

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 12 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25293264

研究課題名(和文) 未破裂脳動脈瘤の将来の破裂リスクを臨床現場で直ちに推定する方法の確立

研究課題名(英文) Research on the method to predict future rupture of intracranial aneurysms in the clinical field

研究代表者

磯田 治夫 (Isoda, Haruo)

名古屋大学・脳とこころの研究センター・教授

研究者番号：40223060

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：3次元シネ位相コントラスト磁気共鳴法を基にした磁気共鳴流体解析(MRFD)の精度検証を直管ファントムで行った結果、径が6mm以上で、ピクセルサイズが直径の30%で断面平均流速、10%で最高流速が精度良く求まった。脳血管を模した3mm径のMRFDは最高流速の精度は悪いが、平均流速の精度は比較的良かった。脳動脈瘤のMRFDの精度検証を計算流体力学(CFD)と比べた結果、速度ベクトルやWSSの定量的精度は悪いが、流線パターン・WSS分布パターンの定性的評価は良好で、臨床現場で利用できることが分かった。精度の良い脳血管の血流解析結果を得るには、CFDが必須で、これを用いて脳動脈瘤発生予測もできた。

研究成果の概要(英文)：MR fluid dynamics (MRFD) using 3D cine PC MR dataset for straight acrylic pipes showed that when the ratio of pixel size for the pipe greater or equal to 6 mm was set at 30% or lower, spatially-averaged velocity measurements were highly accurate. A pixel size ratio of 10% or lower allowed accurate maximum velocity measurements. It was difficult to accurately measure maximum velocity of the 3-mm pipe, the size of an intracranial major artery, although the error for spatially-averaged velocity was 20% or less.

Quantitative accuracies in flow vectors and wall shear stress (WSS) for intracranial arteries were not so good in MRFD using computational fluid dynamics (CFD) as a gold standard. However, qualitative accuracies of distribution patterns of streamlines and WSS, and flow patterns were good. Therefore, MRFD can be used in the clinical field. CFD is still necessary for accurate hemodynamic analysis and MR based CFD can predict the initiation of the intracranial aneurysm.

研究分野：神経放射線診断学

キーワード：脳動脈瘤 血流解析 磁気共鳴流体解析 計算流体解析 磁気共鳴

1. 研究開始当初の背景

脳動脈瘤の発生・成長・破裂の重要な因子の一つは血流動態である。血流動態を知る方法には、3次元シネ位相コントラスト磁気共鳴法(3D cine phase contrast [PC] magnetic resonance [MR]) を用いた磁気共鳴流体力学(MR fluid dynamics, MRFD) 解析 と医用画像を用いてコンピュータシミュレーションする計算流体力学(computational fluid dynamics, CFD)解析 がある。MRFDは臨床現場で簡便に血流動態を把握できる可能性があるが、精度にやや問題がある。CFDはその精度は良好であるが、処理時間が掛る。そこで、臨床現場で臨床医がMRFDを安心して使用でき、未破裂脳動脈瘤の将来の破裂などを臨床現場で直ちに推定できることを目指し、MRFDを既に確立されたCFDと比較し、MRFDの有用性を確認・確立することを目的として主に次の項目の研究を行った。

- (1) 3次元シネ位相コントラスト磁気共鳴法における空間分解能が血流動態解析の精度に及ぼす影響について
- (2) 空間分解能が磁気共鳴流体力学解析に与える影響(動脈瘤発生部位における検討)
- (3) 三次元シネ位相コントラスト磁気共鳴法の時間分解能が磁気共鳴流体力学解析と計算流体力学解析に与える影響
- (4) 脳血管を対象とした磁気共鳴流体力学の精度検証
- (5) 三次元シネ位相コントラスト磁気共鳴法を用いた脳動脈瘤の血流動態解析(計算流体力学との比較)
- (6) MRを用いた患者固有計算流体力学解析による内頸動脈サイフォン部動脈瘤発生部位の血流動態解析

