

技 術

**Volume Navigation Systemによる超音波診断
および治療支援**

福田 友美* 山田 遥子* 長谷川 智*
 野呂 恵子* 平方奈津子* 佐藤 正幸*
 小川 浩司** 山本 義也** 中村麻名美***

The ultrasonic diagnosis and medical treatment support by
Volume Navigation System

Tomomi FUKUDA, Yohko YAMADA, Satoshi HASEGAWA
 Keiko NORO, Natsuko HIRAKATA, Masayuki SATO
 Kohji OGAWA, Yoshiya YAMAMOTO, Manami NAKAMURA

Key words : Volume Navigation System —
 HCC (Hepatocellular carcinoma)

はじめに

超音波検査（以下US）は、場所を選ばず簡便かつ低侵襲で、多方向からリアルタイム画像の観察ができるなど、多くの利点を持つが、検査者依存性や客観性といった面ではCTやMRIよりも劣っていると考えられてきた。当院では、道南地区で唯一このような特性を補う新技術 Volume Navigation System（以下V-navi）と呼ばれるリアルタイム Image Fusion 技術を搭載した超音波検査装置 LOGIQ E9を2011年12月に導入し、肝腫瘍を中心に様々な症例の診断および治療支援のツールとして使用している。今回我々は当院におけるV-navi使用の現況について症例とともに提示し、報告する。

原 理

構成は超音波診断装置のほか、磁場が発生するトランスミッタおよび磁気センサーからなる（図1）。US画像とfusionさせる他のモダリティ画像（CTやMRI）をあらかじめ超音波診断装置に読み込ませる必要がある。当院では放射線科にCD-Rの作成を依頼して、記録媒体経由で装置に取り込む手段をとっている。

US画像とCT/MRIの画像をfusionさせるためには両

画像の位置合わせが必要となる。各種プローブに対応した専用アタッチメントが存在し、2個の磁気センサーが取り付けられる。また、ベッドサイド（患者の右頭側）に磁場を発生するトランスミッタを設置し、このトランス

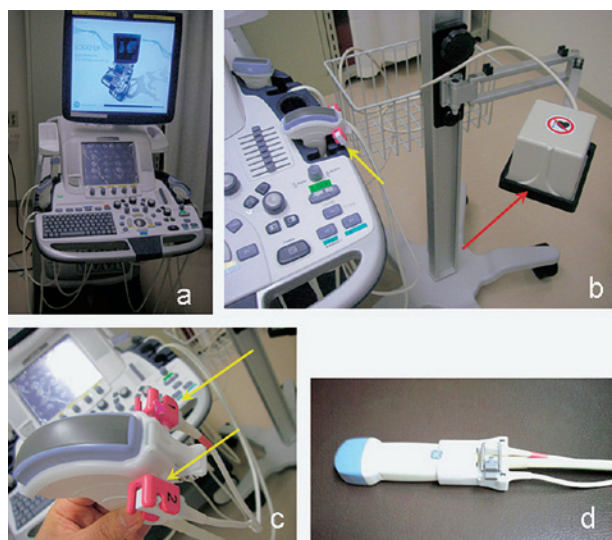


図1

- a : 超音波検査装置 LOGIQ E9本体。
- b : 磁気センサー（黄矢印）とトランスミッタ（赤矢印）および患者との3点で位置関係を把握する。
- c : C3-5-D コンベックスプローブに取り付けられた磁気センサー（黄矢印）。
- d : 磁気センサーを装着した3CRF 穿刺用マイクロコンベックスプローブ。

*市立函館病院 中央検査部生理検査センター

**市立函館病院 消化器病センター消化器内科

***市立函館病院 中央放射線部

ミッタによって発生した磁場をプローブに装着したセンサーが感知することにより、プローブの位置と方向を検知する。さらにはプローブに固定されたセンサーにより磁場の歪みも検知することが可能となる。磁場に何らかの干渉が加わり歪みを生じたり、磁場強度が十分でなかったりする場合、位置検出精度が著しく劣化するとされており、画面上に棒グラフ表示された位置精度の評価をもとに検査者が適切な装置の設定を行うことができる¹⁾。

