

Color-coded 3D MRA による個々の未破裂脳動脈瘤における 瘤内 MR 信号強度分布パターンの画像解析*

佐藤 透¹⁾ 尾美 賜¹⁾ 大迫 知香¹⁾ 勝間田 篤²⁾
吉本 祐介²⁾ 土本 正治²⁾ 国塩 勝三³⁾ 小野田恵介⁴⁾
徳永 浩司⁴⁾ 杉生 憲志⁴⁾ 伊達 勲⁴⁾

Assessment of the Signal Intensity Distribution Pattern within the Unruptured Cerebral Aneurysms Using Color-coded 3D MR Angiography

Toru SATOH¹⁾, Megumi OMI¹⁾, Chika OHSAKO¹⁾, Atsushi KATSUMATA²⁾, Yusuke YOSHIMOTO²⁾, Shoji TSUCHIMOTO²⁾
Katsuzo KUNISHIO³⁾, Keisuke ONODA⁴⁾, Koji TOKUNAGA⁴⁾, Kenji SUGIU⁴⁾, Isao DATE⁴⁾

1) Department of Neurological Surgery, Ryofukai Satoh Neurosurgical Hospital

2) Department of Neurological Surgery, Onomichi Municipal Hospital

3) Department of Neurological Surgery, Kawasaki Medical University Kawasaki Hospital

4) Department of Neurological Surgery, Okayama University Graduate School of Medicine, Dentistry and
Pharmaceutical Sciences

To evaluate the interaction between the MR signal intensity distribution pattern and bleb formation/ deformation of the aneurysmal dome, fifty cases of the unruptured cerebral aneurysms were investigated with the color-coded 3D MR angiography. Patterns were categorized into central-type, neck-type and peripheral-type according to the distribution of MR signals with low-, moderate- and high signal intensity areas. Imaging analysis revealed the significant relationship ($P<0.02$) of the peripheral-type aneurysms to the bleb formation and deformation of the dome, compared with those of central- and neck-type. Additionally, peripheral-type signal intensity distribution pattern was shown with aneurysms harboring relatively large dome size and lateral-type growth including internal carotid aneurysms. Prospective analysis of intraaneurysmal flow pattern with the color-coded 3D MR angiography may provide patient-specific analysis of intraaneurysmal flow status in relation to the morphological change of the corresponding aneurysmal dome in the management of unruptured cerebral aneurysms.

(Received : October 22, 2004, Accepted : January 13, 2005)

Key words MR angiography, intraaneurysmal flow, three-dimensional reconstruction

No Shinkei Geka 33(5): 445-454, 2005

*(2004. 10. 22 受稿, 2005. 1. 13 受理)

1) 医療法人社団) 涼風会 佐藤脳神経外科脳神経外科, 2) 尾道市立市民病院脳神経外科, 3) 川崎医科大学附属川崎病院脳神経外科, 4) 岡山大学大学院医歯薬学総合研究科神経病態外科学

〔連絡先〕佐藤 透=医療法人社団) 涼風会 佐藤脳神経外科 (〒729-0104 広島県福山市松永町 5-23-23)

Address reprint requests to : Toru SATOH, M.D., Department of Neurological Surgery, Ryofukai Satoh Neurosurgical Hospital, 5-23-23 Matsunaga-cho, Fukuyama-city, Hiroshima 729-0104, JAPAN