2. 研究の目的

- (1) 3次元シネ位相コントラスト磁気共鳴法における空間分解能が血流動態解析の精度に及ぼす影響について
本研究では3D cine PC MRの空間分解能が血流解析の精度に及ぼす影響について明らかにし、最適空間分解能の設定値を検討した。
- (2) 空間分解能が磁気共鳴流体力学解析に与える影響(動脈瘤発生部位における検討)
MRFDは臨床への応用が期待されているが、MR装置の撮影パラメータ設定制限に伴う空間分解能の制限のため、計測精度に問題がある。空間分解能を相対的に向上させることにより、精度が向上すれば、将来的に期待が持てる。脳動脈瘤の医用画像から再現した動脈瘤発生前のシリコン製の等倍と2倍の血管モデルに模擬血液を拍動流で流した流体実験を行い、2D cine PC MRを境界条件としたCFD解析を基準とし、2倍の空間分解能の3D cine PC MRに基づいたMRFD解析は等倍のそれと比べて動脈瘤の好発部位として知られる傍前床突起を含む内頸動脈(ICA)の血流解析の精度が向上するか否かを調べた。

(3) 三次元シネ位相コントラスト磁気共鳴法の時間分解能が磁気共鳴流体力学解析と計算流体力学解析に与える影響

MRFD解析は短時間で解析が行えるが、3D cine PC MRの時間分解能を上げると撮影時間が長くなるのが問題である。本研究では、3D cine PC MRの時間分解能がMRFD解析及びCFD解析に与える影響を検討した。

(4) 脳血管を対象とした磁気共鳴流体力学の精度検証

本研究ではMRFDの精度検証として、内径3.1mm直管ファントムとシリコン製脳血管ファントムを用いたMRFDの脳血流動態とWSSの精度検証をCFDを基準に行った。

(5) 三次元シネ位相コントラスト磁気共鳴法を用いた脳動脈瘤の血流動態解析(計算流体力学との比較)

本研究の目的はMRFDの臨床応用を目指し、脳動脈瘤患者から得られたMRFDとCFD解析結果を比較し、MRFDの精度を検討した。

(6) MRを用いた患者固有計算流体力学解析による内頸動脈サイフォン部動脈瘤発生部位の血流動態解析

本研究では傍前床突起部内頸動脈に動脈瘤を持つ患者と、この部位に動脈瘤が無い患者を対象に、MRデータに基づいたCFD解析を行い、傍前床突起部内頸動脈の脳動脈瘤発生部位における血管壁バイオマーカーの分布を定性的・定量的に評価した。

3. 研究の方法

(1) 3次元シネ位相コントラスト磁気共鳴法における空間分解能が血流動態解析の精度に及ぼす影響について

流体ファントムはヒトの血管径を想定した5種類のアクリルパイプ(内径: 15mm, 12mm, 9mm, 6mm, 3mm)を0.025mol/Lのガドリニウム造影剤を添加した1%重量アガロースで固定した構造とした。そのアクリルパイプにヒト血液の物性値に似せた擬似血液を定常流として循環させた。MR画像は3T MR装置(MAGNETOM Verio 3T)と受信コイルを使用して取得した。空間的平均流速と最大流速の経時的な変化は血流解析ソフト(Flow Visualization and Analysis, Flova)を用いて算出した。それらの値とコリオリ流量計で計測した値を基に算出した流速の誤差率を算出し、測定精度の検討を行った。

(2) 空間分解能が磁気共鳴流体力学解析に与える影響(動脈瘤発生部位における検討)

3T MR装置を使用して等倍と2倍拡大の両モデルの3D time-of-flight (TOF) MR angiography (MRA), 2D cine PC MR, 3D cine PC MRを撮像した。2倍モデル撮影時には等倍モデルとReynolds数とWomersley数が等

しくなるように流速、周期を設定した。MRFD解析は血流解析ソフト Flova を用いて、3D TOF MRA から血管形状を作成し、3D cine PC MR の位相画像から血流速度を取得して解析を行った。CFD 解析は、メッシュ作成ソフト (ICEM CFD v.14.5) を用いて、血管形状を非構造メッシュに分割し、2D cine PC MR を境界条件に設定して、汎用熱流体解析ソフト (CFX v.14.5) を用いて計算を行った。各解析で血管壁剪断応力 (Wall Shear Stress, WSS)、WSS 空間勾配 (Spatial WSS Gradient, SWSSG) を算出した。解析領域を ICA の C1-4 の各領域とし、等倍モデルの MRFD 解析と CFD 解析、2 倍モデルの MRFD 解析と CFD 解析の間で流速、WSS、SWSSG の相関係数を算出した。また、同検討項目で Bland-Altman 解析を行った。

