

脳血管障害における超音波検査

奈良県立医科大学脳神経外科学教室

川 口 正一郎

ULTRASOUND EXAMINATION FOR THE CEREBROVASCULAR DISEASES

SHOICHIRO KAWAGUCHI

Department of Neurosurgery, Nara Medical University

Received June 18, 2003

抄録：脳血管障害に対する超音波診断には、主に頸部血管超音波検査法、経眼窩超音波検査法、経頭蓋超音波検査法がある。頸部血管超音波検査では、Bモード断層法、カラードプラ法、ドプラ血流速度計測法があり、1. 頸動脈内膜-中膜肥厚、2. プラークの存在及び性状、3. 狭窄度、4. 血流情報を評価する。経眼窩超音波検査では、眼動脈、網膜中心動脈、上眼静脈などが観察可能だが、閉塞性内頸動脈病変での眼動脈血流の血流方向、血流波形、収縮期最大流速を主に評価する。経頭蓋超音波検査法では頭蓋内の Willis 輪周辺の構造、血流の観察が可能である。脳血管障害における超音波検査は非侵襲的に繰り返し、簡便に行えるので、頸動脈閉塞性病変の高精度なスクリーニング検査法としても優れているだけでなく、外科的治療や保存的治療例での治療経過の観察にも有用な検査法である。

Key words : cerebrovascular disease, diagnosis, internal carotid artery, ophthalmic artery, ultrasound

はじめに

脳血管障害は、高血圧、高脂血症、糖尿病などの危険因子を背景に増加の一途にあり、臨床病型、発症機序に即した的確な対応が要求される。脳血管障害において超音波診断は、診断機器精度の向上もあいまって必要不可欠な検査法となっている。超音波診断は早期動脈硬化性病変の観察が可能で、頸動脈狭窄性病変の高精度なスクリーニング検査法としても優れており、更に、外科的治療や保存的治療例での治療経過の観察にも有用である。頸動脈超音波検査の利点は、1. 非侵襲的に、簡便で、リアルタイムの評価が可能、2. 反復計測可能、3. 定量性をもって計測可能、4. 再現性がある、5. 安価である、等が挙げられている。本項では、脳血管障害における超音波検査について、頸部血管超音波検査法、経眼窩超音波検査法、経頭蓋超音波検査法について、実際の症例を交え概説する。

超音波検査

1. 頸部血管超音波検査

頸部血管超音波検査にはBモード断層法、カラードプラ法、ドプラ血流速度計測法があり、通常、Bモード断層法またはカラードプラ法とドプラ血流速度計測法を組み合わせた duplex 法により行なう。(Fig.1A) 検査では、高解像度の5-10MHzの探触子(プローブ)を用い、1. 頸動脈内膜-中膜肥厚(IMT)、2. プラーク(存在及び性状)、3. 狭窄度、4. 血流情報を中心に評価する。

1) 検査法

(1) Bモード断層法

総頸動脈を長軸方向に前後方向と短軸方向に観察する。血管壁の性状と血管内腔の所見から、動脈硬化の程度(内中膜複合体、プラーク(動脈硬化性粥腫)の性状、狭窄や閉塞)、動脈解離、可動性血栓(塞栓性内頸動脈閉塞)について評価する。頸動脈の分岐部から内頸動脈の起始部付近が動脈硬化の好発部位であるので、特に注意して観察する。重度狭窄性病変例で血流情報がない場合偽陰性診断することがあるので、パルスドプラ、カラードプラ法を併用し検査する。また、椎骨動脈は第4/5または5/6 頸椎横突起の acoustic shadow の間を索状に走行する構造物として描出されるので、その血流方向・波