E-mail: ucsfbtrc@urban.ne.jp

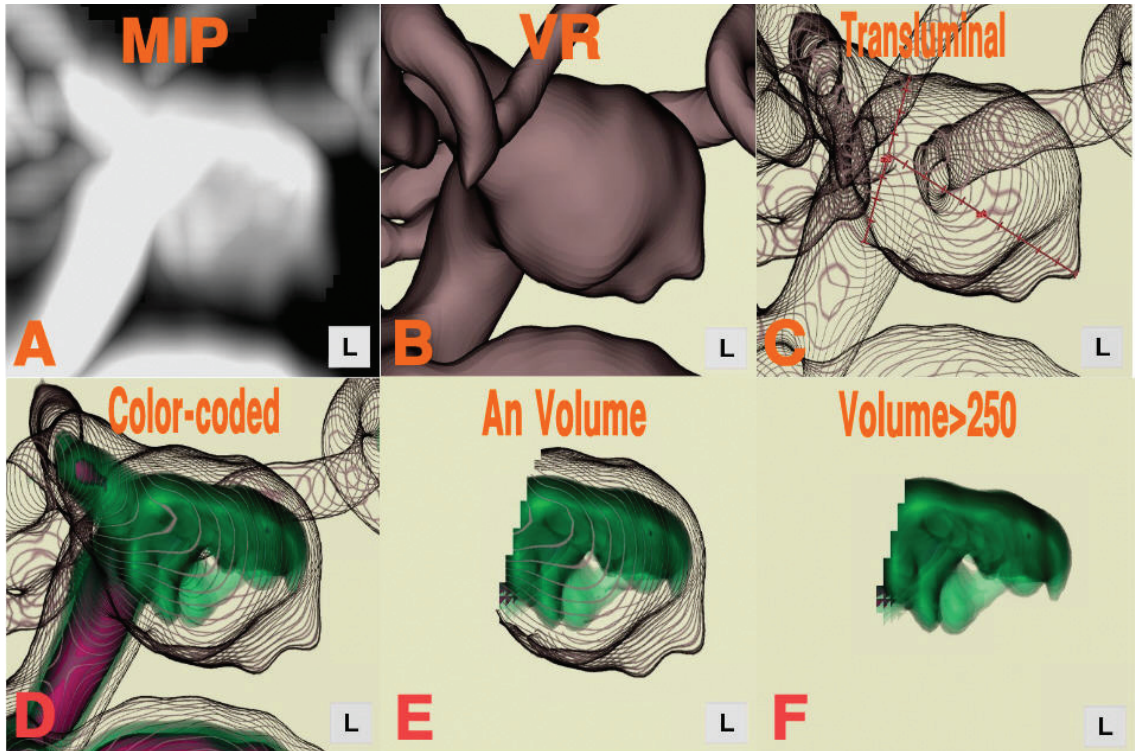


Fig. 1 Geometric analysis of an unruptured left internal carotid-posterior communicating artery aneurysm (Case 14: 88 y.o., female, 11.7 mm in size, peripheral-type) using transluminal color-coded 3D MR angiography. **A**: Maximum intensity projection (MIP) image, left lateral projection, **B**: Parallel 3D volume rendering (VR) image, **C**: Transluminal 3D image with measuring bars for the aneurysmal neck and depth, **D**: Color-coded 3D image, **E**: Measurement of aneurysmal dome volume, **F**: Measurement of the volume >250 signal intensity area.

I. はじめに

脳動脈瘤の発生、成長、破裂には、血液の流れによる血行力学的負荷が深くかかわっていると考えられ、脳動脈瘤内の流れの解明にはこれまで多くの研究がなされてきた^{2-4,12-14}。しかしながら、そのほとんどは *in vitro* model, computer simulation あるいは実験脳動脈瘤を用いた基礎的検討であり、臨床例でのまとまった報告はみられない。今回われわれは、MR angiography (MRA) で得られる血流情報に着目して、MRA volume data の信号強度分布を3次元 (three-dimensional, 3D) カラー表示する color-coded 3D MRA を新たに創作した⁹⁾。本論文では、color-coded 3D MRA を用いて、未破裂脳動脈瘤 50 例において個々の脳動脈瘤での瘤内 MR 信号強度分布パターンと bleb

形成・dome の変形など瘤形態との関連を 3D 画像解析し、新たな知見を得たので報告する。

II. 対象と方法

対象は、2002 年 1 月から 2004 年 7 月までの 2 年 6 カ月間に脳神経外科一般外来を受診し、MRA で発見された単発性無症候性未破裂脳動脈瘤の 50 例 (13 ~ 89 歳: 男性 22 例, 女性 28 例) で、18 例 (36%) に予防的脳動脈瘤根治術を施行し、32 例 (64%) は経過観察中である。

MRA の撮像および color-coded 3D MRA の作成方法の詳細は先に報告したので⁶⁻¹¹⁾、ここでは簡略に記載する。MRA は、3D time-of-flight (TOF), spoiled gradient-recalled acquisition の sequence を使用し、TR 30 ms / TE 3.3 ms, flip angle 20°, 192 × 128 matrix, 1.2 mm thickness, 0.6 mm

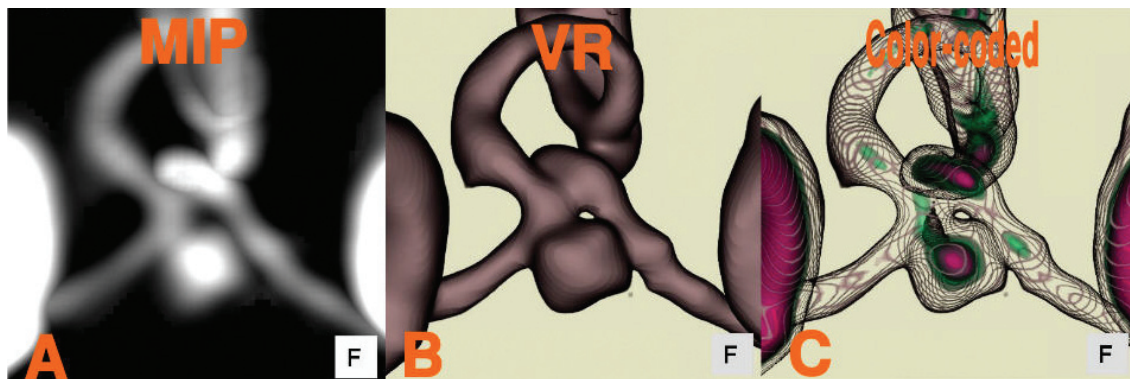


Fig. 2 MR signal intensity distribution pattern with Central-type, anterior communicating aneurysm (Case 10: 76 y.o., female, 4.5 mm in size), showing MIP (A), VR (B) and Color-coded (C) images.

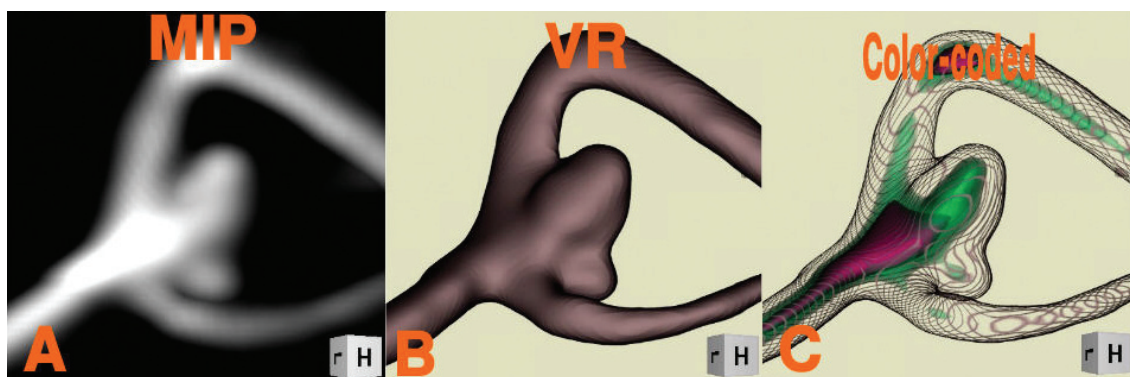


Fig. 3 MR signal intensity distribution pattern with neck-type, middle cerebral artery aneurysm (Case 35: 63 y.o., male, 7.2 mm in size), showing MIP (A), VR (B) and color-coded (C) images.

