原 著

頸動脈閉塞病変における 3 次元超音波検査の有用性

久米伸治¹ 日比野誠一郎² 小林益樹² 金澤潤一²
 島 健³ 西田正博³ 山根冠児³ 三原千恵³ 平松和嗣久³ 豊田章宏³

¹日比野病院放射線科

²日比野病院脳神経外科

³中国労災病院脳神経外科

Usefulness of Three-dimensional Ultrasonography in Obstructive Diseases of the Carotid Artery

Shinji KUME¹, Seiichirou HIBINO², Masuki KOBAYASHI², Junichi KANAZAWA²

Takeshi SHIMA³, Masahiro NISHIDA³, Kanji YAMANE³, Chie MIHARA³, Kazuhisa HIRAMATSU³, Akihiro TOYOTA³

¹Department of Radiology, Hibino Hospital

²Department of Neurosurgery, Hibino Hospital

³Department of Neurosurgery, Chugoku Rosai Hospital

Background : Three-dimensional ultrasonography (3D-US) has been recently developed and used mainly in the gynecological field. We have performed 3D-US examination of carotid artery lesions. Here we present an analysis of comparison with 2D-US.

Materials and methods : We used three kinds of 3D-US machines (TOSHIBA SSA-700A, ALOKA SSD-5500 EX-3D, and PHILIPS HDI-5000 SONO CT) to examine atherosclerotic lesions of the carotid artery in 47 patients (37 men and 10 women ; average age 70 y) . Moreover, pathological findings of carotid endarterectomy specimens were also analyzed and compared with the 3D-US image in four cases.

Results : We were able to visualize the lesions from multiple directions by 3D-US by a technical procedure after detecting each lesion in an axial view. 3D-US was particularly effective for recognizing ulceration by multidirectional view. The image corresponded to pathological findings in the carotid endarterectomy specimen.

Conclusion : It is usually difficult to detect carotid lesions from all directions by usual 2D-US, because of the many tissues that surround and mask the carotid artery. 3D-US is useful for recognizing carotid lesions. The most diagnostically useful lesion is ulceration, which cannot be seen by axial view alone. 3D-US is considered to contribute to the diagnosis of carotid lesions.

Key words : three-dimensional ultrasonography, carotid arterial ultrasonography, carotid endarterectomy, carotid artery, plaque ulceration

はじめに

超音波検査でも 3 次元表示が可能となり、主に産婦人科領域を中心として臨床応用されるようになってきた^{5,9,10,13}。しかし、頸動脈超音波検査への応用においては、対象が血管であるために、拡張と収縮を繰り返す血管の拍動と、血管の波打ちによる動きが Fig. 1-A (b), Fig. 1-B (b) に示すようなジャバラ状の artifact (axial artifact, longitudinal artifact) となり、病変の描出を妨げる大きな要因となる。そのため、この領域の研究報告は少なく、有用性についても不明な点が多い。3 次元超音波検査 (3D-US : Three-dimensional ultrasonography) の画像表示法は複数あるが^{4,6,8,11,13}、本研究では血管系の診断に有用性があると思われる立体表示法

(VR : Volume Rendering) と多断面表示法 (MPR : Multi Planar Reformatting) について検討を行った。また、位置情報の認識を行う磁気センサーなどを用いない^{6,7,10}、現在市販されている 3 次元表示可能な超音波診断装置を用い、頸動脈病変における 3D-US の有用性とその診断能の限界について検討した。

対 象

平成 14 年 8 月から平成 15 年 11 月までに頸部頸動脈動脈硬化性病変を有する症例に対して超音波検査を行った、47 症例、61 血管、66 病変に対して検討を行った。男性 37 名、女性 10 名、平均年齢は 70 歳 (52 歳 ~ 86 歳) であった。

Reprint request

久米伸治 : 〒731-3161 広島市安佐南区沼田町 7955 日比野病院放射線科

Shinji KUME : Department of Radiology, Hibino Hospital, 7955 Tomo, Numata-Cho, Asaminami-Ku, Hiroshima 731-3161, Japan

[Received February 2, 2004 ; Accepted June 4, 2004]

Fig. 1 Form of 3D-US

A. Parallel scan.

(a) Direction of probe.