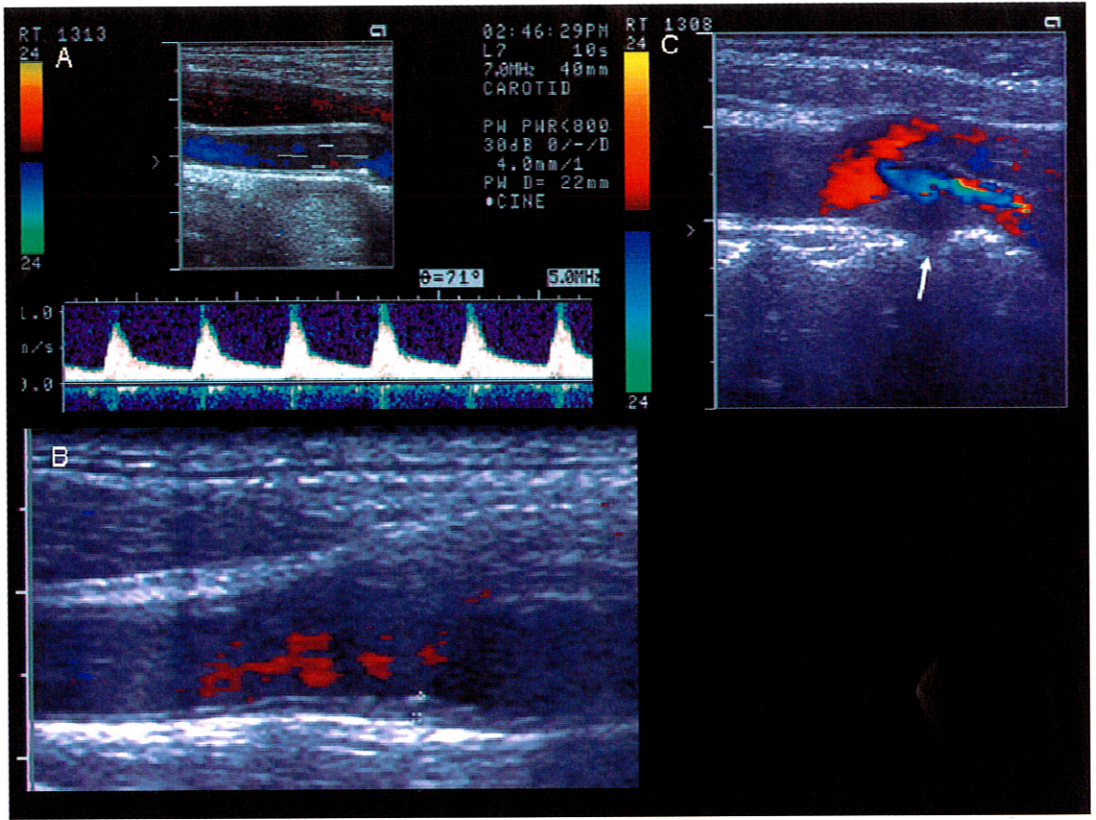


Fig. 1. A: duplex sonography of common carotid artery. B: star indicating the internal media thickness of common carotid artery, C: Arrow indicating the hypoechoic plaque.

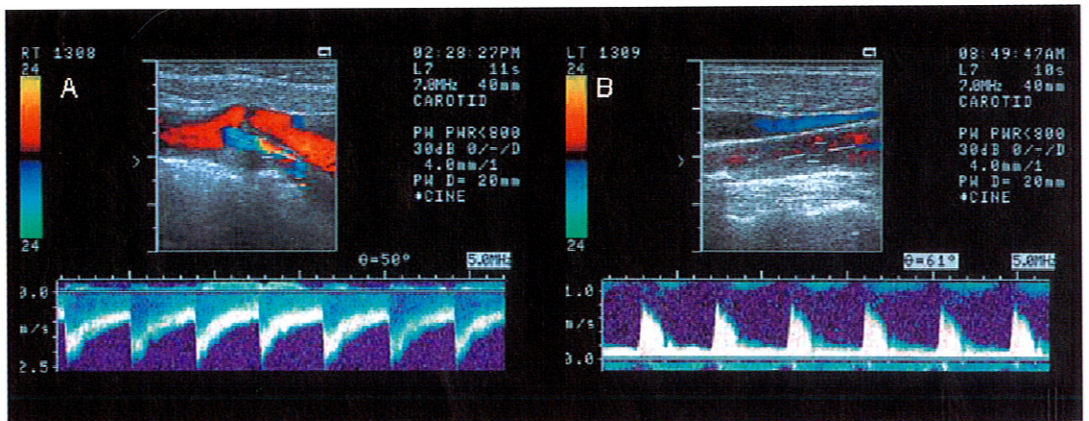


Fig. 2. A: high peak flow velocity at stenotic internal carotid artery. B: low diastolic flow velocity at common carotid artery of the patient with internal carotid artery occlusion.

形・速度の計測を行う。

内中膜肥厚 (Fig.1B)：頸動脈は内・中・外膜の三層構造となっており、内中膜はエコー輝度の高い外膜の内側に内中膜複合体として観察される。内中膜複合体は、より鮮明に描出される総頸動脈の far wall (プローブから遠方の壁) で計測する。動脈硬化の早期段階は内膜肥厚で始まる場合が多く、IMT がこれを反映すると考えられている。経年的に内中膜は肥厚し、60歳まででは1.0mm以下が正常とされる。又、内頸動脈内中膜肥厚は脳梗塞や虚血性心疾患の独立した危険因子と報告されており重要な所見である。

