

空間分解能が磁気共鳴流体力学解析に与える影響

水野 崇¹⁾, 瀧口 和也¹⁾, 磯田 治夫^{2), 1)}, 小杉 崇文³⁾, 福山 篤司¹⁾, 小森 芳秋⁴⁾

¹⁾名古屋大学 大学院医学系研究科 [〒461-8673 名古屋市東区大幸南 1-1-20],

²⁾名古屋大学脳とこころの研究センター, ³⁾株式会社アールテック, ⁴⁾シーメンスヘルスケア株式会社

1. 緒言

血流動態を解析する手法として様々な方法がある。計算流体力学(Computational Fluid Dynamics, CFD)解析は、高空間・時間分解能で解析を行うことができる。2次元シネ位相コントラスト磁気共鳴法(2D cine Phase Contrast [PC] Magnetic Resonance [MR])は、血管断面の流速を取得する方法であり、その臨床的価値が認められている。3次元シネ位相コントラスト磁気共鳴法(3D cine PC MR)を用いた磁気共鳴流体力学(MR Fluid Dynamics, MRFD)解析は血流動態を短時間で解析できるため、臨床への応用が期待されている。MRFD解析は、3mmの血管径ならば、ピクセル径が1mm以下である必要がある¹⁾。本研究の目的は、脳動脈瘤を持つ患者の医用画像から再現した動脈瘤発生前のシリコーン製の等倍と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の血流解析の精度が向上するか否かを調べることである。

2. 実験方法

本研究は本学生命倫理委員会の承認を得た[承認番号 13-306]。3T MR装置(MAGNETOM Verio 3T, 12ch Head Matrix Coil)を使用して両モデルに3D TOF 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(Flow Visualization and Analysis, 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WSS(Wall Shear Stress), SWSSG(Spatial WSS Gradient)を算出した。解析領域をICAのC1-4の各領域と定め、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. 実験結果

表1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。

Table1. 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

4. 考察

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。

5. 結言

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。

文献

1) Lotz J, Meier C, Leppert A, and Galanski M. Cardiovascular flow measurement with phase-contrast MR imaging: basic facts and implementation. Radiographics. 2002; 22(3): 651-71.