

令和 3 年 5 月 29 日現在

機関番号：32619

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K12040

研究課題名（和文）個別実患者の動脈瘤壁拡張予測モデル構築手法の開発

研究課題名（英文）Development of a computational method for prediction of patient specific aneurysm growth

研究代表者

山本 創太（Yamamoto, Sota）

芝浦工業大学・工学部・教授

研究者番号：80293653

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、動脈瘤の拡張予測を行う現象論的シミュレーション手法を開発した。経時的に撮影されたCT画像形状に向けて有限要素モデルを拡張し、壁上に節点を配置した。これは動脈瘤拡張プロセスを模して節点を動脈瘤形状モデルに投影したことに相当する。有限要素モデル節点をマーカとし、局所変位および拡張速度を計測できることを示した。次に、計測した拡張速度を用いて動脈瘤予測形状を推定した。典型的な腹部大動脈瘤症例について本手法を適用した結果、1年から1年半程度先の拡張形状を、医療用CTの空間分解能以下の精度で予測することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、複雑な病理学的メカニズムを考慮せず、巨視的な症状の進行の再現を比較的簡単な現象論的シミュレーションで達成できることを示した。また、変形状態の定義が困難な、撮影時期が異なる医用画像間で物質点を特定するためのマーカを合理的に配置する方法を提案したことで、今後の計算バイオメカニクスの応用範囲を広げる意義がある。臨床的には手術適応の判断が必要となる動脈瘤診断を助けるものである。適切な精度の予測シミュレーションにより必要な検診、CT撮影の間隔を長く撮ることが可能となり、患者と医療機関の負担を下げることができる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we have developed a phenomenological simulation method for predicting the growth of an aneurysm. The finite element model was extended toward the CT image shape taken over time, and nodes were placed on the wall. This is equivalent to projecting the nodes onto the aneurysm shape model, simulating the aneurysm growth process. It was shown that local displacement and growth rate can be measured using the finite element model node as a marker. Next, the predicted shape of the aneurysm was estimated using the measured growth velocity.

As a result of applying this method to typical cases of abdominal aortic aneurysm, it was possible to predict the grown shape about one to one and a half years ahead with an accuracy less than the spatial resolution of medical CT.

研究分野：バイオメカニクス

キーワード：計算バイオメカニクス 予測診断 動脈瘤

1. 研究開始当初の背景

我が国において循環器疾患は主要な死因であり、その中で動脈瘤の破裂予測と予防は重要な医療課題となっている。動脈瘤の拡張メカニズムについては病理学的観点から様々な検討がなされてきているが、定量的な拡張速度の予測は実現されていない。臨床診断においては動脈瘤の大きさと拡張速度は手術適応の判断基準として広く用いられており、動脈瘤拡張速度と近い将来の動脈瘤形状の予測が可能となれば予測診断ツールとして広く利用されることが期待できる。したがって、詳細な病変メカニズムを反映することより、患者ごとの拡張速度と瘤形状の定量的予測ができることの方が、動脈瘤予測診断には必要とされる。しかし、これまで動脈瘤が拡張する「方向」、「大きさ」、「速度」を定量的に同定する方法が無かった。

2. 研究の目的

本研究は実患者動脈瘤壁に生じた成長ひずみを予測する現象論的シミュレーション手法を提案し、実患者の診断における動脈瘤の拡張予測を可能にし、動脈瘤予測診断を実現することを目的とした。

本研究の独自性は、臨床で実効性のある動脈瘤予測診断ツールを構築するために、微視的な病変メカニズムを精確にモデル化するのではなく、実患者の動脈瘤拡張経過観察に基づき近い将来の動脈瘤拡張を予測する現象論的シミュレーションを目標とした。