プラーク (Fig.1C)：内中膜が動脈硬化のため局所的に肥厚、増殖し、血管内腔に向かって突出した構造物である。その性状は、表面の形状により整・不整、潰瘍形成、石灰化、不均質エコー、均質エコーに分類できる。さらに、エコー輝度により、高輝度(骨と同じ)、等輝度(軟部・筋肉と同じ)と低輝度(血液と同じ)に分けられる。表面が平滑か否か、潰瘍性陥凹形成の有無(2.0mm以上の陥凹)を評価する。不均質のプラークは、表面整、均質のプラークに比較して、プラーク内出血を伴う頻度が高く、脳虚血発作をきたす可能性が高い。また、プラークに伴う狭窄による血行力学的脳虚血や、プラーク表面にできた潰瘍部で形成された血栓による塞栓症を来す場合がある。

(2) カラー Doppler 法

血流を色として表示するので、血流情報と血管壁構造を同時に観察できる。血管が閉塞し血流が無い場合や血管壁の肥厚により血流が低下している場合、信号がない。エコー輝度が低く検出しにくいプラークでの狭窄性病変の検出が正確で容易となる。

(3) Doppler 血流速度計測法

Bモード断層画像上で目的の血管(総頸動脈, 内頸動脈, 外頸動脈, 椎骨動脈)部位にパルス Doppler のサンプルボリュームを設定し、その位置での血流速度を絶対値として評価し狭窄性病変や閉塞病変を推測する。

2) 脳血管障害

(1) 内頸動脈狭窄症 (Fig.2A)

狭窄病変をきたすプラークの性状と狭窄度の評価を Bモード断層像, カラー Doppler 法により観察する。高度狭窄性病変では狭窄部血流は乱流となり、カラー Doppler 法ではモザイク状に描出され、Bモード画像に比べ診断が容易となる。狭窄度の評価は、North American symptomatic Carotid Endarterectomy Trial (NASCET) で頸動脈血栓内膜剥離術(CEA)の適応となる70%以上の狭窄

に注意する。脳血管造影上の狭窄度は、頸部血管超音波検査での長軸、短軸狭窄度、面積狭窄度、収縮期最大血流速度(PSV)のいずれとも相関がある。通常、PSVは内頸動脈の狭窄が50%程度から流速が亢進し、70%以上の狭窄症では200-210cm/秒以上となる。^{1,2)}

(2) 内頸動脈閉塞症 (Fig.2B)

Bモード画像またはカラー Doppler 法により、内頸動脈内腔の観察で閉塞症の診断はある程度可能である。パルス Doppler 法で、閉塞中枢部の総頸動脈で拡張期血流の低下が鋭敏な指標になる。また、内頸動脈起始部にサンプルボリュームを置いて血流波形を全く検出しないことでも診断可能である。一側内頸動脈閉塞症の場合には、総頸動脈拡張末期血流速度比が(ED比：健側/病側)が>1.4となる。塞栓性閉塞では患側総頸動脈の拡張末期血流速度が検出不可能なことが多い。これは、塞栓性の場合突然の閉塞により側副血行路が十分に働く時間がなく、末梢血管の抵抗が強いためと考えられる。従って、ED比>1.4で拡張末期血流速度が検出できない場合は塞栓性閉塞を、検出される場合は血栓性閉塞を疑う。³⁾

(3) 椎骨動脈閉塞

閉塞部位により、椎骨動脈の血流波形・速度が変化するため、血流波形・速度の観察により閉塞部位の推定がある程度可能である。椎骨動脈閉塞の好発部位は、①椎骨動脈起始部、②後下小脳動脈(PICA)分岐前、③PICA分岐後の3か所である。椎骨動脈起始部閉塞の場合には血流波形を全く検出しない。PICA分岐前閉塞の場合、波形は検出するが拡張末期血流速度を検出せず、PICA分岐後閉塞の場合は平均血流速度が18cm/秒未満のことが多い。⁴⁾

(4) 動脈解離

内頸動脈解離の場合、内頸動脈球部と近位部が開存しているものの、Doppler 血流速度計測法で収縮期血流がほとんど認められないことやアテローム硬化性変化がないことなどが、間接的な所見となる。球部より遠位部での先細りや狭窄や閉塞、血管内腔を横切る不整な膜や血流のある真腔と血流のない偽腔の同定が、直接的所見となる。⁵⁾

2. 経眼窩超音波検査

経眼窩超音波検査では、眼窩内の眼動脈、網膜中心動脈、上眼静脈などが観察可能であるが、検査に際しては超音波の熱効果による眼球への影響を考慮し、出力と検査時間に注意し施行する必要がある。眼動脈は内頸動脈の頭蓋内での主たる第一の分枝であるので、内頸動脈閉塞性病変では眼動脈自体の血流が変化する場合や、眼動

