

Title	頸部頸動脈狭窄性病変の造影3次元MRAによる描出-頸動脈超音波との比較-
Author(s)	新井, 鐘一; 宇都宮, 英綱; 田代, 忠 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 2002, 62(12), p. 695-700
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/14864
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

頸部頸動脈狭窄性病変の造影 3 次元MRAによる描出 - 頸動脈超音波との比較 -

新井 鐘一¹⁾ 宇都宮英綱¹⁾ 田代 忠²⁾
黒岩 大三¹⁾ 岡崎 正敏¹⁾

1) 福岡大学医学部放射線科
2) 福岡大学医学部心臓血管外科

Extracranial Carotid Artery Disease Assessed by Contrast Enhanced Three-Dimensional MR Angiography: Correlation with carotid ultrasonography

Syouichi Arai¹⁾, Hidetsuna Utsunomiya¹⁾,
Tadashi Tashiro²⁾, Taizo Kuroiwa¹⁾,
and Masatoshi Okazaki¹⁾

Purpose: To evaluate the imaging features of extracranial carotid stenosis and to compare the findings with contrast enhanced three-dimensional MR angiography (CE 3D-MRA) with those of carotid ultrasonography (CUS).

Materials and Methods: Both studies were performed in 24 patients (48 carotid arteries) with extracranial carotid arteriosclerotic stenosis. Based on the CUS findings, the degree of stenosis was classified into four grades: normal, mild; 1-39%, moderate; 40-69%, severe; and 70-99%, occlusion. The presence or absence of ulceration, as well as high-grade turbulence (HGT) at the stenotic portion, was also assessed by CUS. Furthermore, according to the findings of CE 3D-MRA, stenosis was again classified into four types: normal (n=4), narrow (n=26), signal void (n=10), and occlusion (n=8).

Results: Both studies correctly identified occlusion in 8 arteries. Of 19 arteries that were classified as having mild or moderate stenosis on CUS, 16 (84%) were narrow on CE 3D-MRA. On the other hand, of 20 arteries classified as showing severe stenosis on CUS, 10 (50%) and 10 (50%) were classified as the narrow type and signal-void type, respectively, on CE 3D-MRA. Signal void was only seen in the severe stenosis group. Ulceration was detected more frequently in the signal-void type than in the narrow type (7/10 vs. 5/10). In addition, the incidence of HGT in the signal-void type was significantly higher than that in the narrow type (9/10 vs. 3/10; $p < 0.02$).

Conclusion: CE 3D-MRA shows the features of extracranial carotid stenosis more reliably than CUS. In addition, signal void detected on CE 3D-MRA may reflect severe carotid stenosis with HGT.

Research Code No.: 504, 508

Key words: Extracranial carotid stenosis, Contrast-enhanced three dimensional, Magnetic resonance angiography, Carotid ultrasonography

Received May 17, 2002; revision accepted Sep. 13, 2002

1) Department of Radiology, Fukuoka University School of Medicine
2) Department of Cardiovascular Surgery, Fukuoka University School of Medicine

別刷請求先
〒819-8511 福岡市西区石丸3-2-1
白十字病院放射線科
新井 鐘一

はじめに

従来、頸部頸動脈狭窄性病変の画像診断はヨード造影剤による血管造影(DSA)、頸動脈超音波(CUS)、主にtime-of-flight (TOF)法によるMRAや3次元CT血管造影(3D-CTA)が行われてきた。最近、MR装置の性能向上により、造影剤のT1短縮効果を利用した造影3次元MR Angiography (CE 3D-MRA)が躯幹部の血管画像診断法として広く普及し、頸部血管領域にも導入されている。CE 3D-MRAはTOF法ではMR信号が低下する血管蛇行部の描出も可能であり、DSAにより近い画像を得ることが可能である¹⁾⁻³⁾。

一方、CUSは非侵襲性、診断能の高さから頸部頸動脈狭窄性病変のスクリーニング検査法⁴⁾⁻⁷⁾として、また、頸動脈内膜剥離術(CEA)の術前後の検査法⁸⁾⁻¹¹⁾としても重要な位置にある。今回、われわれはCE 3D-MRAの頸部頸動脈狭窄性病変をCUS所見と比較検討し、CE 3D-MRAの頸部頸動脈狭窄性病変における有用性について検討した。

