

数値流体力学を用いた血行力学的パラメータおよび形態学的パラメータによる脳動脈瘤破裂状態の診断

辻正範*, 石田藤磨*, 岸本智之*, 古川和博**, 三浦洋一***, 佐野貴則***, 芝真人**, 深澤恵児***,
田中克浩*, 種村浩*, 梅田靖之***, 安田竜太**, 霜坂辰一*, 鈴木秀謙**

* 三重中央医療センター 脳神経外科 [〒514-1101 三重県津市久居明神町 2158-5]

三重大学大学院医学系研究科脳神経外科, *三重脳神経外科流体科学チーム

1. 緒言

三重脳神経外科流体科学チームは 2007 年から脳動脈瘤の数値流体力学 (CFD) をはじめ, 解析結果を臨床現場で応用している

2. 方法

DICOM から患者固有形状モデルを作成し, 格子は ANSYS ICEM CFD16.1 で最小サイズ 0.1mm の四面体と 6 層の五面体を使用した. 血液は密度 1056kg/m^3 , 粘稠率 $0.0035\text{Pa}\cdot\text{s}$ の非圧縮性ニュートン流体で設定した. 血流は層流でナビエーストクス方程式と連続の式に従うとし, 離散化は有限体積法を用いた. 入口には健康成人内頸動脈の volumetric flow rate の波形で constant shear theory に基づく血流量を設定した. 出口は自由端とし, ANSYS CFX 16.1 で time step 0.0001s の非定常解析を行った. 破裂状態に関する報告の中で, 統計学的有意差を認めたパラメータを評価した^{1),2),3),4)}.

形態学的パラメータは aspect ratio (AR), projection ratio (PR), size ratio (SR), volume-to-ostium area ratio (VOR) を評価した. 一方, 血行力学的パラメータは WSS, normalized WSS (NWSS), oscillatory shear index (OSI), aneurysm formation indicator (AFI), WSS gradient (WSSG), low shear area ratio (LSAR) を計算し, ドームで定量した. これまでの研究では, 形態学的パラメータおよび OSI, LSAR が大きく, WSS, NWSS, AFI, WSSG が小さいと破裂脳動脈瘤である可能性が高い. そこで, これらのパラメータ 10 個で, スコアリング(破裂疑い 1 点, 未破裂疑い 0 点)を行い, 合計点の高いものを破裂脳動脈瘤と予測した.

3. 結果

Table1. に結果を示す. 前大脳動脈瘤 (ACA) と中大脳動脈瘤 (MCA), 脳底動脈瘤 (BA), 後交通動脈瘤 (PCOM) でパラメータを定量評価後, 合計点を比較した.

Table1. 形態学および血行力学的パラメータ

Parameters	課題 1		課題 2	
	ACA	BA	MCA	PCOM
AR	1.16 (1)	0.95 (0)	1.33 (0)	1.39 (1)
PR	1.19 (1)	0.96 (0)	1.33 (0)	1.39 (1)
SR	2.54 (1)	1.33 (0)	3.74 (1)	1.29 (0)
VOR, mm	4.17 (1)	2.46 (0)	14.86 (1)	1.79 (0)
WSS, Pa	0.76 (1)	1.66 (0)	1.51 (1)	4.18 (0)
NWSS	0.17 (1)	0.32 (0)	0.17 (1)	0.37 (0)
OSI	0.009 (0)	0.017(1)	0.019(1)	0.005 (0)
AFI	0.92 (1)	0.93 (0)	0.93 (1)	0.97 (0)
WSSG, Pa/mm	1.60 (1)	2.80 (0)	1.56 (1)	8.55 (0)
LSAR	0.40 (1)	0.12 (0)	0.38 (1)	0.23 (0)
Total Score	9	1	8	2

4. 考察

脳動脈瘤の破裂状態を CFD で診断するためには, 標準化された画像データや解析方法, 部位や発育形式ごとの検討が望ましいが, 多数例での報告はない. このため今回の課題では, これまでの研究報告に基づいた破裂状態が推測可能とされる複数のパラメータによる総合評価を行った.

5. 結言

課題 1 は前大脳動脈瘤, 課題 2 は中大脳動脈瘤が破裂したと判断した.

文 献

- 1) Maryam R, Janel S.: Size ratio correlates with intracranial aneurysm rupture status: A prospective study. Stroke, 41, 916-920, 2010.
- 2) Yasuda R, Strother C.M.: Aneurysm volume-to-ostium area ratio: A parameter useful for discriminating the rupture status of intracranial aneurysms. Neurosurgery, 68, 310-318, 2011.
- 3) Jianping S, Sabareesh K.N.: Hemodynamic-morphologic discriminants for intracranial aneurysm rupture. Stroke, 22, 144-152, 2011.
- 4) Miura Y, Ishida F.: Low wall shear stress is independently associated with the rupture status of middle cerebral artery aneurysms. Stroke, 44, 519-521, 2013.