トランスミッタ正面から発生する磁場はMRIほど強いものではなく、磁場の有効範囲は正面20~66cm、上下±30cm、左右±28cmとされており、許容範囲を超えると精度が下がるため、有効範囲内に対象となる患者の検査目的部位が納まるよう配置する必要がある。

強磁場ではないとされているが、ペースメーカー使用患者などは影響が出る恐れを否定できないため、MRI同様に原則禁忌である。

この段階ではまだ、装置内に読み込んだCT/MRIのVolume画像と、位置情報が付加されたUS画像情報がそれぞれ独立して存在しているだけであるため、各種座標系を両者の断面画像が合致するように変換する必要がある。ここで、Plane registrationと呼ばれる位置合わせ方法を用いて平行な面と、解剖学的に同じ1点を認識させる。

CT/MRIの画像と断面が平行となるように超音波のスキャン断面を調整する(臓器の描出を目標にプローブをCT画像と平行になるように体の上におく)。その後、両画像上で同一部位と思われる部位をランドマークとして両画像上でマーキングする(肝内門脈の分枝や腫瘍等をランドマークとすることが多い)。両画像のランドマークが合致するようにどちらかの座標系を平行移動する。この操作により位置合わせが完了し、超音波装置の1枚の画面上にてSide by Sideでの比較が可能となる(図2)。

また、本装置にはGPS機能も搭載されている。US断

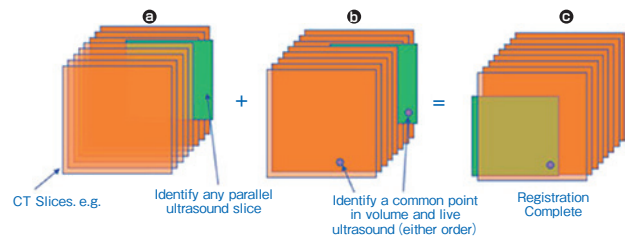


図2 (文献1より)

— 2モダリティ間の位置あわせの概念 —

- a : CT/MRI 画像と断面が平行になるようにUS断面を調整する。
- b : 画面上で同一部位と思われる部位をランドマークとしてマーキングする。
- c : 画面上のランドマークが一致するようにどちらかの座標系を平行移動する。

層画像上の関心部位(腫瘍など)にカーソルをあてて操作パネル上の決定ボタンを押す事でマーキングをすると、それ以降のプローブ走査に対してマーキングされた関心部位の空間位置が画像上に表示されるものである。マーキング位置から離れるとガイドマークが大きく表示され、位置に一致すると+マークが表示されるため、部位を間違えることなく観察できる¹⁾²⁾。その他、距離だけでなく、上方にずれると赤の印が大きくなり、下方にずれると青の印が大きくなるなど色によって方向も把握できる(図3)。この機能を用いる事で、プローブの走査位置を変えたり、検査者が交代したりしても簡単に関心部位を探すことができるなど時間短縮にも繋がる。このマーキングは複数設定することができ、多数散在しているような腫瘍の数をカウントすることもできる¹⁾³⁾。

これらの構成をもとにUS上で3D画像を作成することもでき、ゆっくりプローブを扇動走査するスキャンを行い得られた画像を3D-US Volumeとして保存しておくと、その画像をreferenceとして、同一画面上でUS画像同士による比較が可能となる(US-US fusion)⁴⁾。