対 象

対象は当施設にて1999年8月から2000年5月の期間に、CUSおよびCE 3D-MRAの両法を施行した24例(48血管)である。

症例の内訳は男性17例、女性7例、年齢は60~83歳(平均69.3歳)であった。CUSは閉塞性脳血管障害の精査が5例、心臓血管外科の術前検査として19例に施行され、全例、頸部頸動脈に片側または両側に70%以上の狭窄や閉塞を有する患者であった。この内4例にはCEA前後でCE 3D-MRAを施行した。なお、24例中12例に3D-CTA、7例にDSAを併せて施行した。

方 法

1. CUS

使用機種はGE横河社製LOGIQ700で、6~13MHzの電子リニア型探触子を用いて行った。検査の施行と判定は1名の熟練した放射線科医が行った。

1) 検査方法

Bモード断層法(BMI)で総頸動脈(CCA)と内頸動脈(ICA)の長軸像と短軸像を観察した。次にカラードプラ法(CDFI)とパワードプラ法(PDI)により長軸像と短軸像を観察し、ドプラ血流計測法(PD)を用いてCCAおよびICAの収縮期血流速度、拡張期血流速度(ED)、時間平均血流速度を測定した。

2) 狭窄率の算定と狭窄程度の決定

まずBMIの長軸方向からCCAおよびICAの中内膜肥厚(IMT)を測定し、1.1mm以上を粥腫と定義した⁶⁾。次にPDIの長軸方向から管腔の最狭窄部を決定し、同部の短軸方向の動脈断面積比から狭窄率を算定¹²⁾した。これらの値に基づいて、狭窄度を正常(Normal)：IMTが1.0mm以下、軽度狭窄(Mild)：1～39%、中等度狭窄(Moderate)：40～69%、高度狭窄(Severe)：70～99%、閉塞(Occlusion)に分類した。PDIで狭窄部の血流が部分途絶し、狭窄率が測定できない場合、その末梢側の収縮期血流速度が200cm/s以上では高度狭窄、それ未満は中等度狭窄とした^{6), 12)}。

閉塞の判定は、PDIで血流が完全途絶し、かつ両側総頸動脈拡張期血流速度比が1.4以上の場合とした¹³⁾。その結果、正常1血管、軽度狭窄5血管、中等度狭窄14血管、高度狭窄20血管、閉塞8血管であった。

3) 潰瘍形成の有無

最狭窄部における潰瘍形成の有無の判定はBMIおよびPDIで粥腫内に陥凹がある場合、あるいは不均質なエコー輝度を示す多発嚢胞が粥腫内に認められる場合(Fig. 4A)を陽性^{14), 15)}とした。その結果、18血管に潰瘍形成を認めた。

4) 高度乱流の定義と検出

狭窄部の血流方向は方向性が一定していない乱流と、ある程度一定している渦流があり、この渦流は主に逆流を示す場合が多いといわれている^{16), 17)}。したがって、この乱流と逆流がある場合を高度乱流(HGT: high-grade turbulence)と定義した。すなわち、CDFIで狭窄部やその遠位部に乱流を示すモザイクパターン(Fig. 4B)を呈し^{5), 14)}、かつPDで明らかな逆流を認める場合(Fig. 4C)を高度乱流陽性とした。その結果、13血管に高度乱流を認めた。

2. CE 3D-MRA

MRI機種はPhilips社製T10-NT(静磁場強度1.0T)、造影剤自動注入装置は根本杏林堂社製ソニックショット50を使用した。

1) テストボラス法

選択的動脈抽出のためテストインジェクションにより至適タイミングを決定した。撮像に先立ち右肘静脈に20G留置針にて血管を確保した。造影剤自動注入装置で1mlの造影剤と生理食塩水のフラッシュを施行し、2D-single slice T1 weighted FFE(fast field echo)法の横断像：14/2/2(TR/TE/excitations)、FOV 250mm、マトリックス256×128、スライス厚10mm、Flip角40°、撮像時間0.7秒/1相とした。なお、撮像範囲の上下にpresaturation pulseを印加した。CCA末端に関心領域(ROI)を取りtime intensity curve