(3) 三次元シネ位相コントラスト磁気共鳴法の時間分解能が磁気共鳴流体力学解析と計算流体力学解析に与える影響

3T MR 装置と 12ch Head Matrix Coil を用いて健常ボランティア 6 名の脳血管の 3D TOF MRA, 3D cine PC MR を撮像した。3D cine PC MR の時間分解能は Number of Segment (NOS) の変更によって平均 31ms、63ms、93ms の 3 通りで撮像した。MRFD 解析では血流解析ソフト Flova を使用して、3D TOF MRA から血管形状を作成し、3D cine PC MR から流速情報を得た。各ボランティアの ICA、前大脳動脈 (ACA)、中大脳動脈 (MCA) の流量、断面平均流速、断面最高流速を取得し、WSS を算出した。CFD 解析ではメッシュ作成ソフト ICEM CFD を用いて血管形状を非構造メッシュに分割した。3D cine PC MR から得られた流速情報を境界条件とし、汎用熱流体解析ソフト CFX で計算を行い、WSS を求めた。流量、断面平均流速、断面最高流速では、NOS1 の値を基準値とし、NOS1 に対する NOS2, 3 の相対誤差を算出した。WSS の解析対象は両解析とも ICA の C2 領域とした。NOS1 での WSS の最高値を基準値とし、NOS1 に対する NOS2, 3 の相対誤差を算出した。

(4) 脳血管を対象とした磁気共鳴流体力学の精度検証

ICA から MCA の血管径を模擬した内径 3.1 mm 直管ファントムに模擬血液を時間平均流量 2.50 ml/sec の定常流で循環させ、3T MR 装置を用い、3D cine PC MRI を施行した。血流解析ソフト Flova を用いて得られた時間平均流量、WSS の解析値をそれぞれコリオリ流量計で得られた実測値、理論値と比較した。

左 ICA, ACA, MCA, 左内頸動脈後交通動脈分岐部動脈瘤 (IC-PC An) からなる脳血管ファントムに模擬血液を定常流で循環させ、3T の MR 装置を用い、3D TOF MRA を形体画像とする MRFD を施行した。この時、ICA の時間平均流量は 7.59 ml/sec, 4.63 ml/sec, 2.84 ml/sec の定常流となるように設定した。得られた ICA, ACA, MCA の時間平均流量の解析値

を流量計で得られた実測値と比較した。また、流量計の値を境界条件とし、3D TOF MRA を形状に用いた CFD も行い、ICA と IC-PC An における x 方向, y 方向, z 方向の流速及び 3 軸合成速度と WSS の解析値を CFD から得られた基準値と比較し、相関を求めた。

(5) 三次元シネ位相コントラスト磁気共鳴法を用いた脳動脈瘤の血流動態解析 (計算流体力学との比較)

対象は 3T MR 装置を用いて 3D TOF MRA 及び 3D cine PC MR を施行した 7 症例、7 動脈瘤を対象とした。得られた 3D TOF MRA のデータを血流解析ソフト Flova を用いて MRFD を行った。また、CFD 解析は上記 (3) と同様に施行した。

定性的な評価として、各症例の収縮期時の MRFD と CFD 解析結果の WSS 分布図、流線図の評価を行った。また、動脈瘤内における血流の流れ方、親動脈から動脈瘤への血流の入り方、渦流の頂点の位置や数、渦流に伴う低 WSS 領域を MRFD と CFD 解析結果で比較した。定量的な評価として、MRFD と CFD 解析結果の ACA, MCA, ICA、動脈瘤の収縮期の速度ベクトルと WSS の相関解析と Bland-Altman 解析を行った。

(6) MR を用いた患者固有計算流体力学解析による内頸動脈サイフォン部動脈瘤発生部位の血流動態解析

3D TOF MRA, 3D cine PC MR で経過観察されている傍前床突起部内頸動脈に脳動脈瘤を持つ患者 15 名 (患側 15 血管を A 群、健常側 15 血管を B 群とした) と、内頸動脈に動脈瘤が無い患者 20 名 (動脈硬化性病変の無い 33 血管を C 群とした) を対象にした。前者は 3D TOF MRA から血管形状を取得し、動脈瘤を削除して、動脈瘤発生前の形状を再現した。得られた形状を CFD 解析用の形状とした。CFD 解析は上記 (3) と同様に施行した。