(b) Artifact occurs in axial direction.

(c) 3D-US/VR-color image of left-ICA stenosis made by parallel scan.

(d) Digital subtraction angiography (DSA) of the same lesion as in (c).

B. Tilting scan.

(a) Direction of probe.

(b) Artifact occurs in longitudinal direction.

(c) 3D-US/VR-color image of ICA kinking.

(d) Magnetic resonance angiography (MRA) of the same lesion as in (c).

A-(c) reveals ulceration () of the common carotid artery, which is not seen in DSA (A-(d)).

B-(c) shows kinking () of the ICA, which is seen as a defect in the MRA. 3D-US clearly demonstrates an anatomical view of the carotid artery.

方 法

超音波診断装置は、SSD-2000 (ALOKA, Linear Probe 7.5 MHz), SSD-5500 (ALOKA, Wideband Linear Probe 7.5 MHz), SSA-700A (TOSHIBA, Wideband Linear Probe 7.5 MHz), HDI-5000 SONO CT (PHILIPS, Wideband Linear Probe 5-12 MHz) を用い、三次元画像構成装置には、EX-3D (TOM TEC) を用いた。三次元 volume data を収集する scan 方式は、Fig. 1-A に示すように、短軸像で体軸方向に連続 scan を行う平行スキャン (Parallel Scan) と、Fig. 1-B に示すように、扇状に連続 scan を行う扇状スキャン (Tilting Scan) を用いた。いずれの scan 方式も、free hand で行った。3D-US が正確に病変を捉えることが可能であるか確かめるために、同一症例に対して 3D-US と 2 次元超音波検査 (2D-US) を施行し、多分に視覚的解析ではあるが、両画像の描出能の比較を行った。すなわち、plaque の大きさ、形、部位などの形態的評価とエコー輝度における性状評価についての整合性を検討し、中でも潰瘍性病変の描出能に注目した。複数の 3D-US の画像表示法の中で、頸動脈病変に対して適正な画像表示法、及び 3D-US 特有の利点についても検討した。また、頸動脈内膜切除術 (CEA: carotid endarterectomy) を行った 4 症例については、術中所見と併せて検討した。

Fig. 2 3D-Ultrasonographic (3D-US) images of internal carotid artery (ICA) stenosis

A: VR/B-mode image.

B: VR/color image.

C: VR/fusion image.

D: MPR/B-mode image.

E: MPR/fusion image.

3D-US correctly showed the most stenotic lesion ().

結 果

① 2D-US と 3D-US の画像比較

2D-US で描出不可能であった病変は両者の比較が困難であるため、66 病変中 16 病変は除外し、残りの 50 病変において比較した。plaque の大きさ、形、部位などによる形態的評価では、2D-US と 3D-US の間で 50 病変中 44 病変 (88%) において所見が一致した。また、50 病変のうち、25 病変に潰瘍性病変を認めたが、この 25 病変中 19 病変 (76%) で 2D-US と 3D-US の plaque の大きさ、形、部位などの形態的評価は一致した。また、3D-US では plaque の内部エコーの評価は困難であった。

② 頸動脈病変の最適な 3D-US 画像表示法

3D-US の画像表示法は複数あるが、本研究では血管系の診断に有用性があると思われる VR 法と MPR 法について検討を行った。Fig. 2 は、同一病変において、画像表示法を変えて表示させたものである。Fig. 2-A D は B-mode 表示、Fig. 2-B は Color 表示、Fig. 2-C E は合成表示である。

VR 法 (Fig. 2-A B C) は、病変を立体的に表示する画像表示法であり、MPR 法 (Fig. 2-D E) は、病変を二次元画像で多方向から観察する画像表示法である。また、B-mode 表示は、B-mode で scan した volume data を白黒画像にて表示する画像表示法であり、Color 表示は、PDI (Power Doppler Image) で scan した volume data をカラー表示のみで表示する画像表示法である。合成表示は、PDI で scan した Color 表示に B-mode 表示を重ね合わせて表示する画像表示法である。今回の検討では、頸動脈病変において最適な 3D-US の画像表示法は、MPR 法の B-mode 表示 (Fig. 2-D) であると考えられた。

③ 3D-US と CEA の対比

3D-US における潰瘍性病変の描出に対して特に注目し、少

Fig 3 Intraoperative view of carotid endarterectomy (CEA) compared with DSA and US images

A: DSA.
B: 2D-US/dynamic flow.
C: 3D-US/MPR/fusion image/sagittal image.
D: Intraoperative view of CEA.
E: Illustration of D.