slice interval, 16 cm field of view, number of excitations 2 回, without magnetization transfer contrast, 60 slices (2 slabs), zero-fill interpolation processing 2 回, overlap 8 枚, total scan time 8 分 49 秒 (2 slabs) の撮影条件で, 計 104 枚の軸位元画像 (volume data) を得た. ワークステーション上で, 0.6 mm に補間した 3D volume-rendering dataset (111 data) から, parallel volume-rendering algorithm, transluminal imaging technique を用いて脳動脈瘤血管構築を画像再構成した. Opacity chart から血管壁 (信号強度 160 ~ 180) を選択し紫色に, 信号強度 250 ~ 300, 300 ~ 500 の領域をそれぞれ緑色, 赤色に色づけし, 脳動脈瘤内, 親動脈内の信号強度分布を血管壁形態とともに 3D 画像表示した.

Color-coded 3D MRA による画像解析方法を Fig. 1 に示した. 脳動脈瘤内信号強度分布パターンは, color-code された信号強度領域を静止画あるいはアニメーション動画観察することにより, dome 中心部に高信号強度領域を認める central-type (Fig. 2), 親動脈から neck 近傍にかけて高信号強度分布を認める neck-type (Fig. 3), neck から dome 辺縁部にかけて高信号領域を呈し, 中心部に中・低信号強度領域を認める peripheral-type (Fig. 4) の 3 型に分類し, 瘤 dome における bleb 形成・変形との関連について個々の症例で評価した.

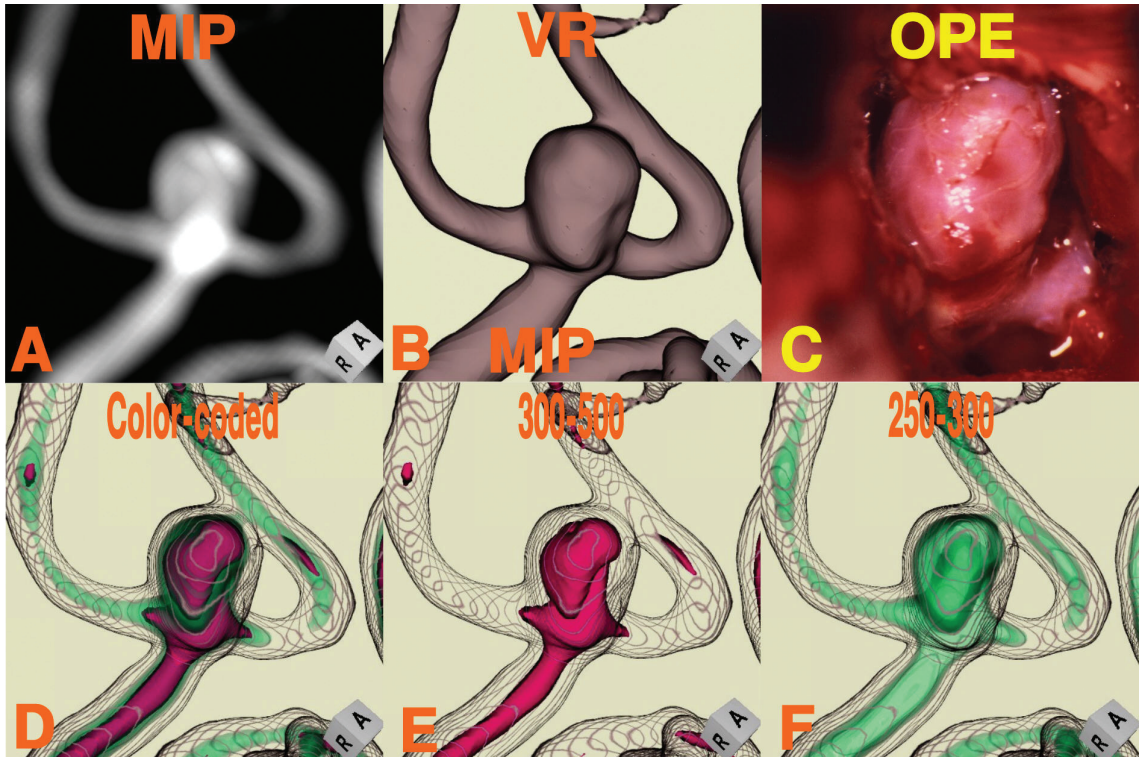


Fig. 4 MR signal intensity distribution pattern with peripheral-type, anterior communicating aneurysm (Case 4: 59 y. o., male, 7.7 mm in size), showing MIP (A) and VR (B) images, and operative photo (C). Color-coded images were shown altogether (D), and separate area with 300-500 signal intensity (E) and 250-300 (F).