3. 研究の方法

(1)動脈瘤拡張過程を経時的に撮影した CT 画像から、動脈瘤外壁上の局所拡張速度を同定する方法を提案した。同じ患者の異なる撮影時期における複数の CT 画像間で、瘤壁上の特定の物質点を追跡するマーカを設置することはできない。そこで、ある適当に仮定した初期血管形状有限要素モデルに内圧を負荷し、これを撮影された動脈瘤 CT 画像形状の剛体壁に張り付くまで膨らませるシミュレーションを行い、動脈瘤壁上に節点を配置した。この工程により、節点は動脈瘤の拡張による変形を模した運動により動脈瘤壁上に投影されることとなる。同じ初期血管モデルを各撮影時期の動脈瘤形状に対して拡張させることで、有限要素モデルの同一番号の節点をマーカの代用として利用し、画像間で局所変位ベクトルを導出した。撮影時期間を考慮して各節点の変位速度ベクトルを算出し、これを動脈瘤の局所拡張速度とした。拡張速度同定方法の概略を図 1 に示す。局所拡張速度はある CT 撮影時期と直前の CT 撮影時期の間における平均拡張速度として求めた。図 2 に拡張速度分布を計測した結果の例を示す。

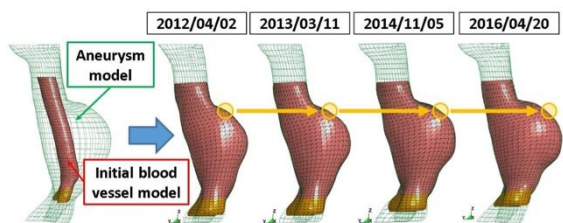


図 1 節点をマーカとする局所拡張速度計測

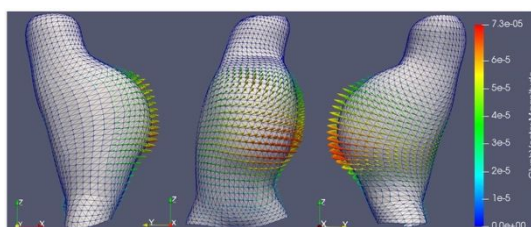
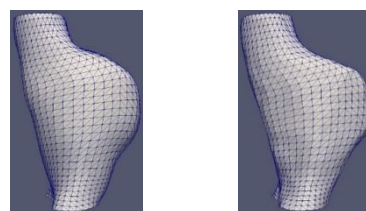


図 2 局所拡張速度計測の実施例

(2)計測された局所拡張速度から、未来の動脈瘤形状を予測した。計測された局所拡張速度を線形的に外挿し、各節点位置を推定した。図 3 に実際の動脈瘤形状と、この状態となる過程における局所拡張速度分布に基づく予測形状の比較を示す。