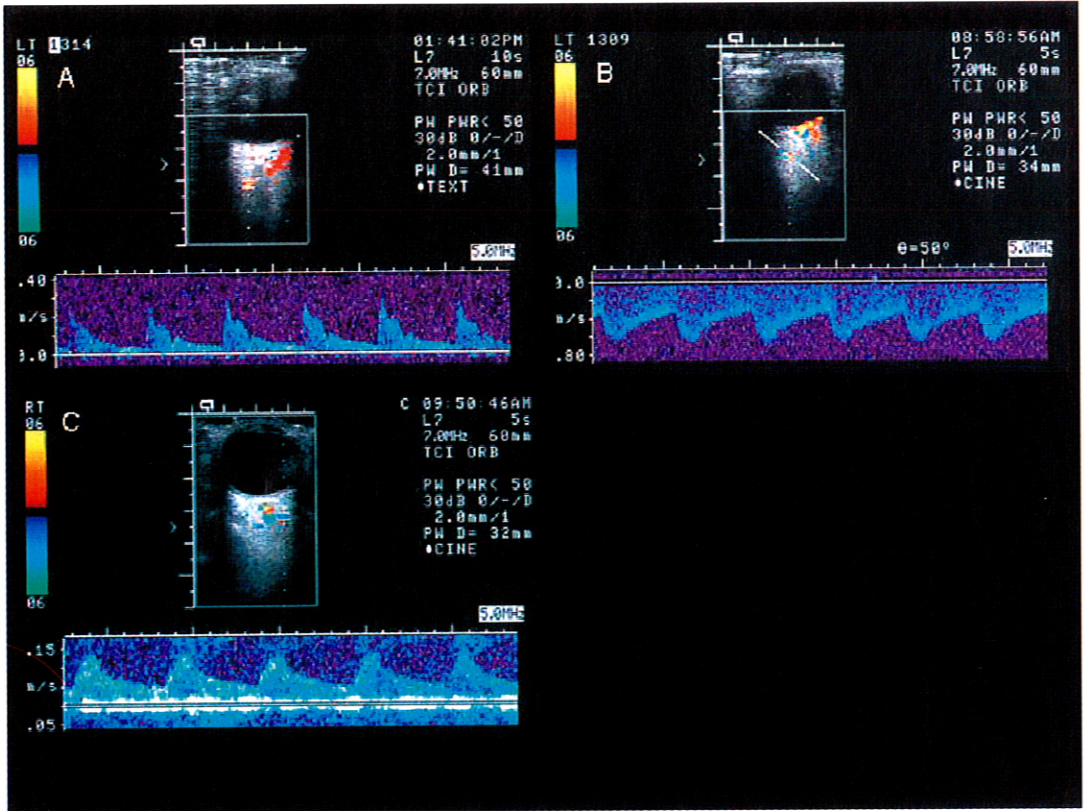


Fig. 3. A: normal waveform of ophthalmic artery flow. B: reversed waveform of ophthalmic artery. C: arch stenotic waveform of ophthalmic artery.

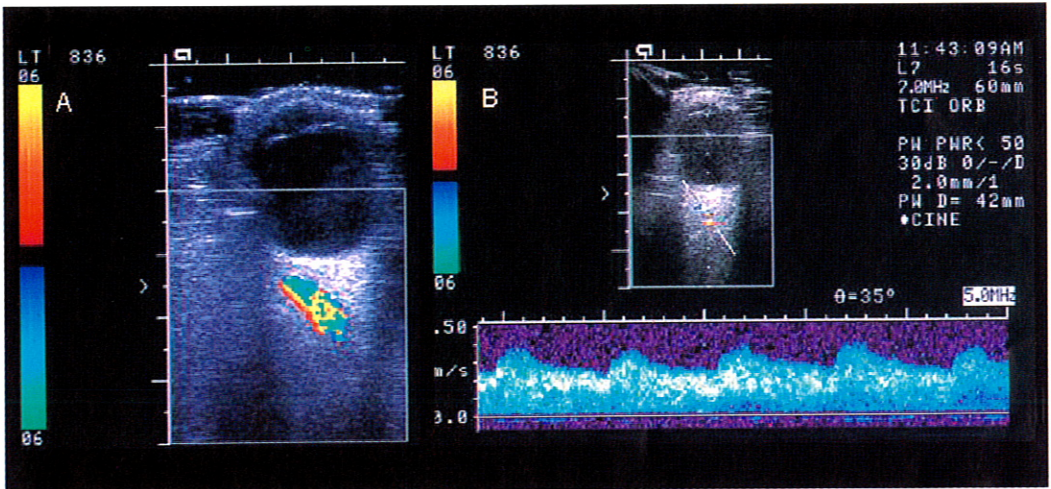


Fig. 4. A: dilated superior ophthalmic vein on color Doppler imaging. B: reversed arterialized waveform of superior ophthalmic vein on duplex sonography.