III. 結 果

1. 脳動脈瘤血管構築の計測

3D MRA で脳動脈瘤血管構築を全方向から観察した。親動脈, neck, dome の最長径は, 親動脈と dome が重畳した場合でも transluminal imaging で透視観察することにより neck, depth が正確に計測可能であった。単発性無症候性未破裂脳動脈瘤 50 例において, 流入親動脈径, depth/neck サイズおよびその比率 (aspect ratio) を計測し, 前交通動脈瘤, 内頸動脈瘤, 脳底動脈瘤, 中大脳動脈瘤の部位別にまとめ (Table 1), unpaired Student t test を用いて統計処理した。脳動脈瘤最大径は, 内頸動脈瘤は 8.81 ± 2.76 mm (mean \pm SD) で有意に ($P < 0.05$) 大きく, 親動脈径は, 前交通動脈 (大きいもの) が 2.31 ± 0.63 mm と最も小さく, 次に中大脳動脈が 2.80 ± 0.48 mm で有意に ($P < 0.03$) 小さかった。しかし, aspect

ratio はいずれも有意差を認めなかった。

2. 脳動脈瘤 volume の測定

Color-coded 3D MRA では, 脳動脈瘤と瘤内高信号領域 (>250) を画像選択することでこれらの volume が測定され, 瘤内高信号領域 (>250) の比率 (% volume) を算出し, 前交通動脈瘤, 内頸動脈瘤, 脳底動脈瘤, 中大脳動脈瘤の部位別にまとめて示した (Table 2)。瘤 volume は, 内頸動脈瘤 (363.29 ± 263.51 mm³) が最も大きく, 前交通動脈瘤 (151.98 ± 99.96 mm³), 中大脳動脈瘤 (102.97 ± 55.66 mm³) よりも有意に ($P < 0.02$) 大きい。脳底動脈瘤とは差が認められなかった。瘤内高信号領域 (>250) の volume は中大脳動脈瘤 (51.07 ± 21.84 mm³) では他の部位に比べて有意に ($P < 0.03$) 小さかったが, その比率はいずれも有意差は認めなかった。

Table 1 Geometric analysis for 50 cases of unruptured cerebral aneurysms

No	Age/Sex	Dome Size(mm)	Afferent Artery (mm)	Depth/Neck (mm)	Aspect Ratio
1	54M	5.4 x 4.4 x 5.8	3.3	3.6/4.7	0.766
2	75F	2.1 x 2.9 x 3.4	2.1	1.5/4.6	0.326
3	83F	6.7 x 7.1 x 10.9	2.1	7.7/3.3	2.333
4	59M	7.7 x 6.8 x 7.6	3.5	7.1/4.6	1.543
5	50M	6.5 x 6.7 x 7.4	2.5	5.6/3.2	1.750
6	75M	6.1 x 8.6 x 7.1	2.1	7.7/4.1	1.878
7	74M	5.5 x 4.1 x 5.3	1.9	3.4/2.4	1.417
8	89F	4.1 x 6.2 x 5.4	1.6	5.1/2.7	1.889
9	70M	4.5 x 5.5 x 5.2	1.6	3.3/4.7	0.702
10	76F	4.4 x 4.5 x 4.1	2.7	3.4/3.1	1.097
11	68F	3.7 x 3.2 x 4.0	2.0	5.1/2.7	1.888
AComA An		MAX=6.18±2.1	2.31±0.63²		1.42±0.62
12	74M	6.7 x 2.9 x 4.8	3.3	5.0/2.7	1.852
13	76F	3.4 x 3.9 x 5.9	3.7	3.2/3.8	0.842
14	88F	11.7 x 9.4 x 9.8	4.6	9.5/7.5	1.267
15	77F	9.3 x 8.7 x 9.7	4.8	8.5/4.8	1.771
16	82F	9.1 x 7.8 x 9.4	4.2	5.1/8.5	0.600
17	83F	8.6 x 8.6 x 11.3	4.0	9.8/7.6	1.289
18	58M	2.9 x 2.9 x 4.5	4.3	2.3/4.7	0.489
19	60M	9.2 x 8.4 x 7.3	3.7	10.6/4.3	2.465
20	74M	9.1 x 6.5 x 10.1	4.9	6.7/7.0	0.957
21	64F	3.7 x 4.2 x 6.8	5.3	3.5/6.6	0.530
22	43F	8.1 x 9.7 x 13.4	5.3	8.4/9.1	0.923
23	61M	3.8 x 3.2 x 5.1	4.2	2.3/4.4	0.523
24	13F	10.7 x 10.1 x 10.6	6.5	8.7/10.2	0.853
IC An		MAX=8.81±2.76¹	4.52±0.85		1.11±0.61
25	80F	2.6 x 3.1 x 3.7	4.6	2.3/3.5	0.657
26	69F	5.9 x 3.4 x 5.9	3.7	4.8/4.7	1.021
27	72M	5.1 x 4.7 x 7.5	4.0	4.6/4.7	0.979
28	67F	4.5 x 5.6 x 6.7	3.4	5.2/3.4	1.529
29	74F	3.9 x 4.2 x 5.1	3.7	5.7/4.8	1.188
30	70M	3.3 x 2.6 x 2.4	3.0	2.6/3.6	0.722
31	70F	7.3 x 10.6 x 5.6	6.6	6.4/10.2	0.627
32	70M	6.7 x 7.6 x 7.0	3.8	6.4/6.5	0.985
BA An		MAX=6.30±2.37	4.10±1.11		0.96±0.30
33	63F	4.9 x 4.9 x 6.7	2.6	6.7/4.1	1.634
34	49F	3.4 x 2.6 x 3.7	2.4	2.0/3.1	0.645
35	63M	4.8 x 4.5 x 7.2	2.4	7.1/4.3	1.651
36	86F	7.8 x 3.6 x 5.1	3.4	4.5/4.8	0.938
37	72M	3.6 x 2.9 x 4.1	3.1	2.4/4.3	0.558
38	68M	5.3 x 4.7 x 5.3	2.4	5.1/1.7	3.000
39	61F	4.3 x 3.0 x 5.1	2.4	2.7/4.0	0.675
40	47M	4.0 x 2.3 x 4.5	3.6	2.0/5.1	0.392
41	86F	2.8 x 3.9 x 7.1	3.3	4.8/3.7	1.297
42	78F	5.8 x 7.1 x 5.8	3.1	5.4/3.6	1.500
43	67F	5.3 x 7.9 x 7.6	2.8	10.0/4.5	2.222
44	68F	3.8 x 5.9 x 3.0	3.7	4.6/4.4	1.045
45	42M	4.5 x 6.9 x 5.7	2.6	4.5/4.2	1.071
46	81M	3.6 x 3.6 x 4.2	2.4	3.4/4.1	0.829
47	66M	3.1 x 4.8 x 3.2	3.2	3.2/3.3	0.970
48	68F	4.2 x 3.6 x 5.2	2.3	3.3/3.9	0.846
49	77F	3.2 x 3.0 x 4.6	2.2	3.1/2.7	1.148
50	61M	3.5 x 3.7 x 4.7	2.5	2.1/3.2	0.656
MCA An		MAX=5.71±1.37	2.80±0.48³		1.18±0.65