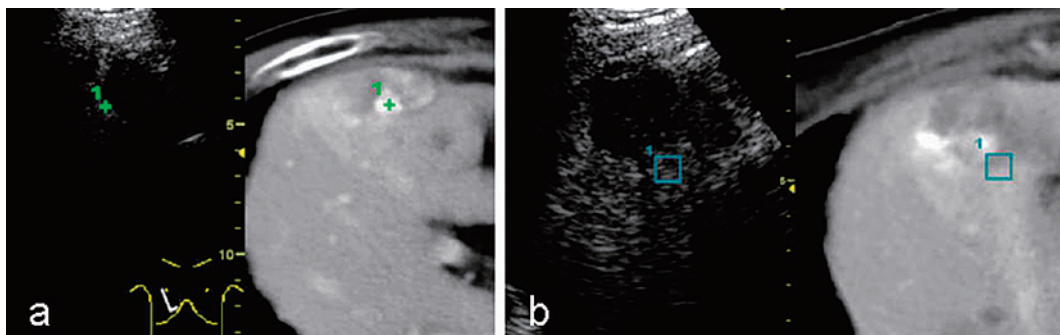


図3

— GPS機能 —

- a : +マークが表示され、マーキングした関心部位との距離が一致しているものと考えられる。
- b : □マークが大きくなり青色に表示され、関心部位との距離が離れ、下方に向いていると推測される。

対象と方法

本システム導入の2011年12月から2013年11月末までの2年間に肝病変を対象としてV-naviを使用したUS施行例は258例であった。V-naviを起動した状態で、ソナゾイド造影超音波検査（以下CEUS）やラジオ波焼灼療法（以下RFA）、エタノール注入療法（PEIT）などの経皮的局所療法を施行することが可能であり、患者の治療方針に応じた準備を行う。

対象患者には検査開始前にペースメーカー挿入が無いことを確認し、検査に臨む。V-navi下USに併用してCEUSでの精査も施行する場合には、あらかじめ病棟または外来採血室での静脈ルート確保が必要であり、事前の超音波造影剤使用同意書に対して承認・署名を得る。

US装置はGE Healthcare社製LOGIQ E9、探触子はコンパックス型3.4MHz±20% (C1-5-D)、穿刺用マイクロコンパックス型3.0MHz±20% (3CRF)を使用した。

CEUS時の撮像条件はMechanical Index (MI値) 0.3前後、フレームレートは連続送信10~15fpsとした。

結 果

全258例のV-navi使用目的内訳はV-navi下USによる観察が86例あり、V-navi確認後単独CEUS（106例）もしくはV-navi下併用CEUS（20例）による精査を同日に実施し、穿刺経路を確認するケースが多かった（図4）。

【症例1】 - V-navi下US, CEUS精査例 -

66歳男性。C型肝硬変で他院フォロー中ダイナミックCTにて肝細胞癌（以下HCC）の存在が疑われ紹介受診となった。初回US-Bモード上ではS7領域に存在する嚢胞の辺縁不整はみられるものの明らかな腫瘍性病変

としては確認できなかった。V-navi下USにて肝嚢胞右側のCT指摘箇所と合致する部位に境界不明瞭な淡い低エコー腫瘍の存在が疑われ、CEUSにてHCCパターンを呈しており、病変部位ならびに性状を正しく診断することができた（図5）。

【症例2】 - V-navi下US, 穿刺経路確認例 -

69歳男性。B型慢性肝炎、S8およびS6/7領域にHCCを認め肝動脈化学塞栓術後、RFAでの追加治療を考慮して造影CTをreferenceとしたV-navi下USを施行した。S8腫瘍は円蓋部に存在するため描出しにくく、USでの死角となりやすい部位ではあるが、V-navi併用によりUSで淡い低エコー腫瘍として描出が可能となった。S6/7腫瘍は肝静脈および門脈後区域枝等の重要血管が近接していたが、V-naviを用い腫瘍周囲血管との位置関係を慎重に観察することで、最善の穿刺経路の確認ができた（図6）。

【症例3】 - V-navi下CEUS, 治療後評価例 -

61歳男性。B型肝硬変、HCC術後再発疑われ精査を施行した。EOB-MRIをreferenceとしてV-navi下USにてS8領域にφ9mmの境界不明瞭な低エコー腫瘍を確認し、CEUSも併用して再発部位が同定できた。US下RFAから数日後、治療後領域の評価目的に再度V-navi下CEUSを行うと左腹側のmarginがぎりぎりであることが確認され、次に追加焼灼すべき領域の観察ができた（図7）。