解析結果から WSS、SWSSG、oscillatory shear index (OSI)、gradient oscillatory number (GON)、aneurysm formation indicator (AFI)、流線図を可視化し、脳動脈瘤発生部位におけるそれぞれの分布を定性的に評価した。内頸動脈に動脈瘤が発生する群と内頸動脈に動脈瘤が発生しない群の 2 群で WSS、SWSSG が高い領域のそれぞれの最高値を算出し、内頸動脈錐体部の WSS、血流の平均進行距離で正規化し (normalized highest - [nh-] WSS, nh-SWSSG) 統計的有意差検定を行った。

4. 研究成果

(1) 3 次元シネ位相コントラスト磁気共鳴法における空間分解能が血流動態解析の精度に及ぼす影響について

胸腹部や頸部動脈のサイズの管に対するピクセルサイズの割合を 30%以下にすれば空間的平均流速を、ピクセルサイズの割合を 10%以下にすれば最大流速を、高い測定精度

で取得する事が出来た。一方、頭蓋内主幹動脈の太さの3mmの管の最大流速を精度良く測定することは困難であったが、空間的平均流速の誤差は20%以下であった。

3D cine PC MRの頸部血管、胸腹部血管の太さの管の流速測定精度は良好であった。一方、脳血管の血流解析の精度は不良であるが、比較的精度が良い空間的平均流速を境界条件に用いてCFD解析することが示唆された。

(2) 空間分解能が磁気共鳴流体力学解析に与える影響(動脈瘤発生部位における検討)

表に相関係数の解析結果を示す。WSS、SWSSGのBland-Altman解析では、2倍モデルの方が等倍モデルよりもCFD解析結果とMRFD解析結果の差のばらつきが小さかった。

Table Correlation coefficient of ICA of model

Measured region	Item	Actual size model (MRFD vs CFD)	Double size model (MRFD vs CFS)
C1	Velocity	0.429	0.671
	Systolic WSS	0.211	0.516
	Systolic SWSSG	0.022	0.217
C2	Velocity	0.469	0.835
	Systolic WSS	0.387	0.506
	Systolic SWSSG	0.301	0.462
C3	Velocity	0.744	0.863
	Systolic WSS	0.652	0.778
	Systolic SWSSG	0.563	0.464
C4	Velocity	0.748	0.741
	Systolic WSS	0.726	0.696
	Systolic SWSSG	0.309	0.349

2倍モデルは、等倍モデルより相対的に高い空間分解能となったため、MRFD解析結果とCFD解析結果の流速、WSS、SWSSGは強い相関を示し、Bland-Altman解析のこれらの差のばらつきが小さかったと考えられた。ICAのC4領域は他の部位より血管径が太いため、等倍モデルでも2倍モデルと同程度の相関係数が得られたと考えられた。

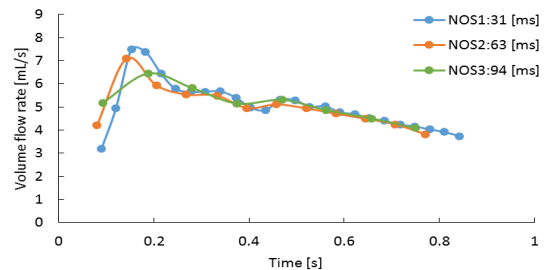
2倍モデルのMRFD解析結果は等倍モデルよりもCFD解析結果に近かったことから、高空間分解能の3D cine PC MRに基づいたMRFD解析は、血管径が細い脳血管にも応用できる可能性が示唆された。

(3) 三次元シネ位相コントラスト磁気共鳴法の時間分解能が磁気共鳴流体力学解析と計算流体力学解析に与える影響

MRFD解析でのNOS2の収縮期の相対誤差は流量8.2%、断面平均流速8.5%、断面最高流速9.6%程度であった。NOS3でのそれらは18%、14%、17%程度であった。WSSの結果は、MRFD解析よりCFD解析の方がNOS2、NOS3ともに相対誤差が低かった。撮影時間は、NOS2、NOS3はNOS1のそれぞれの各々1/2、1/3であった。

3D cine PC MRの時間分解能が低いと、これから得られたMRFD結果は平滑化の影響を受けやすくなり、収縮期で流量、断面平均流速、断面最高流速、WSSが過小評価されたと考えられた。両解析のWSSの結果比較では、CFD解析の方が高空間・時間分解能で解析で