Table 1 Geometric analysis for 50 cases of unruptured cerebral aneurysms dome size (x, y, z; mm), afferent artery size (mm), aneurysmal depth (mm)/neck width (mm), and aspect ratio. Note the significantly large maximum size with the internal carotid artery aneurysms^{*1} (P<0.05), the small afferent artery size with the anterior communicating artery aneurysms^{*2} and the middle cerebral artery aneurysms^{*3} (P<0.04).

Table 2 Volumetric analysis for 50 cases of unruptured cerebral aneurysms

No	Volume (mm ³)	250-500 (mm ³)	%High	Type	Blebs	Deform	Results
1	132.7	87.7	0.661	C	-	+	OP
2	26.1	18.7	0.716	N	-	-	NONE
3	265.1	168.9	0.637	P	2	++	OP
4	295.0	224.0	0.759	P	1	+	OP
5	270.3	172.9	0.640	P	3	++	OP
6	251.8	151.8	0.603	P	2	+	NONE
7	85.2	48.2	0.566	N	-	+	NONE
8	125.0	55.7	0.446	C	-	+	NONE
9	104.4	35.4	0.339	N	1	+	NONE
10	84.6	36.7	0.434	C	1	+	NONE
11	31.6	21.6	0.684	N	1	-	OP
ACoM An	151.98±99.96	92.87±73.00	0.59±0.13				
12	88.4	31.3	0.354	P	-	+	NONE
13	78.5	42.7	0.544	C	-	-	NONE
14	606.4	279.8	0.461	P	3	++	NONE
15	469.4	176.7	0.376	P	1	+	NONE
16	312.1	218.0	0.699	P	1	+	NONE
17	548.8	380.6	0.694	P	-	++	OP
18	25.9	15.7	0.606	N	1	++	OP
19	588.4	32.8	0.056	P	1	+	OP
20	606.2	291.7	0.481	P	1	+	OP
21	83.0	51.4	0.619	N	2	++	OP
22	682.3	586.7	0.860	N	-	+	OP
23	33.0	7.1	0.215	N	-	-	OP
24	600.4	459.4	0.765	P	1	-	OP
IC An	363.29±263.51⁴	197.99±191.37	0.52±0.23				
25	46.7	14.6	0.313	N	-	-	NONE
26	140.0	75.3	0.538	N	-	+	NONE
27	150.6	85.3	0.566	P	-	-	NONE
28	169.8	113.2	0.667	C	-	-	NONE
29	140.9	108.2	0.768	N	1	+	NONE
30	39.4	28.5	0.723	N	-	-	NONE
31	429.9	281.6	0.655	P	2	++	NONE
32	290.0	181.0	0.624	P	2	+	NONE
BA An	175.91±45.52	101.96±86.23	0.61±0.14				
33	122.5	66.9	0.546	P	-	+	NONE
34	44.2	22.1	0.500	N	-	-	NONE
35	128.1	61.8	0.482	C	-	+	NONE
36	147.2	89.4	0.607	P	1	+	NONE
37	57.3	25.1	0.438	C	-	-	NONE
38	105.6	67.8	0.642	C	-	+	NONE
39	68.7	41.7	0.607	N	-	+	NONE
40	24.3	15.2	0.626	N	-	-	OP
41	120.6	78.0	0.647	C	-	-	NONE
42	169.0	60.3	0.357	N	1	+	NONE
43	249.5	52.1	0.209	P	3	+	NONE
44	140.9	78.0	0.554	N	1	-	OP
45	145.2	70.8	0.488	N	1	+	OP
46	74.8	41.9	0.560	N	-	-	NONE
47	56.4	37.1	0.658	N	-	-	NONE
48	81.1	52.8	0.651	C	1	+	OP
49	51.4	27.1	0.527	C	-	-	NONE
50	66.7	31.1	0.466	N	-	-	OP
MCA An	102.97±55.66	51.07±21.84⁵	0.53±0.12				