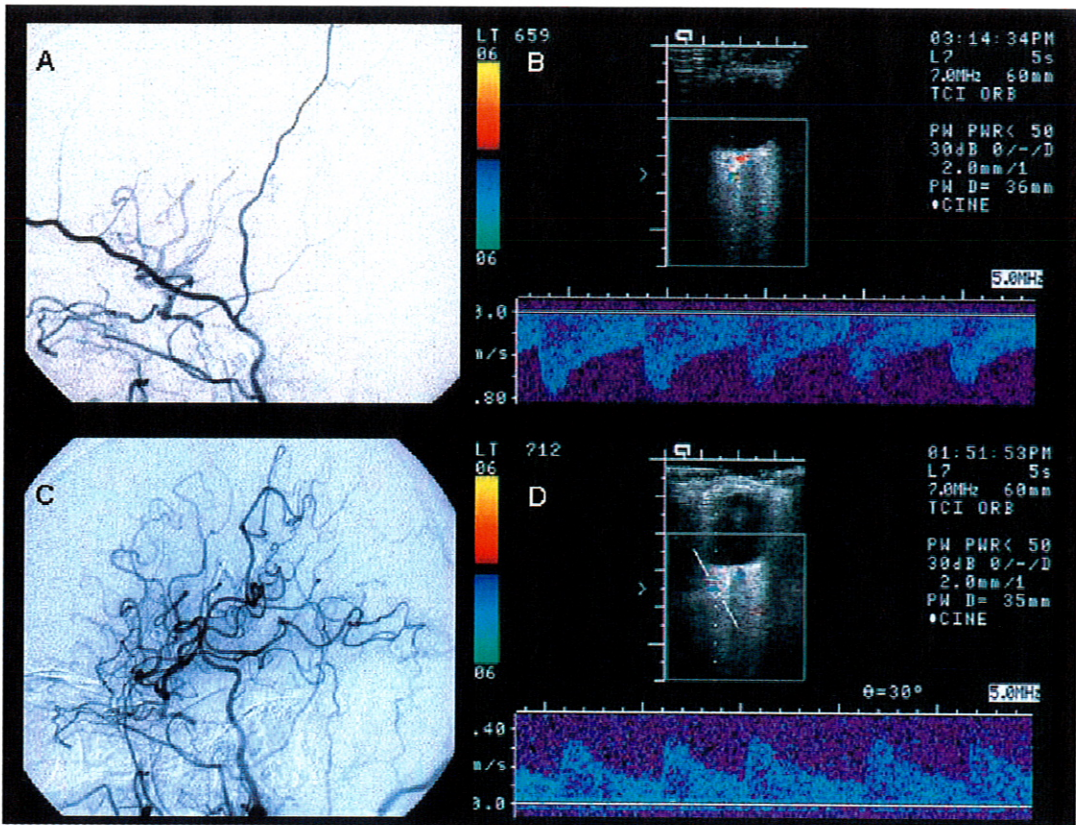


Fig. 5. A: preoperative left common carotid angiography showing the occlusion of internal carotid artery and reversed filling of the ophthalmic artery. B: preoperative left ophthalmic artery duplex sonography showing the reversed ophthalmic artery flow. C: postoperative left common carotid angiography showing well filling of the middle cerebral artery branches via bypass. D: postoperative left ophthalmic artery duplex sonography showing the normal ophthalmic artery flow.

脈が閉塞性内頸動脈病変の側副血行路として機能する場合がある。眼動脈に対する超音波検査は、カラードプラ法で眼動脈を同定しドプラ血流速度検査で、眼動脈の血流方向、血流波形、PSVを観察する。^{6,7)}正常例では眼動脈血流波形は、立ち上がりが急峻で、下降時ノッチを有する。(Fig.3A)内頸動脈閉塞症や高度狭窄症で、眼動脈が側副血行路として機能している場合は、眼動脈の血流方向は逆流する。(Fig.3B)内頸動脈狭窄症や内頸動脈閉塞症でも頭蓋内の前交通動脈や後交通動脈の発達した症例では、ウイリス輪を介した側副血行路により眼動脈血流は順行性であるが、立ち上がりが緩やかでPSVも低いアーチ狭窄型の波形を呈す。(Fig.3C)以上の眼動脈超音波検査所見は脳血管撮影上の眼動脈造影所見や内頸動脈閉塞性所見ともよく相関する。内頸動脈狭窄症に対する

CEA やステント留置術、内頸動脈閉塞症に対する浅側頭動脈-中大脳動脈吻合術等の治療効果とも、眼動脈超音波検査所見は良好に相関する。⁸⁻¹⁰⁾

上眼静脈の超音波検査は、頭蓋内静脈と上眼静脈が静脈弁を介さず交通しているので頭蓋内静脈血行動態に異常を来たす疾患の病態把握に有用である。診断的価値が高いのは、頸動脈-海綿静脈洞瘻 (CCF) である。CCF では上眼静脈径が著明に拡張するとともに、血流方向が逆転し、血流波形は動脈化した波形となる。(Fig.4A,B) 脳動静脈奇形や硬膜動静脈瘻でも頭蓋内静脈血行動態に影響を来たすような症例では、上眼静脈径の拡張や、波形異常、血流方向異常を認め、その有用性を報告している。¹¹⁾