きるため、MRFD解析より相対誤差が低くなったと考えられた。

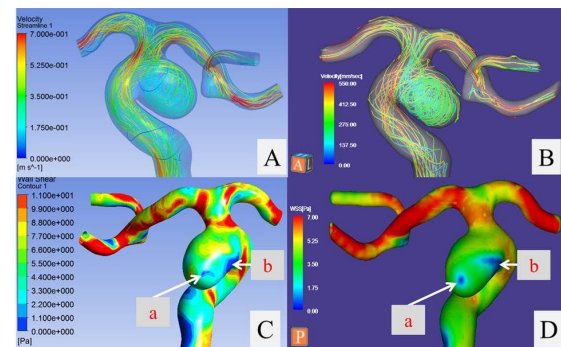


ボランティア1の右ICAの流量のMRFD解析の結果

3D cine PC MRの時間分解能を低くすると収縮期の流量、断面平均流速、断面最高流速、WSSの精度が低下するが、MRFD解析、CFD解析ともにNOS2はNOS3より影響が少ないことが分かった。NOS2を用いることで撮影時間が半分で比較的精度が保たれる結果が得られることが分かった。

(4) 脳血管を対象とした磁気共鳴流体力学の精度検証

直管ファントムの時間平均流量、WSSの相対誤差はそれぞれ4%、6%であった。脳血管ファントムのICA、ACA、MCAの時間平均流量の相対誤差は10%~30%であった。ICAにおける流速及び3軸合成速度の相関係数は0.60~0.94、WSSの相関係数は0.68~0.72であった。一方、IC-PC Anにおける流速及び3軸合成速度の相関係数は0.58~0.94、WSSの相関係数は0.34~0.63であった。



CFD(A)とMRFD(B)で得られたIC-PC動脈瘤を持つシリコン血管モデルの流線図の正面像、CFD(C)とMRFD(D)で得られたWSS分布図の後面像。速度の絶対値は異なるが血流パターンは酷似している。WSSの絶対値は異なるが、WSSの分布(a, b)は似ている。

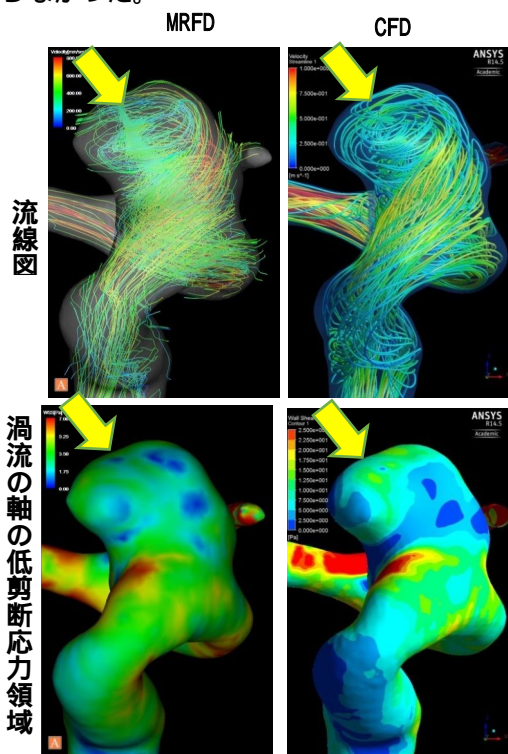
直管ファントムと脳血管ファントムのMRFDにおける流量精度は良好であり、CFDの境界条件として使用できる可能性が示唆された。

直管並びにヒト脳血管ファントムを用いてMRFDの精度検証を行ったところ、時間平均流量の測定精度は比較的良いであった。また、MRFDのWSSの測定精度はIC-PC Anでは不良であったが、直管ファントムや脳血管ファントムのICAでは良好であった。

(5) 三次元シネ位相コントラスト磁気共鳴法を用いた脳動脈瘤の血流動態解析(計算流

体力学との比較)

定性的な評価では 7/7 例で瘤内の流れ方、親動脈から動脈瘤への血流の入り方が一致し、6/7 例で流線図や WSS 分布図、渦流の位置や数、渦流に伴う低 WSS 領域が一致した。速度ベクトルは相関係数が 0.5 以上となり、比較的良い相関を示した。WSS は ACA、動脈瘤は 0.2~0.4 程度と弱または中程度の相関となり、ICA は 0.4~0.5 程度、MCA は 0.5 以上となった。Bland-Altman 解析では速度ベクトルは扇状の分布、WSS は右肩上がり分布を示し、MRFD と CFD 解析の差の平均は 0 とはならなかった。