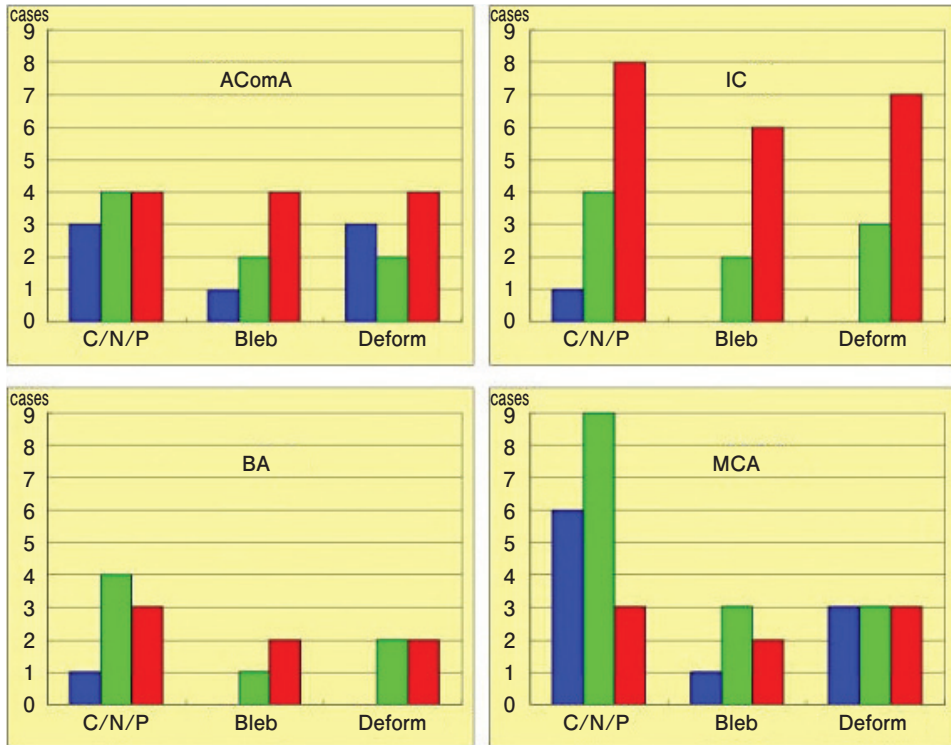


Fig. 5 Bar chart showing the relationship of three signal intensity distribution patterns (central-, neck-, and peripheral-types) to bleb formation and deformation of the dome with each location of the aneurysm. Significant correlation was observed between the peripheral-type with internal carotid artery aneurysms as compared with the middle cerebral artery aneurysms ($P<0.05$). C; central-type, N; neck-type, P; peripheral-type, **Bleb**; bleb formation on the aneurysmal dome, **Deform**; deformation of the dome.

Table 2 Volumetric analysis and three signal intensity distribution patterns (central-, neck-, and peripheral-types), bleb formations, deformation, and results for 50 cases of unruptured cerebral aneurysms. Note the significantly large volume with the internal carotid artery aneurysms⁴ ($P<0.05$), and the significant by small high signal intensity volume with the middle cerebral artery aneurysms⁵ ($P<0.03^{*5}$).

3. 脳動脈瘤内 MR 信号強度分布パターンの解析

Color-coded 3D MRA では 250 ~ 500 の MR 信号強度領域を一枚の画像で、あるいは信号強度 250 ~ 300, 300 ~ 500 の領域それぞれを別個に画像表示し、静止画あるいは動画観察することで瘤内信号強度分布パターンが解析できた。脳動脈瘤内信号強度分布パターン (central, neck, peripheral の 3 型) と bleb 形成や変形との関連は、部位別にあるいは全例での集計で検討した。

部位別検討 (Fig. 5) では、peripheral-type は内頸動脈瘤 (61.5%) では、中大脳動脈瘤 (16.7%) に比べて有意に ($P<0.01$) 多く認められた。しかし、症例数の不足から、瘤内信号強度分布パターンと bleb 形成、変形との間に有意差は認められなかった。全例集計での解析 (Fig 6) では、bleb

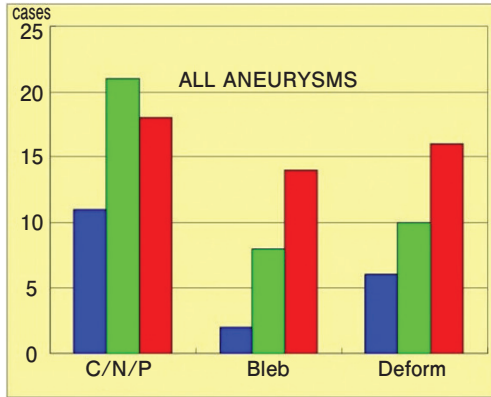


Fig. 6 Bar chart showing the relationship of three signal intensity distribution patterns (central-, neck-, and peripheral-types) to bleb formation and deformation of the dome with 50 cases of unruptured cerebral aneurysms. Significant correlation was observed between the peripheral-type and bleb formation ($P < 0.02$) and deformation ($P < 0.04$). C; central-type, N; neck-type, P; peripheral-type, **Bleb**; bleb formation on the aneurysmal dome, **Deform**; deformation of the dome.

を有するものは peripheral-type では 77.8% で、central-type (18.2%) や neck-type (38.1%) よりも有意に ($P < 0.02$) 多くみられた。また、peripheral-type では、脳動脈瘤最大径 (8.89 ± 1.69 mm)、脳動脈瘤 volume (349.56 ± 180.44 mm³) とも有意に ($P < 0.01$) 大きなものが多く、流入親動脈径 (3.86 ± 1.30 mm) は central-type よりも有意に ($P < 0.02$) 大きかった。また、dome の変形は、peripheral-type では 88.9% で、central-type (54.5%)、neck-type (47.6%) よりも有意に ($P < 0.04$) 多く認められた。