Calcification () is seen in B. Two points of ulceration () in the left-ICA are seen in B, C, and D. DSA (A) showed only one point of ulceration () D revealed ruptured plaque.

数例ではあるがCEAを行った4症例において潰瘍の数，位置における画像所見上的一致について検討した．その結果，すべての症例において3D-USと術中所見は一致していた．Fig 3，Fig 4に代表例を提示する．

(症例) 73歳男性

(主訴) 右不全片麻痺

(既往歴) 3年前より糖尿病，高血圧にて内服加療中

(現病歴) 2002年1月脳梗塞発症，右不全片麻痺を認め他院にて加療．左頸部頸動脈狭窄を認めたため，CEA目的で11月紹介入院となった．頸動脈超音波検査では，左内頸動脈に面積狭窄率で83%の狭窄を認め，潰瘍を2カ所認めた．3D-USでも同様の所見であった．plaqueの輝度はhypoechoic～isoechoicで，一部，acoustic shadowをひく石灰化所見を認めた．DSAでは，左内頸動脈起始部に潰瘍を伴った80%の狭窄を認めたが，潰瘍は1カ所しか確認出来なかった．術者が肉眼により観察した術中所見では，超音波検査で認められた部位と同部位に潰瘍形成を認め，plaque内出血を起こしていた．病理所見 (Fig 4) でも超音波所見と同様に，出血 (Fig 4・C・①②) を伴い一部に石灰化 (Fig 4・B) を認めた．術後，合併症は認めず，経過良好である．

考 察

① 2D-US と 3D-US の 画 像 比 較

2D-US と 3D-US における plaque の大きさ，形，部位による形態的評価は88%で一致し，一致しなかった症例は血管の拍動による artifact の影響が大きな要因と思われた．また，潰瘍性病変においては，潰瘍の陥凹の深さに関係なく，その潰瘍を形成している plaque 自体の大きさが小さいものほど3D-USでの描出能は低く，今回の検討では，plaque の隆起が2mm以下のものに関しては明らかに描出能の低下が見

Fig 4 Pathological view compared with US image

A: Specimen of CEA.
B: Pathological view at line B of Fig 3・A.
① Illustration.
② 2D-US/B-mode image/axial image.
③ 2D-US/dynamic flow/axial image.
④ Pathological view (H&E stain)
⑤ Magnified view of ④.

C: Pathological view at line C of Fig 3・A.

① Pathological view (H&E stain)
② Magnified view of ①
B・④ shows plaque with much collesterine in ulceration () B・⑤ reveals calcification () stained purple. C・① shows intraplaque hemorrhage under ulceration ()

られた．これも血管の拍動による影響が大きな要因で，逆に plaque が大きくなるにつれ，局所の血管のコンプライアンスが低下するため，血管の拍動による影響が少なくなり，その結果 artifact が目立たなくなったと考えられる．plaque の大きさ，形，部位による形態的評価，エコー輝度による性状評価に関しては，いずれも2D-USの方が良い結果となった．この原因は，3D-USは，その手技上 probe を移動させて volume data を収集しているため，完全な静止画である2D-USと比較して収集時間が長く，その分，血管拍動による artifact (Fig 1) の影響を大きく受けるために画質が劣ると考えられた．

