瘤径と内圧に比例して大きくなるとされ、上行大動脈で径 6cm、腹部大動脈で径 5cm を越えると破裂・解離のリスクが高い。経年での増大速度や動脈瘤の形態(嚢状か紡錘状か)も重要な因子である。瘤の非対称性が大きいと力学的に壁応力が大きくなること、それに伴い増大速度が速くなり、径の拡張によって壁応力がさらに増大すると考えられている。このため、大動脈瘤を有する患者は無症状であっても定期的な画像フォローが必要であり、瘤の形態・増大速度に応じて治療介入がなされている。

脳動脈瘤や大動脈内の血流を定量評価する手法として数値流体解析(CFD ; computed fluid dynamics)が近年広く行われている。CT などから得られた解剖学的情報を用いて血管内の血流をシミュレーションし、血流の流線画像や血管壁剪断応力を推定することができる。MRI を用いた 4D-flow 解析でも同様に流線画像や応力を推定できる。これらを用いることで動脈瘤の増大予測や破裂リスクの評価が行われるようになってきている。

2．研究の目的

本研究の目的は大動脈瘤内の血流動態と、大動脈瘤の血管壁の画像情報・周囲構造の情報とを対比・統合することで大動脈瘤のより正確な増大予測を目指すことである。動脈瘤内の血流の動き・流れを数値流体解析と 4D flow MRI で解析し、動脈瘤の増大予測モデルの作成を目的とした。解析モデル作成にあたって、Radiomics の手法を用いることでより正確な予測モデルの確立ができると考えた。

具体的には大動脈瘤の CT・MRI 画像を後方視的に検討し、大動脈瘤の形態・サイズと増大速度とを評価した。動脈瘤内の血流速度の評価は数値流体解析と 4D flow MRI で解析した。4D flow MRI による解析手法は現時点における大動脈瘤の血流評価にとどまるため、過去の症例を遡って解析するために、3D プリンタを用いて大動脈瘤モデルを作成し、拍動流ポンプと接続して擬似的に動脈瘤内の血流を再現することで増大初期の大動脈瘤内の血流を 4D flow MRI で再現した。

3．研究の方法

大動脈瘤の CT/MRI 画像とその後の増大傾向の有無を評価し、増大傾向のある群とない群で内部血流の分布の違いの評価を試みた。MRI の位相差画像を用いた 4D flow 解析は、撮像時点における動脈瘤内の血流評価が比較的短時間に行うことができ、血流の実測値を得ることができる。動脈瘤の患者で内部血流の測定を行い、増大後に再度内部血流の評価を試みたが、経過観察に一年以上要し、また十分な症例数を集めることが困難であった。この点を補うために過去の CT 画像を用いて数値流体解析の手法で内部の血流のシミュレーションを行ったところ、1 症例の解析にひと月程度と膨大な時間が必要となり、この方法でも解析に必要な症例数を集めることが困難と判明した。これらの点を克服するために、増大初期の動脈瘤の CT データから 3D プリンタで血管モデルを作成し、心拍動ポンプと組み合わせて内部血流を再現し、血管モデルを MRI で撮像することで、内部血流の実測値を得られるのではないかと考えた。心拍動ポンプと組み合わせて内部血流を再現し、血管モデルを MRI で撮像することで、増大初期の動脈瘤内の血流分布を 4D flow MRI で解析するための方法論の確立を試みた。検討内容は以下である。

- (1) 動脈瘤内の 4D flow MRI の撮像パラメータを検討した。動脈瘤の血管内治療前・後ののべ 30 症例で複数のパラメータで 4D flow MRI を撮像し、動脈瘤内の血流の画像化を行なった。
 - (2) 得られた画像と術中の血管造影所見とを比較検討し、内部血流が再現できていることを視覚的に評価した。
 - (3) 増大初期の動脈瘤内部の血行動態を評価するために過去の CT 画像を用いて 3D プリンタから血管モデルの作成を行なった。
 - (4) 血管モデルと拍動流ポンプとを接続し、生理食塩水をモデル内に流して動脈瘤内の血流を再現した。
- 血流モデルを MRI で撮像し、4D flow MRI で内部血流の可視化を行なった。過去の血管造影所見と比較して内部血流について検討した。

4 . 研究成果

既存の動脈瘤の CT のデータから 3D プリンタで動脈瘤モデルの作成を行なった。当初作成した 3D モデルは心拍動ポンプに接続すると水流の圧で破損してしまったため、より強度の高い樹脂モデルで再度作成した。

心拍動ポンプと接続し、MRI を用いて 4D flow 解析を行なった。4D flow 解析で得られた血流分布は過去の血管造影所見と遜色のないものと考えられた。血管モデルによって過去の画像から 4D flow MRI 解析を行う手法を再現できる可能性が示唆された。血管モデルの作成スキームを見直し、1 週間程度で血管モデルを作成可能となった。血管モデルの 4D flow MRI は 30 分程度で撮像可能であった。増大初期の動脈瘤内の血流評価を行う上で、既存の方法 (4D flow MRI での経時的変化の観察および数値流体解析を用いた増大初期の動脈瘤の内部血流のシミュレーション) と比べて大幅な時間短縮ができるようになったと考えた。一方、血管モデルを用いた 4D flow 解析はまだ数例にとどまる為、引き続いてモデルと実際の症例との違いについて検証を行う必要があると考えられる。Wall shear stress など今後、生体画像との比較が必要と考えられるが、本手法は増大初期の動脈瘤の血流を遡って評価できるため、この後の動脈瘤の血流解析において極めて重要な知見と考える。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6 . 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7 . 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------