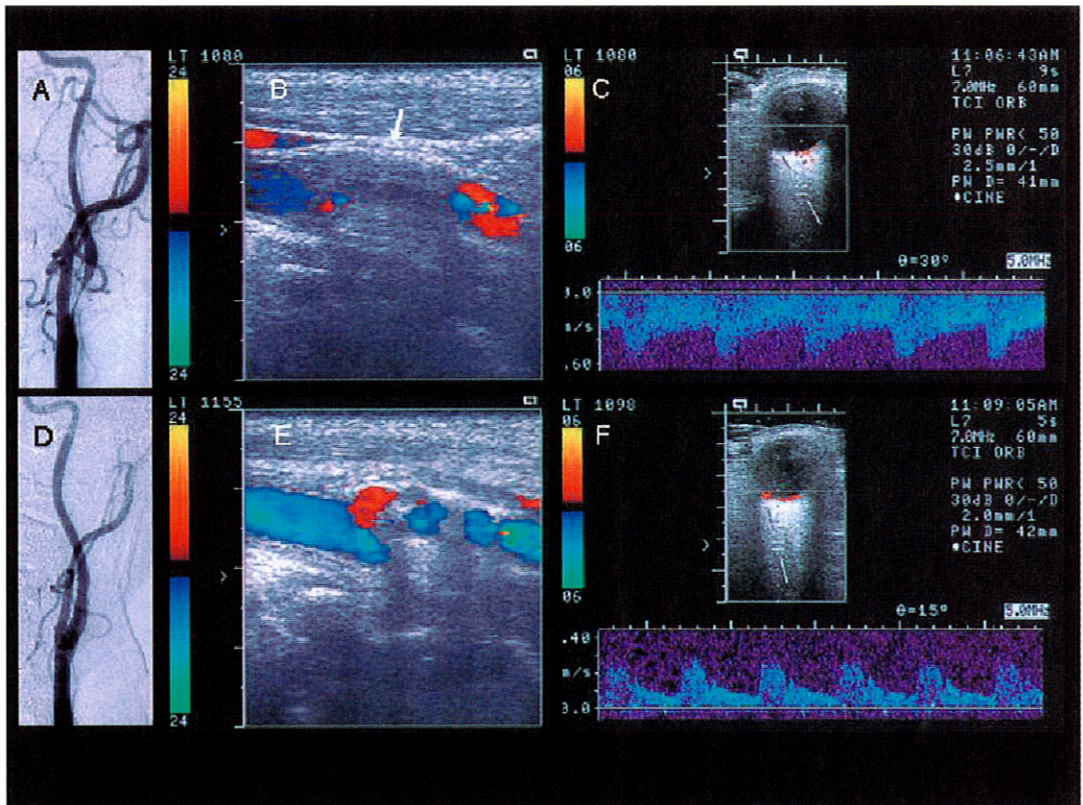


Fig. 6: A: preoperative left common carotid angiography showing the severe stenosis of internal carotid artery at its origin. B: preoperative left carotid color Doppler imaging showing the severe internal carotid artery stenosis with hyperechogenic plaque (arrow). C: preoperative left ophthalmic artery duplex sonography showing the reversed ophthalmic artery flow. D: postoperative left common carotid angiography showing correction of carotid artery. E: postoperative left carotid color Doppler imaging showing the good carotid artery flow. F: postoperative left ophthalmic artery duplex sonography showing the normal ophthalmic artery flow.

3. 経頭蓋超音波検査法

超音波検査で頭蓋内構造の観察は頭蓋骨に阻まれて困難であったが、検査機器の進歩や造影剤の臨床応用とともに頭蓋内の Willis 輪周辺の構造、血流の観察が超音波によるアプローチでも可能となってきた。経頭蓋超音波検査には、transcranial Doppler (TCD) と transcranial color flow imaging (TC-CFI) あるいは transcranial color coded duplex ultrasonography (TCCD) がある。

TCD は経頭蓋的に頭蓋内主幹動脈の血流速度を測定し、TC-CFI では脳動脈血流をカラー信号として B モード画像上に描出する。TCD では血管の同定が不確実であるが、TC-CFI では頭蓋内血流を描出し血管の同定が確実となる。TC-CFI で他の血管が描出されているのに主