② 3D-US の 利 点 に つ い て

Fig 5に示すように，従来の2D-USでは，長軸像で観察範囲外となる領域 (Fig 5・A・①) が存在した．この観察範囲外となる原因は，probe と血管との間に気管や甲状軟骨などがあるためで，この場合，観察可能範囲 (Fig 5・A・②) から長軸像で plaque のアプローチを行うと，Fig 5・D・①のように，実際よりも plaque が小さく描出されたり，Fig 5・D・③のように，実際よりも plaque が大きく描出されたりする可能性がある．また，潰瘍性病変においては，Fig 5・D・①③のように，正しく描出されない可能性もある．Fig 6・1は短軸像のみで潰瘍性病変の診断が可能な症例であり，Fig 6・2は短軸像のみでは潰瘍性病変の診断が不可能な症例である．Fig 6・2のような潰瘍性病変は，短軸像での潰瘍の確認が不可能なため，必ず長軸像の観察が必要な症例である．しかし，このような潰瘍性病変がFig 5のように観察範囲外にあった場合，従来の2D-USでは，長軸像で正確な断面を得るこ

Fig 5 Plaque image

A: 3D-CT/axial image.

①The range cannot be scanned by longitudinal imaging.

②The range can be scanned by longitudinal imaging.

B: 3D-CT/axial image (magnified)

C: 2D-Ultrasonographic image (2D-US) /axial image (magnified)

D: Different images of plaque in each longitudinal US view.

①Plaque image is smaller than the actual lesion, and ulceration is not revealed.

②Plaque with ulceration is correctly demonstrated.

③Plaque image is larger than the actual lesion, and ulceration is not revealed.

Fig 6 US image of ulceration

Fig 6-1 Type of lesion detected by axial view.

A: Longitudinal image.

B: Axial image.

Fig 6-2 Type of lesion not detected by axial view

A: Longitudinal image.

B: Axial image.

Ulceration () is seen.

とができないため、潰瘍性病変の正確な診断が困難となる。3D-USでは、任意断面の設定が三次元処置によって可能になるため、潰瘍性病変の正確な診断が可能となり、従来の2D-USでは描出できなかった病変を3D-USで描出することが可能であった。今回、検討を行った66病変のうち、2D-USでplaqueが観察範囲外にあり、正確な長軸像が得られなかった症例は16病変あったが、そのうち13病変(81%)で、3D-USを用いて正確な長軸像が得られた。この13病変は、3D-USでのみ描出が出来たもので、3D-USが特に有用であっ

た症例であった。

③頸動脈病変における3D-USの最適な画像表示法

3D-USの画像表示法の中で最適な画像表示法は、MPR法のB-mode表示(Fig 2-D)であった。この画像表示法は、血管の拍動の影響が最も少なく、最も良好な画像が得られた。多重反射などのartifactや低エコー輝度のplaque、潰瘍性病変においては、PDIを用いてvolume dataを収集するMPR法の合成表示(Fig 2-E)で視認性が良く、病変の描出に優れていた。VR法は加工に時間がかかり、リアルタイムな診断を行うには、あまり有用ではないと考えられる。病変の診断を行うのみであればMPR法で十分であり、VR法で表示する場合は、血管の拍動の影響が少なく、良好な画像が得られた場合に限り有効であると考えられた。現在の3D-US装置では、血管の拍動によるartifactによって病変が隠されてしまう可能性があり、その検査手技には注意を要する。このことが、頸動脈超音波検査では3D-USは困難という印象を与える大きな要因ではないかと思われる。各メーカーの装置ともPRESETされている条件でscanするのは難しく、この問題に対しては臨床とかけ離れた条件にはなるが、時間分解能を抑える方向で画像の調整を行うことで血管の動きによるartifactの低減を得ることが出来た。具体的には、走査線密度を上げる。パーススタンス(persistence)を上げる。focus pointを増やす。PDIを用いたscanでは、color areaの範囲を最大限に広げるなどである。また、scan方向を変えることによりartifactの出る向きを変化させ(Fig.1),病変とartifactが重ならないようにすることで、artifactの影響を最小限に抑えることが出来た。3D-USは測定条件だけでなく、超音波ビームの当て方にも注意を要する。B-modeでvolume dataを収集する場合は、病変に垂直に当たるようにscanしなければ、病変を正確に描出することは出来ない。特に、潰瘍性病変が複数ある場合は、一つ一つの潰瘍性病変に対して、scanしなければならない場合も多々見られた。また、このように一断面で描出できないような潰瘍性病変に対してはPDIを使用し、VR法にて表示すると、血管と潰瘍性病変の位置関係や、血管の走行、奥行きなどが良く理解出来た(Fig.1-A-c, Fig.1-B-c)。このように3D-USでは、病変を描出するために何度もscanしなければならない場合が多く、熟練者でも病変の描出に関しては、かなり技術を要するのが現状である。