を作成し、造影剤のtime of arrivalならびにtime to peakを決定した。

2) CE 3D-MRA (T1-weighted FFE法)

撮像条件は、9.5/2.9/2、FOV 250mm、撮影マトリックス114×256、スラブ厚60mm、実効スライス厚2mm(ZIP有り)、Flip角30°、スライス数30、撮像時間12秒/1相とした。k-spaceへのデータ充填はsequential phase-encoding orderを用いた。

撮像方法はまず単純T1-weighted FFE法冠状断を施行。次にテストボラス法で得られた造影剤のtime to peakがk-spaceの中心になるように撮影タイミングを設定し、造影剤(0.1mmol/kg)を5ml/秒で注入し、続けて同量の生理食塩水でフラッシュした。その後は連続撮影を行い、頸部頸動脈の評価には造影後1相目の画像を使用した。

画像処理はMRI本体に組み込まれたソフトウェアを用いて造影剤前のデータを造影後のデータからサブトラクションし、MIP像を作成した。MIP像はまず全体像(正面像を中心に表示角度7°ずつ変え、計12シリーズ)を作成し、次に頸部頸動脈分岐部中心のターゲットMIP像を作成した。

3) 狭窄性所見の分類

得られた画像から放射線科医3名の合議により、頸部頸動脈狭窄性所見を正常(Normal)型、狭小(Narrow)型(Fig. 3B)、部分欠損(Signal Void)型(Fig. 4D)、閉塞型(Occlusion)型に分類³⁾した。

CUSの狭窄程度とCE 3D-MRAの狭窄性所見ならびにCUSの高度狭窄群の潰瘍、高度乱流の有無とCE 3D-MRAの狭窄性所見との関連性について比較検討した。統計解析は χ^2 検定(SPSS 6.1)で行い、 $p < 0.05$ を有意とした。

結 果

1. CUSの狭窄程度とCE 3D-MRAの狭窄性所見の比較

CUSの軽度～中等度狭窄群(19血管)は、CE 3D-MRAでは16血管(84%)が狭小型を呈した。一方、高度狭窄群(20血管)は、狭小型と部分欠損型がそれぞれ10血管(50%)ずつであった。CE 3D-MRAで部分欠損型を呈したものは、CUSの高度狭窄群のみであった。また、CUSで閉塞所見を示した残りの8血管はCE 3D-MRAでもすべて閉塞所見を示した(Table. 1)。

CUSの高度狭窄群のうち11血管にDSAまたは3D-CTAでNASCET法¹⁸⁾による評価を行い、11血管とも70%以上の狭窄を認めた。またこれらの11血管のCE 3D-MRAによる評価は狭小型が6血管、部分欠損型が5血管であった。なお、閉塞群(8血管)においてもDSAにてすべて完全閉塞が確認された。

2. CUSの高度狭窄群の潰瘍、高度乱流の有無とCE 3D-MRAの狭窄性所見との関連

CUSの高度狭窄群(20血管)の中で潰瘍陽性有りと判定された血管は12血管であった。CE 3D-MRAでの評価では狭小

Table 1 Comparison of the degree of stenosis on CUS and the stenotic findings on CE 3D-MRA in the evaluation of extracranial carotid arteries

CUS	CE 3D-MRA				Total
	Normal	Narrow	Signal void	Occlusion	
Normal	1	0	0	0	1
Mild (1~39% stenosis)	1	4	0	0	5
Moderate (40~69% stenosis)	2	12	0	0	14
Severe (70~99% stenosis)	0	10	10	0	20
Occlusion	0	0	0	8	8
Total	4	26	10	8	48

CE 3D-MRA; Contrast-enhanced three-dimensional MR angiography
 CUS; Carotid ultrasonography