幹動脈だけ描出されてなければ、その血管が起始部から閉塞している可能性が高い。TC-CFI で目的とする血管の血流速度をパルスドプラ法で測定し、角度補正により血流速度を絶対値として評価可能である。中大脳動脈水平部の拡張末期血流速度比が 1.9 を超えるとき、中大脳動脈水平部末梢の閉塞が推定される。¹²⁾ TC-CFI の空間分解能は現時点では、X 線造影検査ほど高くないので、狭窄性病変は、B モードによる血管径ではなく、血流速度の上昇から間接的に推定する必要がある。中大脳動脈水平部の収縮期血流速度が 220cm/秒以上の場合、50% 以上の狭窄性病変を推定する。

TCD による脳動脈血流速度のモニターで、high intensity transient signal (HITS) と呼ばれる信号が捉えられ

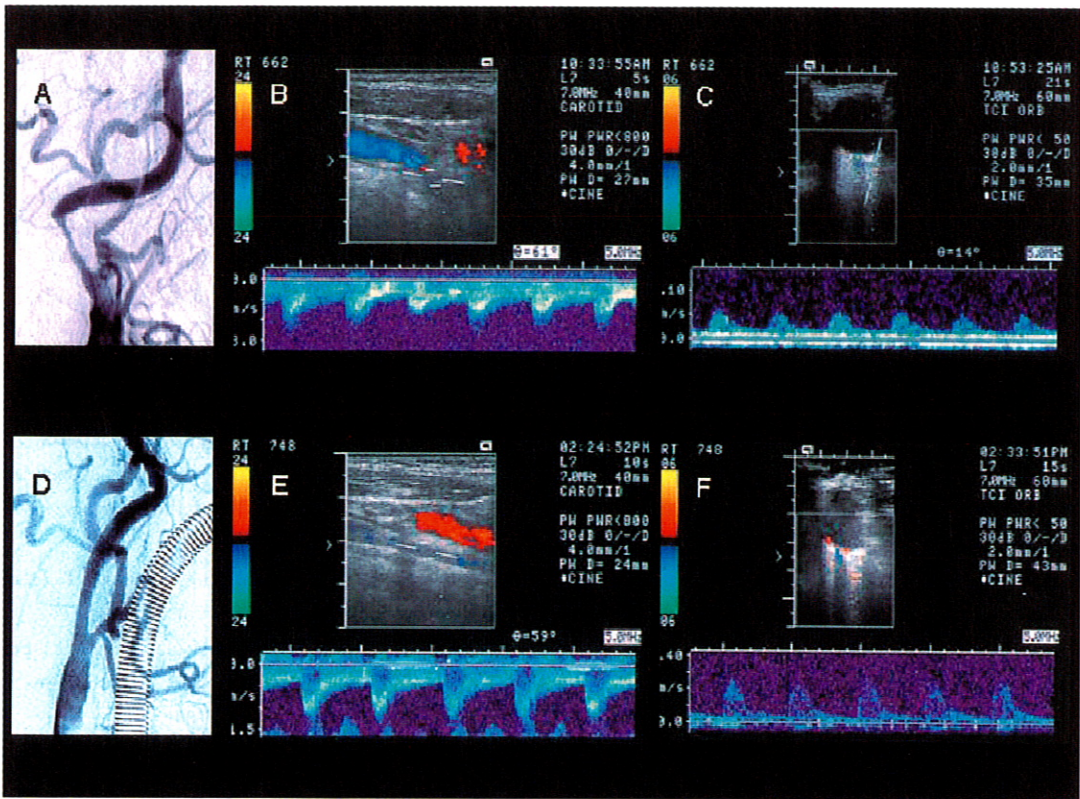


Fig. 7: A: initial right common carotid angiography showing the severe stenosis of internal carotid artery at its origin. B: initial right carotid duplex sonography showing the severe internal carotid artery stenosis and high peak systolic flow velocity. C: initial right ophthalmic artery duplex sonography showing the arch stenotic ophthalmic artery flow pattern. D: after carotid artery stenting, left common carotid angiography showing correction of carotid artery. E: after carotid artery stenting, right carotid duplex sonography showing the normal carotid artery flow. F: after carotid artery stenting, right ophthalmic artery duplex sonography showing the normal ophthalmic artery flow.

ることがある。これは、ノイズとは異なる基線から離れた強く(3dB以上)、短い(0.3秒以下)特徴的な音(chirp音)として検出される栓子信号で、栓子の血流方向に沿った移動が2点以上で確認できた場合、脳動脈への塞栓子を示唆するとされ microembolic signals (MES) と呼ばれる。また、くも膜下出血後の血管攣縮では、攣縮部位の血流速度が高くなることを TCD や TC-CFI で検出可能である。¹³⁾

症 例

1. 内頸動脈閉塞症：浅側頭動脈-中大脳動脈吻合術施行例 (Fig.5)

64歳男性。徐々に進行する左眼視力障害と一過性右片

麻痺にて発症。左内頸動脈閉塞症の所見が得られ、眼動脈超音波検査では、眼動脈血流は逆流していた。左浅側頭動脈-中大脳動脈吻合術施行。術後、眼動脈血流は、1ヵ月後には逆流血流が減少し、3ヵ月後には血流方向は順流となり、視力障害も改善した。