【症例4】 - US-US fusion, 治療後評価例 -

79歳男性。B型肝硬変、HCC術後でS6領域に再発を認めTACE施行後にV-navi下USを施行した。造影CTをreferenceとし比較的境界明瞭なφ12mmの低エコー腫瘍として描出された。RFAが可能と思われるが肝表面に位置していることから通常RFAよりも直接的な穿刺が困難であり、焼灼域に腫瘍部分を含むためには穿刺経路を反転させ両側からの焼灼が必要と判断された。焼灼前に3D機能を用いてUS Volume画像を取得し保存した。US下RFAから数日後、治療後領域の評価目的にUS-US fusion画面で比較し、B-モード上およびCEUSいずれもmarginは確保されているものと評価することができた（図8）。

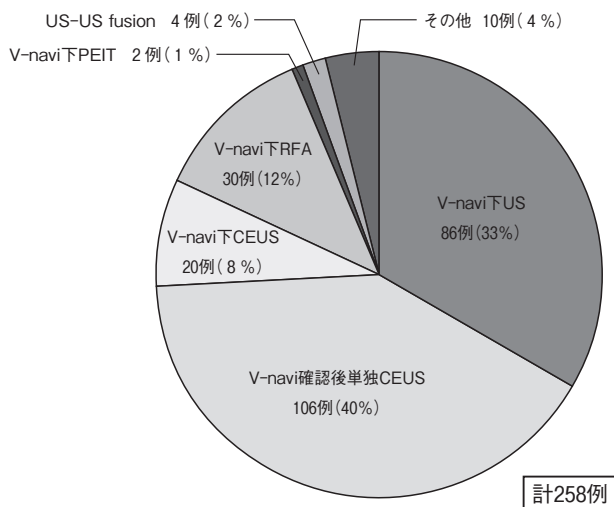


図4 当院におけるV-navi使用状況内訳 (2011.12.1~2013.11.30)

考 察

肝腫瘍性病変のなかには横隔膜のドーム直下などUS上の「死角」とされる部位に近いところに存在する病変のほか、解剖学的理由ではなく、USの視野範囲にあるにも関わらずB-モードでは描出できない病変も存在す

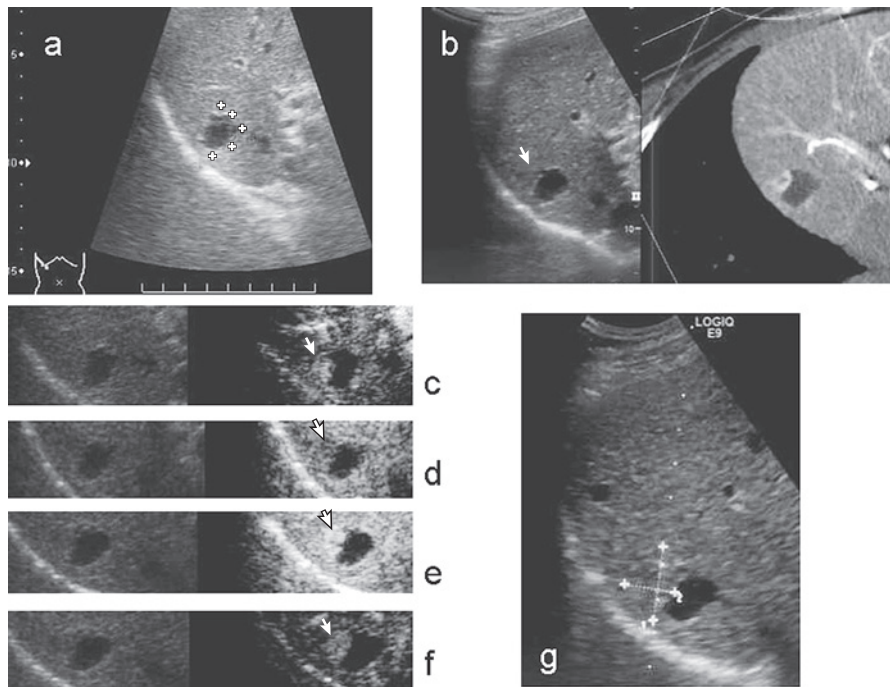


図5 (症例1)