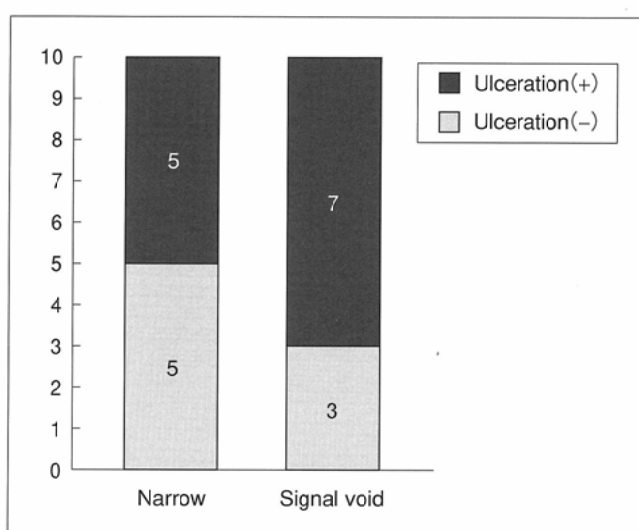


Fig. 1 Incidence of plaque with ulceration in the severe stenosis group on CUS (n=20): Comparison of the results in the group with narrow type with those in the group with signal-void type on 3D CE-MRA.

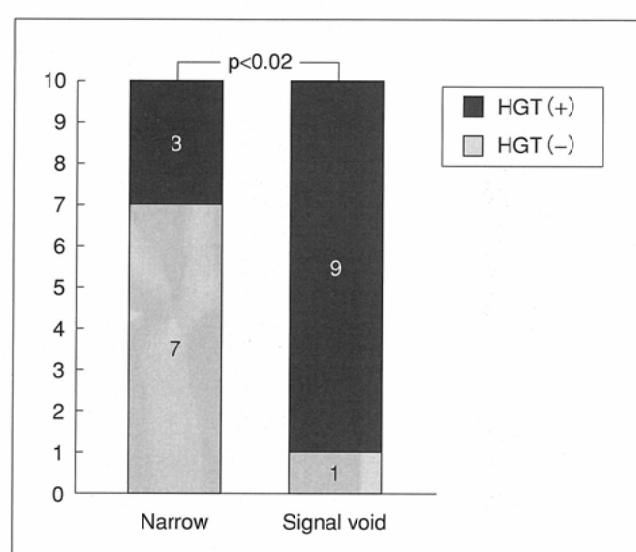


Fig. 2 Incidence of high-grade turbulence (HGT) in the severe stenosis group on CUS (n=20): Comparison of the results in the group narrow type with those in the group with signal-void type on 3D CE-MRA.

型を示した10血管中5血管に、部分欠損型を示した10血管中7血管に潰瘍形成を認め、部分欠損型に多い傾向が見られた($p=0.33$) (Fig. 1). 一方、高度乱流陽性は、狭小型の3血管、部分欠損型の9血管に認められ部分欠損型で多く見られた($p<0.02$) (Fig. 2). 以上の結果からCE 3D-MRAで部分欠損型を示す血管は、CUSでは70%以上の高度狭窄を認め、さらに高度乱流がある場合に多くなることが明らかとなった。

3. 代表例の提示

1) 高度狭窄例(狭小型)

右ICAの起始部にCUSのPDIで血流が部分途絶する部位を認める (Fig. 3A). ICAの収縮期血流速度が230cm/秒であり70%以上の高度狭窄と診断. 明らかな潰瘍病変や高度乱流は認められない. CE 3D-MRAでは同部位に狭小型の狭窄所見を認めた (Fig. 3B).

3D-CTAでも同様の狭窄病変が指摘され、NASCET法で

86%の高度狭窄を呈していた (Fig. 3C).

2) 高度狭窄例(部分欠損型)

CUSのBMIにて左ICAに多発嚢胞を呈する潰瘍を認めた (Fig. 4A). CDFIではその末梢側にモザイクパターンの信号を呈し (Fig. 4B), PDでも逆流を認め (Fig. 4C), 高度乱流陽性と判断された. CE 3D-MRAでは、同部位は部分欠損型 (Fig. 4D) を呈していた. 本例はCEAを施行しており、術後のCE 3D-MRAでは、狭窄部の解除が明瞭に描出されていた (Fig. 4E).