ヒト内頸動脈流の血流解析 (左列は MRFD, 右列は CFD)。絶対値は異なるが、流れのパターン、WSS 分布とも酷似している。

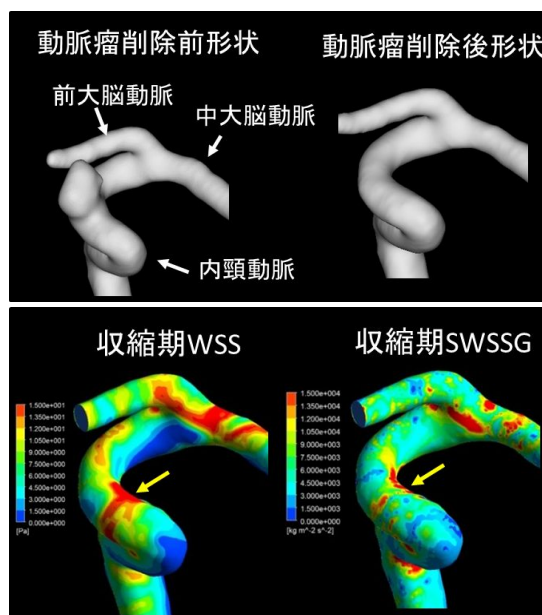
MRFD と CFD 解析結果の WSS が定量的に一致しなかった理由は、WSS の算出方法が MRFD と CFD 解析で異なることや、ACA と動脈瘤では MRFD の空間分解能が不十分であったことが考えられた。ICA の速度ベクトル、WSS において MRFD と CFD 解析結果の相関係数が高い値を示した理由は、ICA は相対的に径が太く、MRFD を用いて流速や WSS を算出するのに相対的に十分な空間分解能であったためと考えられた。

MRFD と CFD 解析による WSS 分布図や流線図の定性的な評価は良好であったことから、臨床現場において、MRFD は定性的評価に応用できると考えられた。

(6) MR を用いた患者固有計算流体力学解析による内頸動脈サイフォン部動脈瘤発生部位の血流動態解析

定性評価では、A 群の動脈瘤発生部位近傍において WSS、SWSSG、GON が高い分布を示した。また、B 群、C 群においても同様の部位

で高い WSS、SWSSG が観察された。定量評価では A 群の nh-WSS、nh-SWSSG が C 群のこれらと比較して有意に高く、A 群の nh-SWSSG が B 群間よりも有意に高かった。また、A 群と C 群間で ROC 解析を行い、Youden index が最高値となる nh-WSS、nh-SWSSG を閾値とすると、nh-WSS は 6.34 が閾値となり、感度 0.92、特異度 0.47、正診率 1.38、nh-SWSSG は 22.96 が閾値となり、感度 0.83、特異度 0.80、正診率 1.63 で動脈瘤が将来発生するか否かを区別できると考えられた。



動脈瘤が将来発生する群の解析結果例 (正面像)

定性評価では動脈瘤が発生する部位では WSS、SWSSG が高かった。WSS、SWSSG が高い部位ではマトリックスメタロプロテアーゼが産生され、壁細胞のアポトーシスを起こすため、壁の菲薄化が起こり、壁の局所的な突出が起こったと考えられた。しかし、動脈瘤が発生しない群でも同様の傾向が見られた。定量評価の結果、動脈瘤が発生する群としない群に統計的有意差が見られた。壁細胞のアポトーシスによる壁のリモデリングが現状維持的に働くか、外側方向へ働くかに WSS、SWSSG が影響を与えると考えられた。

仮想脳動脈瘤発生前内頸動脈の動脈瘤発生部位に WSS、SWSSG の高い部位が観察され、動脈瘤が将来発生する群は無い群と比べ有意に nh-WSS、nh-SWSSG が高かった。以上の事から、本手法を用いることで内頸動脈傍前床突起近傍に将来動脈瘤が発生するか否かを予想できることが示唆された。

(7) 総括

定常流を流したアクリルパイプの MRFD による流速測定精度の検証を行った結果、脳血管の太さの血流測定精度が良くない結果となった。理由は空間分解能が低いためである。ただし、血流量はある程度の精度が保たれており、この血流量を境界条件に用いた CFD に期待が持てる結果となった。その後、MRFD の