IV. 考 察

脳動脈瘤の発生、成長、破裂のメカニズムは、これまで親動脈と脳動脈瘤との血管構築、瘤サイズと形態、瘤壁性状^{1-4,6,7,9,12-14}、あるいは脳動脈瘤をとり巻く瘤周囲環境^{5,8,10,11} について検討されてきた。そのなかで、瘤内血行動態は、脳動脈瘤が発生・成長し破裂に至るすべての過程において、瘤内環境に大きく影響することが判明している^{2-4,12-14}。しかしながら、臨床例での脳動脈瘤内の流れについて、特に個々の症例における bleb 形

成や変形など瘤形態と流れとの関連についてはいまだ解明されていない。

脳動脈瘤内の血行動態について、Tateshima ら¹⁴ は bleb を有する未破裂脳動脈瘤鑄型モデル 2 例を用い laser-Doppler velocimetry の手法で fluid-induced wall shear stress を測定し、shear stress は瘤壁全体に不均一で、心拍動周期で変動し、inflow zone, outflow zone よりも dome で高く、とりわけ bleb で最も高い shear stress を認めた。脳動脈瘤壁が局所的に高い shear stress にさらされた結果 bleb が形成され、退行変性を伴い bleb は破裂すると推測した。また、Hassan ら³ は、3D digital angiography で得られた data をもとに computational fluid dynamics の手法で、6 症例 (破裂瘤 4, 未破裂瘤 2) について瘤内血行動態を解析した。流入血流は瘤壁に衝突しその部に最大圧の負荷が認められたが、血流は停滞するため shear stress はゼロであった。この近傍で壁沿いに血流が進路変更する広い範囲で高い shear stress が認められ、瘤壁への高い shear stress が継続的に作用することで瘤壁局所の破綻を招くとしている。複数の bleb を有する中大脳動脈瘤例では bleb のサイズではなく、高い shear stress が認められた小さいサイズの bleb での破裂が予測され術中確認されたと報告した。これに対して、Shojima ら¹² は、3D CT angiography で得られた中大脳動脈瘤 20 例で computational fluid dynamics 解析を行い、shear stress は親動脈壁に比べ瘤壁では有意に低く、瘤内では neck 近傍に比べ dome 先端や bleb でより低値を示し、脳動脈瘤の発生には高い shear stress が影響するが、成長・破裂には低い shear stress による瘤壁の退行変性が関与することを示唆した。

われわれは、MRA で得られる血流情報に着目して、MRA volume data の信号強度分布を 3D カラー表示する color-coded 3D MRA を創作した⁹。TOF sequence MRA では、流入効果による flow void により、拡張期から収縮期を通したすべての心周期のなかで収集された最も早い流速の血流信号が高い MR 信号強度値として描出される^{7,9}。したがって、MRA 各ピクセルの volume data は、CT angiography や digital angiography で得られる

造影剤充盈に基づく血管内腔形態とは異なり、血流に関連した機能的情報を有している^{7,9)}。しかし、各ピクセルのMR信号強度は多くの因子により影響されるため、血流情報の解析およびその解釈は複雑となる。信号強度値の低下は、遅い血流、血流の剥離や渦流れ、位相のずれによるspinの飽和、磁化率、部分容積効果などにより引き起こされる。脳動脈瘤内では、neckやdomeの形態、aspect ratio (aneurysmal depth/neck width)、流出親動脈の流量比などにより、一次渦流れ、二次渦流れ、血流の停滞や静止など複雑な瘤内血流が認められる¹³⁾。また、瘤内血流は心拍動や脈拍の変化に伴い容易に変動する^{7,9)}。そのため、脳動脈瘤では瘤内MR信号強度が一部で低下し、不均一なMR信号強度分布を呈することが多い。一般に高信号強度を示すピクセルでは早い流速が反映されると考えられるが、低信号強度のピクセルは必ずしも遅い流速を示すとは限らない。流速を信号強度値で定量化することは困難であるが、比較的低い信号強度分布領域では、血流の剥離や渦流れなど複雑な血流が反映されるものと考えられる。したがって、脳動脈瘤内の流れの解明には、高MR信号強度領域のみならず中・低MR信号強度領域の瘤内分布パターンを立体的に画像評価することが必要と考えられた。

今回、単発性無症候性未破裂脳動脈瘤50例において、color-coded 3D MRAを用いて脳動脈瘤内信号強度分布パターンをperipheral-type, central-type, neck-typeの3型に分類し、bleb形成や変形との関連を検討した。その結果、peripheral-typeでは、bleb形成やdomeの変形を伴うものが、他のtypeに比べ有意に多く認められた。すなわち、color-coded 3D MRAでneckから瘤周辺部にかけて高MR信号強度領域を認め、中・低MR信号強度領域が瘤中心部あるいは瘤辺縁部に局在する信号強度分布パターンを示す脳動脈瘤においては、中・低MR信号強度領域に相応した部位で血流の剥離や渦流れなど複雑な瘤内血流が発生していると考えられ、bleb形成や変形など瘤形態の変化を来しやすいことが推測された。しかしながら、peripheral-typeがlateral-aneurysmである内頸動脈瘤に多く、また大きなサイズのもの

に多くみられることから、peripheral-typeの未破裂脳動脈瘤が部位やサイズにかかわらずbleb形成や変形を招きやすく破裂のリスクを伴うことは直ちに結論づけられない。今後、未破裂脳動脈瘤の易破裂性にかかわる瘤内因子を臨床評価するためには、未破裂脳動脈瘤、破裂脳動脈瘤、さらに破裂に至った未破裂脳動脈瘤の多数例で、瘤内信号強度分布パターン(type)、部位、大きさ、bleb形成、domeの変形などそれぞれの因子について多変量解析する必要があると思われた。