考 察

1. CE 3D-MRAによる頸部頸動脈狭窄病変の描出

頸部頸動脈狭窄性病変は、食生活の欧米化に伴い日本でも増加してきている. 頸部頸動脈の高度狭窄や閉塞病変は血行力学的脳梗塞を起こし、また高度狭窄病変や潰瘍を伴う粥腫は動脈原性脳梗塞の主因の1つであることは周知の

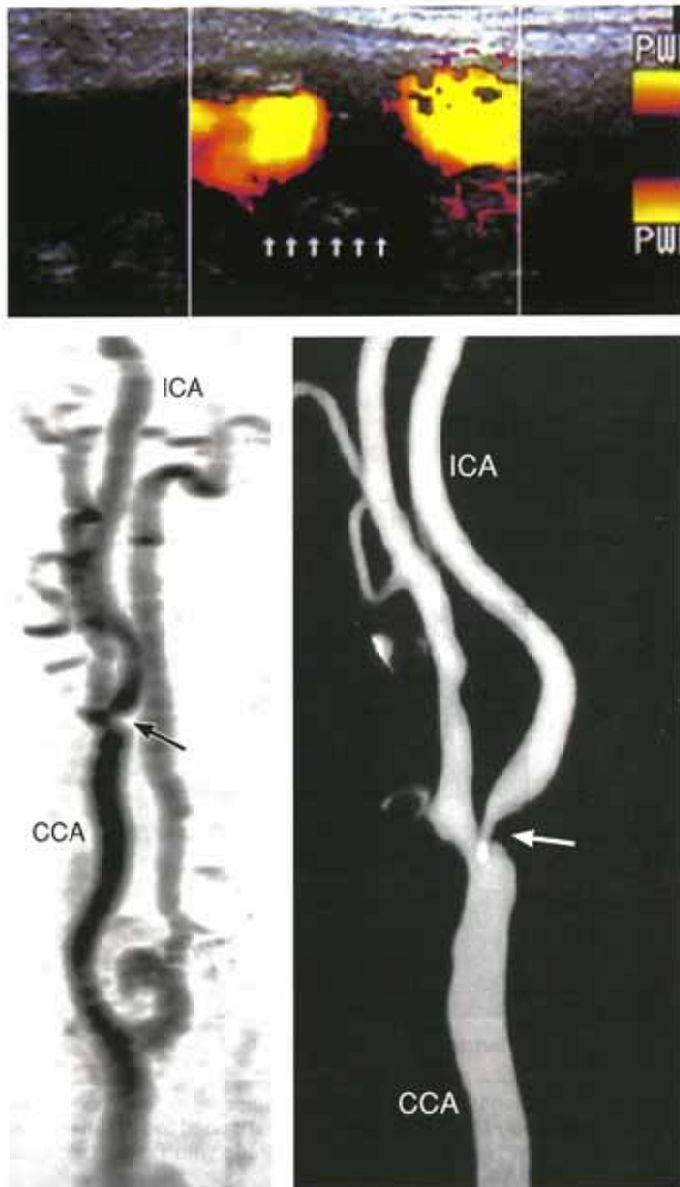


Fig. 3 Illustrative case 1: PDI(A) shows a partial flow defect in the ICA (arrows). This lesion is defined as severe stenosis because peak systolic flow is 230 cm/s. 3D CE-MRA(B) shows stenosis at the initial portion of the ICA (arrow), which is classified as the narrow type. 3D-CTA(C) also shows 86% stenosis of the ICA (arrow) using the NASCET method.

事実である。したがってその診断は臨床上、極めて重要である。

最近、頸部頸動脈狭窄性病変の検査法の1つとしてCE 3D-MRAが施行されてきており、DSAと比較した幾つかの報告がある。

Kollias¹⁾は頸部頸動脈狭窄病変に関するCE 3D-MRAの診断能をDSAと比較し、狭窄病変の合致率は87.5% (21/24血管)であったと述べている。Remonda²⁾は70%以上の高度狭窄病変について同様の検討を行い、その合致率は94% (17/18血管)であったとしている。さらに、Leclerc³⁾によれば頸部頸動脈狭窄性病変における3D CE-MRAのsensitivityは100%、specificityは98%と報告しており、高い診断能を有することが確認されている。一方、CUSによる頸部頸動脈狭窄性病変に関する報告は数多くみられ、その臨床的有用性はすでに確立している。しかしながら、CUSとCE 3D-MRAを比較検討した報告は少ない。