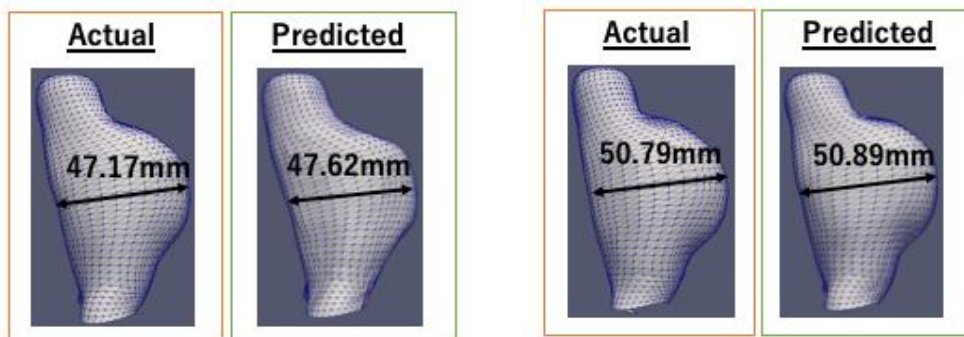


(a)実際の動脈瘤 (b)予測形状
図 3 実際の動脈瘤と予測形状の比較

4. 研究成果

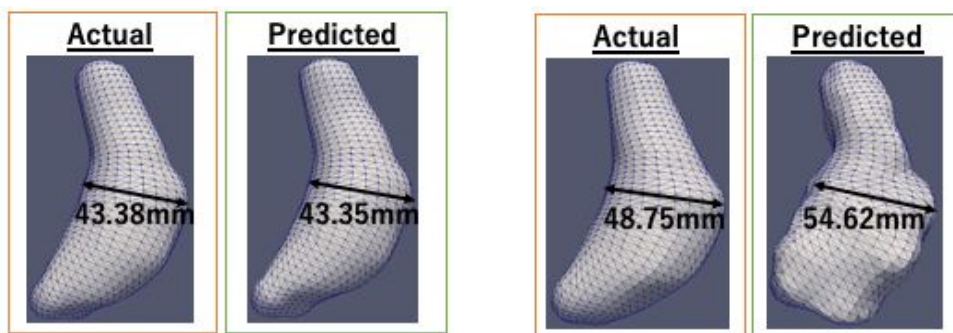
(1)提案手法を実際の症例に適用し、予測形状と実際の動脈瘤形状を比較した。解析には、経時的に 4 回 CT 撮影された典型的な形状の腹部大動脈瘤 2 症例 (腹側に拡張した症例 A、大きな屈曲を伴う症例 B)を用いた。図 4 に症例 A、図 5 に症例 B の動脈瘤形状と予測結果の比較を示す。症例 A の時期(a)、(b)および症例 B の時期(c)において、予測結果は動脈瘤形状の特徴をよく再現できている。現在の動脈瘤臨床診断で用いられている最大瘤径については、臨床用 CT 分解能未満程度の差であり、予測形状は診断に用いるには十分な精度を持つと考えられる。しかし、症例(B)の時期(d)においては、予測形状と実際の動脈瘤形状との差異が大きく、不自然にいびつな形状となった。症例(B)の時期(d)の予測には、直前に撮影された時期(c)における局所拡張速度

分布を用いているが、時期(c)から(d)にかけては約5年の隔たりがあった。十分な予測精度があったケースは、直近の撮影から1年から1年半程度の期間の予測であった。今回の予測シミュレーションでは計測された局所拡張速度を線形的に外挿して未来の節点位置を予測しているが、簡易な線形的な外挿でも2年末満程度先の予測が可能であることが示された。予測シミュレーションにより検査、CT撮影の間隔を長くあげることができれば、患者、医療機関の負担を下げ、医療の効率化に貢献できると期待できる。今後は2年以上の長期予測のための非線型モデルの検討が必要である。



(a) 時期 a (b) 時期 b

図4 症例 A についての予測シミュレーション



(a) 時期 c (b) 時期 d

図5 症例 B についての予測シミュレーション

(2) 仮定初期血管形状が予測結果に及ぼす影響を検討した。瘤部を除く腹部大動脈と腸骨動脈分岐を直線的につなぐ形状、瘤中心線付近を通る形状、初期血管径を腹部大動脈とほぼ同じとした形状を比較した。3種類の初期形状を用いた局所拡張速度分布を比較した。得られた拡張速度ベクトル分布を図4に示す。いずれの症例、撮影時期においても、拡張速度ベクトルの大きさと方向、それらの分布状況には大きな違いはなかった。本手法を臨床応用する場合、病変以前の血管形状についての情報がないことが多いと考えられる。また、動脈瘤拡張過程で全体が大きく屈曲することがあるため、最も過去に撮影された形状を初期形状として有限要素モデル節点の投影を行うことは必ずしも適当ではない。本手法の適用にあたっては、病変前の動脈に近い配置でかつ細い初期形状を仮定しておくことが計算の実行上、最も都合が良い。初期血管形状の違いによる拡張速度ベクトル分布に大きな違いがなかったことから、ある程度のシミュレーションに都合よく初期形状を仮定しても予測精度への影響が小さいと考えられる。

(3) 有限要素モデルのメッシュ解像度が予測結果に及ぼす影響について検討した。その結果、軸方向のメッシュ解像度がある程度以上粗くなると局所拡張速度ベクトル分布が変化し、実際の瘤の拡張状態を反映できなくなることがわかった。今後試行する症例数を増やし、必要な軸方向メッシュ解像度の基準を精査する必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 山本 創太, 葛西 健司, 保科 克行, 大島 まり
2. 発表標題 医用画像に基づく動脈瘤拡張予測手法の基礎検討
3. 学会等名 第58回生体医工学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 葛西健司, 保科克行, 大島まり, 山本創太
2. 発表標題 エアバッグ要素を用いた動脈瘤拡張予測シミュレーション手法の基礎研究
3. 学会等名 日本機械学会第31回バイオエンジニアリング講演会
4. 発表年 2018年

〔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
連携研究者	大島 まり (Oshima Mari) (40242127)	東京大学・大学院情報学環・教授 (12601)	
連携研究者	保科 克行 (Hoshina Katsuyuki) (90571761)	東京大学・医学部附属病院・講師 (12601)	

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
---------	---------