- a : S7に辺縁不整を呈する嚢胞域を認めるが、HCC 病変部は不明瞭であった。
- b : V-navi 下 US で造影 CT を reference として嚢胞右側に境界不明瞭な低エコー域の存在が疑われた (矢印)。
- c ~ f : 標的部位の最大断面を描出し (矢印)、CEUS にて精査を施行した。
- c : Vascular イメージにて標的部位に最大 ϕ 10mm の多血結節の存在を認めた。
- d : Kupffer イメージで同部位は 10×8 mm の淡い欠損 (defect) を呈した。
- e ~ f : Re injection にて動脈血流を有する結節として描出され、HCC として矛盾ない所見を呈した。
- g : 穿刺ラインを表示し、最適な穿刺経路を確認した。

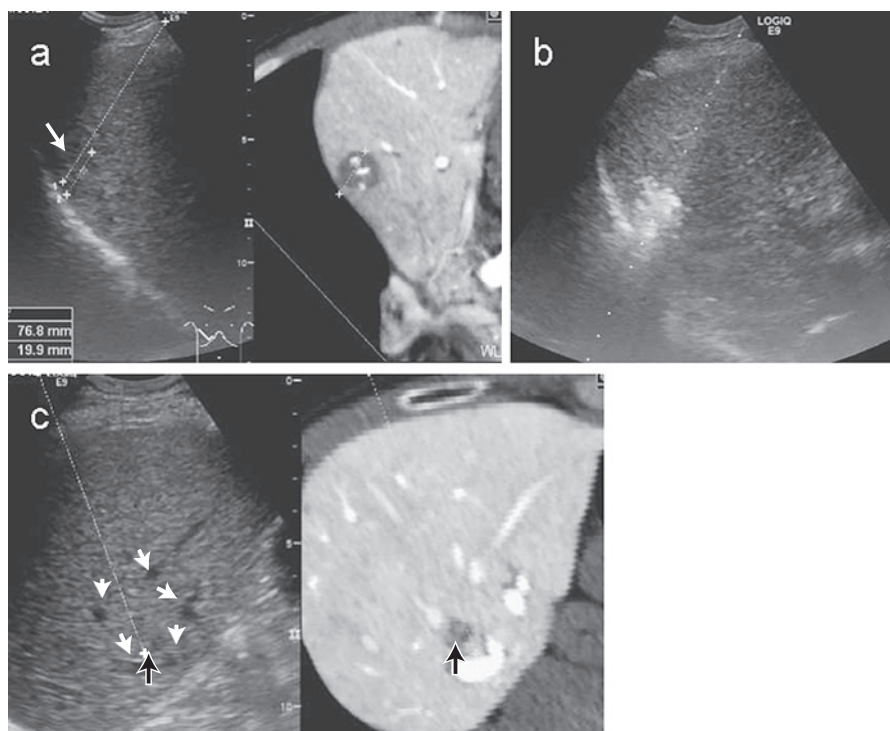


図6 (症例2)

- a : 造影 CT を reference として円蓋部に存在する S8 腫瘍の穿刺経路の確認ができた。
- b : RFA にて S8 腫瘍の局所療法が施行された。
- c : S6/7 腫瘍 (黒矢印)。周囲に脈管が近接しており (白矢印)、慎重な穿刺経路の確認がなされた。