Phan⁴⁾は主に閉塞性脳血管障害患者を対象として422症例でCE 3D-MRAを施行し、この内の196症例でCUSと狭窄程度を比較した結果、狭窄所見の合致率は89%であったと報告している。著者らの結果においても、CUSで狭窄所見が得られた39血管は、CE 3D-MRAでは、3血管を除く36血管(92%)が狭小型や部分欠損型を示し、閉塞(8血管)に関しては全血管で一致していた。このように、CE 3D-MRAは頸部動脈の狭窄や閉塞を良く表しており、臨床的にも有効な診断法の1つであると考えられた。

2. CE 3D-MRAにおける部分欠損型の成因と臨床的意義

今回の検討において、CE 3D-MRAで部分欠損型を示した10血管はいずれもCUSで70%以上の高度狭窄所見を示し、しかも高度狭窄や潰瘍形成に基づく乱流をはじめとする狭窄部の複雑な血流がその背景にあることが示唆された。

前述したごとくCE 3D-MRAは造影剤のT1短縮効果を利

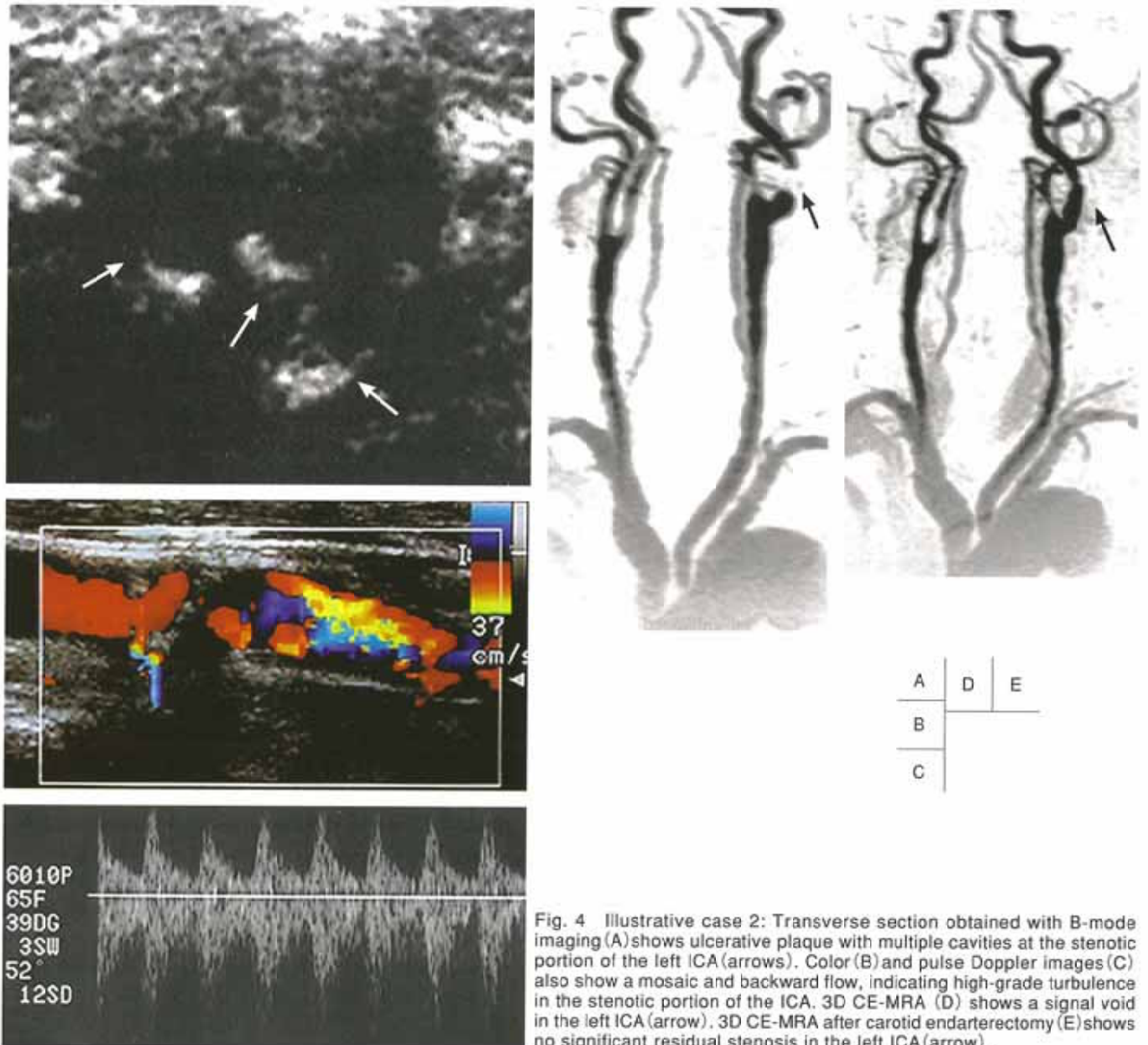


Fig. 4 Illustrative case 2: Transverse section obtained with B-mode imaging (A) shows ulcerative plaque with multiple cavities at the stenotic portion of the left ICA (arrows). Color (B) and pulse Doppler images (C) also show a mosaic and backward flow, indicating high-grade turbulence in the stenotic portion of the ICA. 3D CE-MRA (D) shows a signal void in the left ICA (arrow). 3D CE-MRA after carotid endarterectomy (E) shows no significant residual stenosis in the left ICA (arrow).