2. 内頸動脈狭窄症：CEA 施行例 (Fig.6)

64歳男性。左眼一過性黒内障と、右上下肢の一過性麻痺にて発症。内頸動脈狭窄症と診断。眼動脈超音波検査では眼動脈血流波形は逆流型を示した。CEA 施行。術後、頸部超音波検査では狭窄部の解消と、眼動脈超音波検査では眼動脈血流は正常となっていた。

3. 内頸動脈狭窄症：ステント留置術施行例 (Fig.7)

68歳女性。右上下肢の一過性片麻痺にて発症。左内頸

動脈狭窄症と診断。頸部頸動脈超音波検査で高輝度のブラークとPSVの亢進を認め、眼動脈血はアーチ狭窄型を呈した。ステント留置術施行。術後、頸部超音波検査で良好な内頸動脈血流を認め、眼動脈血流も正常となった。

ま と め

脳血管障害における超音波検査は、頸部血管超音波検査法、経眼窩超音波検査法、経頭蓋超音波検査法がある。Bモード画像に加え、カラードブラを加え、更にハルストブラ法による血流速度の測定により、一層診断能力が高まる。脳血管障害における超音波検査は、非侵襲的に繰り返し、簡便にベッドサイドでも施行可能であるので、迅速な診断や、スクリーニング検査や治療効果の評価、合併症の出現など、今後一層広範な臨床応用が期待される。

(本論文の一部は、「大和証券ヘルス財団第29回調査研究助成(平成14年度)」を受けている。)

文 献

- 1) North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial Collaborators : Beneficial effect of carotid endarterectomy in symptomatic patients with high-grade carotid stenosis. *N. Engl. J. Med.* **325** : 445-453, 1991.
- 2) Carpenter, J.P., Lexa F.J and Davis J.T. : Determination of duplex Doppler ultrasound criteria appropriate to the North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial. *Stroke*, **27** : 685-699, 1996.
- 3) Kimura, K., Tonemura, T., Terasaki, T., Hashimoto, Y. and Uchino, M. : Duplex carotid Sonography indistinguishing acute unilateral atherothrombotic from cardioembolic carotid artery occlusion. *Am. J. Neuroradiol.* **18** : 1447-1452, 1997.
- 4) Kimura, K., Yasaka, M., Moriyasu, M., Tsuchiya, T. and Yamaguchi, T. : Ultrasonographic evaluation of the vertebral artery to detect vertebrobasilar axis occlusion. *Stroke*. **25** : 1006-1009, 1994.
- 5) Steinke, W., Rantenberg, W., Schwartz, A. and Hennerici, M. : Noninvasive monitoring of ICA dissection. *Stroke*. **25** : 998-1005, 1994.
- 6) 川口正一郎, 浦西龍之介, 森本哲也, 榑 寿右 : 頸動脈閉塞性病変に於ける眼動脈 Doppler 血流検査. *Neurosonology* **12** : 13-18, 1999.
- 7) 川口正一郎, 奥野修三, 榑 寿右 : 頭蓋内循環障害における眼窩 color Doppler flow imaging. *脈管* **40** : 365-370, 2000.
- 8) Kawaguchi, S., Sakaki, T., Morimoto, T., Okuno, S. and Nishikawa, N. : Effects of bypass on ocular ischaemic syndrome caused by reversed flow in the ophthalmic artery. *The Lancet*, **354** : 2052-2053, 1999.
- 9) Kawaguchi, S., Okuno, S., Sakaki, T. and Nishikawa, N. : Effect of carotids endarterectomy on chronic ocular ischemic syndrome due to internal carotid artery stenosis. *Neurosurgery* **48** : 328-333, 2001.
- 10) Kawaguchi, S., Sakaki, T., Uranishi, R. and Ida, Y. : Effect of carotid endarterectomy on ophthalmic artery. *Acta Neurochir (Wien)*. **144** : 427-432, 2002.
- 11) Kawaguchi, S., Sakaki, T. and Uranishi, R. : Color Doppler flow imaging of the superior ophthalmic vein in dural arteriovenous fistulas. *Stroke* **33** : 2009-2013, 2002.
- 12) Kimura, K., Hishimoto, Y., Hirano, T., Uchino, M. and Ando, M. : Diagnosis of middle cerebral artery occlusion with transcranial color-coded real-time Sonography. *Am. J. Neuroradiol.* **17** : 895-899, 1996.
- 13) 吉田 哲, 島 健, 岡田芳和 : Transcranial Doppler による脳血管攣縮の診断 : 脳血管写, 脳循環検査, 脳血流との比較検討. *Neurosonology* **7** : 99-103, 1994.