空間分解能を上げた場合の測定精度向上が見られるか否か、撮影時間短縮が可能か否かの検討を行った。また、シリコン血管モデルやヒトデータを対象に速度、流量、WSS などについて MRFD と CFD の比較を行い、定量的には一致はしないが、流れのパターン、WSS 分布のパターンが酷似しており、臨床現場で短時間に主治医が流れの概観を把握することが可能であることが示された。このため、MRFD で分かる血流動態の概観は脳血管内治療を行う主治医らに役立つと期待される。

収集できたデータには破裂症例があまりなく、MRFD を用いて破裂リスクを臨床現場で直ちに推定できるか否かの検討はできなかった。しかし、内頸動脈サイフォン部の動脈瘤を削り取った形状をもとに、CFD を行うことで、脳動脈瘤の将来の発生リスクを推定することができた。脳動脈瘤の発生に WSS、SWSSG の関与があることは報告されているが、本研究のように発生リスクを数値で示したものは初めてと思われる。動脈瘤破裂の推定はできていないが、脳動脈瘤発生が推定できた点で、本研究の目的は高度に達成できたと思われる。

<引用文献>

Markl M, et al. J Magn Reson Imaging 2003;17(4):499-506.

Isoda H, et al. Neuroradiology 2010;52(10):921-928.

Isoda H, et al. Magn Reson Med Sci 2015;14(2):139-144.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

磯田治夫、渡辺智哉、竹原康雄、小杉隆司、寺田理希 他、MR に基づいた計算流体力学による脳動脈瘤の血流動態解析、画像診断、査読無、34 巻、2014、1421-1432

〔学会発表〕(計21件)

WATANABE Tomoya, ISODA Haruo, TAKEHARA Yasuo, TERADA Masaki, KOSUGI Takafumi, ONISHI Yuki, FUKUYAMA Atsushi, Hemodynamic vascular biomarkers of initiation site of sidewall intracranial aneurysms with the use of patient-specific computational fluid dynamic simulation based on MR imaging, European Congress of Radiology, 2016 年 03 月 02 日 ~ 03 月 06 日, Vienna
ISODA Haruo, YONEYAMA Yuya, FUKUYAMA Atsushi, TERADA Masaki, KAMIYA Masaki, OTSUBO Kenichi, KOSUGI Takafumi, KOMORI Yoshiaki, NAGANAWA Shinji, Investigation into MR angiography as a possible replacement for rotational angiography or CT angiography for cerebrovascular computational fluid

dynamics, European Congress of Radiology, 2016 年 03 月 02 日 ~ 03 月 06 日, Vienna

ISODA Haruo, ICHIKAWA Kazushige, FUKUYAMA Atsushi, KOMORI Yoshiaki, KOSUGI Takashi, ONISHI Yuki, TAKEHARA Yasuo, NAGANAWA Shinji, Investigation of accuracy of hemodynamics and wall shear stress for intracranial arteries obtained from MR fluid dynamics (MRFD) using 3D cine phase-contrast MR Imaging, Radiological Society of North America, 2014 年 11 月 30 日 ~ 2014 年 12 月 05 日, Chicago

6. 研究組織

(1)研究代表者

磯田 治夫 (ISODA Haruo)

名古屋大学・脳とこころの研究センター・教授

研究者番号：40223060

(2)研究分担者

宮地 茂 (MIYACHI Shigeru)

名古屋大学・大学院医学系研究科・准教授
研究者番号：00293697

(平成26年度より泉に交代)

福山 篤司 (FUKUYAMA Atsushi)

名古屋大学・大学院医学系研究科・助教
研究者番号：40452198

川井 恒 (KAWAI Hisashi)

名古屋大学・医学部附属病院・助教
研究者番号：50378147

泉 孝嗣 (IZUMI Takashi)

名古屋大学・医学部附属病院・講師
研究者番号：90467291

(平成26年度より研究分担者)

(2)連携研究者

竹原 康雄 (TAKEHARA Yasuo)

浜松医科大学・医学部附属病院・准教授
研究者番号：70188217

(2)研究協力者

市川 和茂 (ICHIKAWA Kazushige)

登澤 一輝 (TOZAWA Ikki)

森 麻里香 (MORI Marika)

米山 祐也 (YONEYAMA Yuya)

渡辺 智哉 (WATANABE Tomoya)

瀧口 和也 (TAKIGUCHI Kazuya)

石黒 健太 (ISHIGURO Kenta)

水野 崇 (MIZUNO Takashi)

寺田 理希 (TERADA Masaki)

小杉 隆司 (KOSUGI Takashi)

小杉 崇文 (KOSUGI Takafumi)