用した方法であり、理論的には乱流の影響は極めて少ないと考えられる。しかし、CE 3D-MRAと乱流は必ずしも無関係ではなく、Mitsuzakiら²⁰⁾は乱流で起こる流速成分の fluctuationやフェイズシフトによって生じる spin dephasing がもたらす信号低下を T1 短縮効果が完全には補正できないことを指摘している。すなわち、今回の著者らの結果は CE 3D-MRA と乱流の関係を CUS にて確認したということができると同時に、狭小型と比較して部分欠損型では T1 短縮効果が補正できないほどの強い乱流が狭窄部位に生じていることを示している。したがって、CE 3D-MRA で見られる部分欠損は TOF 法でみられる狭窄部の単なる“過大評価”とは異なり、臨床的に留意すべき重要な所見であろうと考えられる。

他方、部分欠損は撮像装置あるいは撮像法の限界で生じたアーチファクトであることも事実である。今回使用した

k空間のデータ充填法(sequential phase-encoding order)では、動脈相の信号をk空間の中心部に埋めるために、テストボラス法を使用する必要がある²¹⁾。しかしながら、テストボラスに用いる造影剤の量は実際の撮像に使用する造影剤の量とは大きく異なるため、それぞれの time to peak が必ずしも一致していない。また、今回は静脈の描出を可能な限り抑制するため、1相の撮影時間を12秒と短く設定した。このことが空間分解能の低下を招き、得られた画像に微妙なボケが生じる一因になったものと思われる。その他、ハードウェア上TE時間の短縮に制限があった点やMR本体のみによる画像処理の影響などが相補的に関与し、狭窄部の正確な描出がなされず、部分欠損を生じたり、逆に3血管で過小評価する一因となったとも考えられる。

今後、撮像装置のハードウェア、ソフトウェアの改良により、ますますCE 3D-MRAの精度は向上するものと期待さ

れる。したがって、CE 3D-MRAは頸部頸動脈狭窄病変のスクリーニング検査としてのみならず、CEAやステント留置などの血管内手術の治療適応の決定や治療後の追跡調査としても有用性を発揮するものと思われる。

結 語

今回、われわれが施行したCE 3D-MRAは、頸部頸動脈の

狭窄性変化をCUSとほぼ同等に表した。CE 3D-MRAでみられる部分欠損の背景には高度狭窄と乱流が大きく関与しており、临床上、極めて重要な所見であると思われる。