④3D-USとCEAの対比

術中に肉眼的に認められた潰瘍は、術前の3D-USですべて描出されており、3D-USの正確性が確認出来た。Fig 3で超音波検査とDSAで潰瘍の数が一致しなかった原因は、読影方向による問題が大きいと考えられる。超音波検査よりもDSAの方が空間分解能に優れているとはいえ、DSAでは接線方向に投影されない潰瘍として描出されないため、角度を変えてdata収集を行う超音波検査が有用であるケースも少なくない。また、潰瘍性病変は塞栓を生じる危険度の高いplaqueであると言われている⁶⁾。今回CEAを行った4

症例の病理所見は、いずれも plaque 内出血を起こしており、このような潰瘍形成を伴う plaque を 3D-US で詳細に把握できることは非常に有用であると考ええる。

結 語

今回、我々は頸動脈閉塞性病変における 3D-US の有用性について検討した。しかし、3D-US は、誰もが期待するように、一回 scan しただけで三次元 data が得られ、検査が終了するような簡単なものではなく、現段階では、各症例、病変ごとにその画像表示法や scan 方式などを考慮しなければならないという煩雑さがあった。また、3D の画像構成時間などから考えても、頸動脈病変全例に施行するのは難しいと考えられたが、2D-US で描出が不可能である潰瘍性病変に対しては、時間や労力をかけてでも三次元構築を行う意味があると考えられた。今後の課題としては、血管の拍動の影響を抑えるための心電図同期などの開発や^{8,10)}、位置情報を認識出来る磁気センサーの開発、また、コンピュータの高速化やコスト面での低価格化が必要であり、今後のさらなる機器およびソフトの発展に期待される。

文 献

- 1) 深尾繁治, 橋本信夫, 塚原徹也, 緒方 絢, 由谷親夫, 米川泰弘: 頸部頸動脈粥状硬化症の病理学的所見から見た脳虚血の発症機序. 脳卒中の外科 22: 235-240, 1994
- 2) 橋本 浩: 3D イメージング. 日独医報 44(4): 121-129, 1999
- 3) 平松和嗣久, 島 健, 豊田章宏, 西田正博, 山根冠児, 山中千恵, 畠山尚志, 石野真輔, 辻上周治, 横田晃: 頸動脈内膜切除術前後の栓子シグナルの検討. Neurosonology 14: 20-24, 2001
- 4) 伊東紘一: 三次元超音波像 (3D echography). 臨床放射線 41(11): 1415-1422, 1996
- 5) 金西賢治, 奏利之: 3D の進歩 (2) 産婦人科領域. 臨床検査 Vol 45 No.11: 1246-1250, 2001
- 6) 松村 誠: 三次元心エコー図法の現状と将来. 麻酔 47 (増刊): 118-125, 1998
- 7) 望月 剛: 3次元超音波の原理. 検査と技術 27(6): 569-572, 1999
- 8) 望月 剛: 三次元表示の原理. 臨床放射線 43(11): 1281-1288, 1998
- 9) 中田典生, 宮本幸夫, 山下美代子, 最上拓児, 並木珠, 三井田和夫, 小池正人, 白川崇子, 入江健夫, 原田潤太, 福田国彦, 多田信平: 三次元表示の臨床応用. 臨床放射線 43(11): 1289-1293, 1998
- 10) 太田剛弘: 3D の進歩 (1) 3次元心エコー図. 臨床検査 45(11): 1239-1245, 2001
- 11) 辻本文雄: 超音波医学辞典, 東京: 秀潤社, 2000
- 12) Bogdahn U, Becker G: Echoenhancers and Transcranial Color Duplex Sonography, Berlin: Blackwell Science, 1998, 121-140
- 13) 地挽隆夫: 超音波画像の高速 3D 表示. 映像情報 29(10): 573-576, 1997