Color-coded 3D MRAはTOF sequence MRAでsource imageとして得られたvolume dataそのものの単純な画像解析であり、MRA撮像終了からわずか20秒間の画像再構成時間で簡便に得られる臨床画像である。脳動脈瘤内の流れをMRA信号強度分布パターンとして画像評価することで、臨床現場に即応したpatient-specificな瘤内血流がある程度推測可能と考えられた。Color-coded 3D MRAは、個々の症例における増大・破裂のリスク、瘤内血流とbleb形成など瘤形態の変形、さらに時間経過に伴う流れの変化など、未破裂脳動脈瘤の自然歴を追跡するうえで有用な画像解析技術と考えられた。

本論文の要旨の一部は、第23回Mt Fuji Conference on CVD(東京、2004年、8月28日)および第63回日本脳神経外科学会総会(名古屋、2004年10月8日)において口演発表した。

文 献

- 1) Asari S, Ohmoto T: Natural history and risk factors of unruptured cerebral aneurysms. *Clin Neurol Neurosurg* **95**: 205-214, 1993
- 2) Burleson AC, Strother CM, Turitto VT: Computer modeling of intracranial saccular and lateral aneurysms for the study of their hemodynamics. *Neurosurgery* **37**: 774-784, 1995
- 3) Hassan T, Timofeev EV, Saito T, Shimizu H, Ezura M, Tominaga T, Takahashi A, Takayama K: Computational replicas: Anatomic reconstructions of cerebral vessels as volume numerical grids at three-dimensional angiography. *AJNR Am J Neuroradiol* **25**: 1356-1365, 2004
- 4) Kerber CW, Liepsch D: Flow dynamics for radiologists. II. Practical considerations in the live human. *AJNR Am J Neuroradiol* **15**: 1076-1086, 1994

- 5) Rúiz DSM, Tokunaga K, Dehdashti AR, Sugiu K, Delavelle J, Rüfenacht DA : Is the rupture of cerebral berry aneurysms influenced by the perianeurysmal environment? *Acta Neurochir Suppl* **82** : 31-34, 2002
- 6) Satoh T : Transluminal imaging with perspective volume rendering of computed tomographic angiography for the delineation of cerebral aneurysms. *Neurol Med Chir (Tokyo)* **41** : 425-430, 2001
- 7) Satoh T, Onoda K, Tsuchimoto S : Visualization of intraaneurysmal flow patterns with transluminal flow imaging of three-dimensional MR angiograms in conjunction with aneurysmal configurations. *AJNR Am J Neuroradiol* **24** : 1436-1445, 2003
- 8) 佐藤 透, 浴野千菜美, 大迫知香, 勝間田 篤, 小野田恵介, 土本正治, 柚木正敏, 徳永浩司, 杉生憲志, 伊達 勲 : 3次元 MR 脳槽画像による未破裂脳動脈瘤外壁形態と瘤周囲環境の画像評価. *No Shinkei Geka* **32** : 215-221, 2004
- 9) Satoh T, Ekino C, Ohsako C : Transluminal color-coded three-dimensional magnetic resonance angiography for visualization of signal intensity distribution pattern within an unruptured cerebral aneurysm : Preliminary assessment with anterior communicating artery aneurysms. *Neuroradiology* **46** : 628-634, 2004
- 10) Satoh T, Omi M, Ohsako C, Katsumata A, Yoshimoto Y, Tsuchimoto S, Onoda K, Tokunaga K, Sugiu K, Date I : Visualization of aneurysmal contours and perianeurysmal environment with conventional and transparent 3D MR cisternograms. *AJNR Am J Neuroradiol* **26** : 313-318, 2005
- 11) 佐藤 透, 尾美 賜, 大迫知香, 勝間田 篤, 吉本祐介, 土本正治, 小野田恵介, 徳永浩司, 杉生憲志, 伊達 勲 : 未破裂内頸動脈—後交通動脈瘤の伸展・変形に及ぼす瘤周囲環境の画像評価 : 3D MR Cisternogram-3D MR Angiogram Fusion Imaging による検討. *No Shinkei Geka* (in press)
- 12) Shojima M, Oshima M, Takagi K, Torii R, Hayakawa M, Katada K, Morita A, Kirino T : Magnitude and role of wall shear stress on cerebral aneurysm : Computational fluid dynamic study of 20 middle cerebral artery aneurysms. *Stroke* **35** : 2500-2505, 2004
- 13) 玉野吉範, 氏家 弘, 吉本成香, 堀 智勝 : 中大脳動脈瘤の流体力学的特徴. *No Shinkei Geka* **29** : 921-930, 2001
- 14) Tateshima, Murayama Y, Villablanca JP, Morino T, Nomura K, Tanishita K, Viñuela F : In vitro measurement of fluid-induced wall shear stress in unruptured cerebral aneurysms harboring blebs. *Stroke* **34** : 187-192, 2003

ご案内

第 19 回日本脳神経外科同時通訳夏季研修会

日 時 平成 17 年 7 月 15 日 (金) ~ 16 日 (土)
 会 場 長野県松本文化会館国際会議場 (☎ 390-0311 長野県松本市水波 69-2)
 TEL0263-34-7100 / FAX0263-34-7101
 会 長 信州大学脳神経外科 本郷一博
 申し込み方法 4 ~ 5 月に A 項訓練施設長宛てに募集案内を送付いたします。

連絡先 第 19 回日本脳神経外科同時通訳夏季研修会事務局
 (☎ 390-8621 長野県松本市旭 3-1-1 信州大学脳神経外科内)
 柿澤幸成 E-mail : kakizawa@hsp.md.shinshu-u.ac.jp
 加藤美子 (秘書) E-mail : yoshikok@hsp.md.shinshu-u.ac.jp
 * お問い合わせは加藤美子宛にメールをお送りください。