本論文の要旨は第30回日本神経放射線学会(2001年2月9日、大阪)、第26回日本脳卒中学会総会(2001年3月15日、大阪)にて報告した。

文 献

- 1) Kollias S, Binkert C, Ruesch, et al: Contrast-enhanced MR angiography of the supraaortic vessels in 24 seconds: a feasibility study. *Neuroradiology* 41: 391-400, 1999
- 2) Remonda L, Heid O, Schroth G: Carotid artery stenosis, occlusion, and pseudo-occlusion: First-pass, gadolinium-enhanced, three-dimensional MR angiography-preliminary study. *Radiology* 209: 95-102, 1998
- 3) Leclerc X, Martinat P, Godefroy O, et al: Contrast-enhanced three-dimensional fast imaging with steady-state precession (FISP) MR angiography of supraaortic vessels; preliminary results. *AJNR* 19: 1405-1413, 1998
- 4) Polak J, Shemanski L, O'Leary D, et al: Hypochoic plaque at US of the carotid artery: An independent risk factor for incident stroke in adults aged 65 years or older. *Radiology* 208: 649-654, 1998
- 5) Steinke W, Meairs S, Ries S, et al: Sonographic assessment of carotid artery stenosis; Comparison of power Doppler imaging and color Doppler flow imaging. *Stroke* 27: 91-94, 1996
- 6) Handa N, Matsumoto M, Maeda H, et al: Ischemic stroke events and carotid atherosclerosis; Results of the Osaka follow-up study for ultrasonographic assessment of carotid atherosclerosis (the OSACA Study). *Stroke* 26: 1781-1786, 1995
- 7) Derdeyn C, Powers W, Moran C, et al: Role of doppler US in screening for carotid atherosclerotic disease. *Radiology* 197: 635-643, 1995
- 8) Chang Y, Golby A, Albers G: Detection of carotid stenosis-from NASCET results to clinical practice. *Stroke* 26: 1325-1328, 1995
- 9) 大谷 良, 長東一行, 成富博章, 他: 頸動脈内膜剥離術後の頸動脈超音波検査所見. *脳卒中* 19: 406-412, 1997
- 10) Kagawa R, Moritake K, Shima T, et al: Validity of B-mode ultrasonographic findings in patients undergoing carotid endarterectomy in comparison with angiographic and clinicopathologic features. *Stroke* 27: 700-705, 1996
- 11) 西谷和敏, 上田 伸, 松本圭蔵, 他: 超音波による頸部頸動脈狭窄症の術前評価. *Neurosonology* 9: 683-673, 1996
- 12) Koga M, Kimura K, Minematsu K, et al: Diagnosis of internal carotid artery stenosis greater than 70% with power Doppler duplex sonography. *AJNR* 22: 413-417, 2001
- 13) Kimura K, Yonemura K, Terasaki T, et al: Duplex carotid sonography in distinguishing acute unilateral atherothrombotic from cardioembolic carotid artery occlusion. *AJNR* 18: 1447-1452, 1997
- 14) 寺崎修司, 橋本洋一郎, 平野照之: 超音波診断-最新の技術革命と臨床応用-, 中枢神経領域. *日獨医報* 44: 8-24, 1999
- 15) Hansen F, Bergqvist D, Eriksson A, et al: Evaluation of ulceration in the extracranial carotid artery with ultrasonography: a comparison with arteriography. *Eur J Vasc Surg* 3: 443-448, 1989
- 16) Elster A, 荒木 力監訳: MRI「超」講義. 遠山啓司, 野方容子訳: 血流現象とMRA, 108-125, 1996, 医学書院MYW, 東京
- 17) 森竹浩三: 脳神経超音波学, 進歩の動向, "CT, MRI時代の脳卒中学". *日本臨床* 51: 140-143, 1993
- 18) North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial Collaborators: beneficial effect of carotid endarterectomy in symptomatic patients with high-grade carotid stenosis. *N Eng J Med* 325: 445-453, 1991
- 19) Phan T, Huston III J, Berstein M, et al: Contrast-enhanced magnetic resonance angiography of the cervical vessels; experience with 422 patients. *Stroke* 32: 2282-2286, 2001
- 20) Mitsuzaki K, Yamashita Y, Onomichi K, et al: Delineation of simulated vascular stenosis with Gd-DTPA-enhanced 3D gradient echo MR angiography; an experimental study. *J Comput Assist Tomogr* 24: 77-82, 2000
- 21) 磯田治夫, 竹原康雄, 磯貝 聡, 他: 造影MRAによる頸部・頸部血管の選択的動脈撮影. *臨床放射線* 44: 1374-1383, 1999