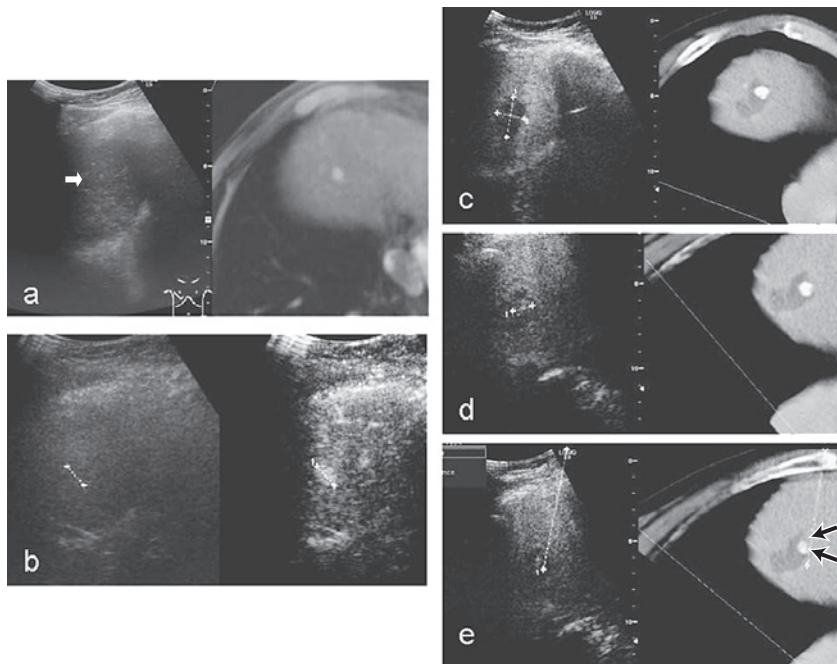


図7 (症例3)

- a : EOB-MRI を reference として S8 領域に ϕ 9 mm の淡い低エコー腫瘍 (矢印) を同定でき, HCC 再発部位と考えられた。
- b : CEUS にて同部位に染影を認め, HCC として確認された。
- c ~ e : RFA 治療数日後の評価として V-navi 下 CEUS を施行。腫瘍やや左腹側の margin がぎりぎりであるため (矢印), 追加焼灼が必要と判断された。

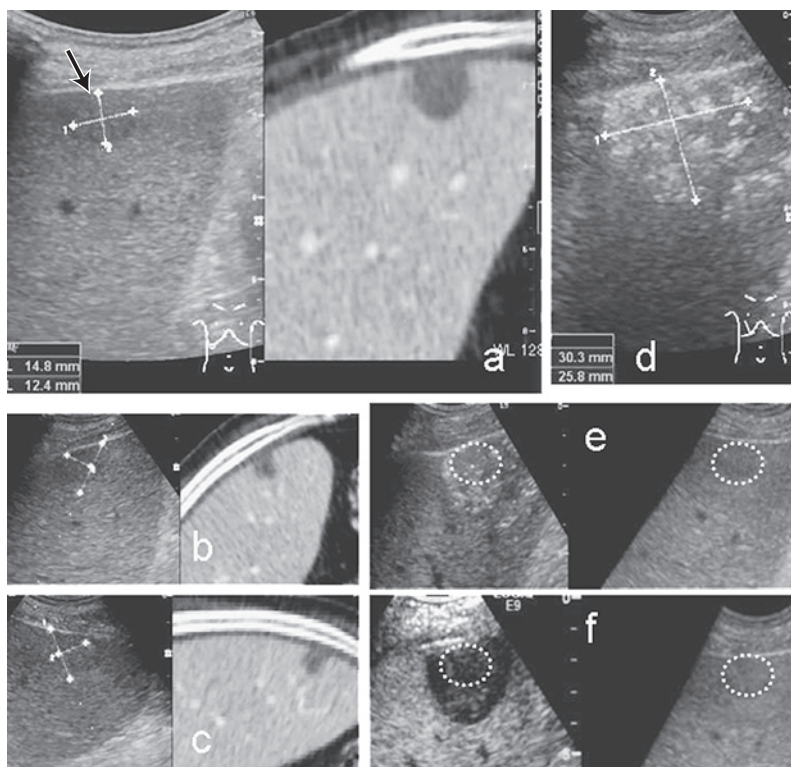


図8 (症例4)

- a : 造影 CT を reference として S6 肝表面に境界明瞭な低エコー腫瘍が確認できる。
- b : 左方向からの穿刺経路確認。
- c : 右方向にラインを反転させての経路確認。
- d : 2 方向からの穿刺で RFA が施行され, ϕ 30mm 大の焼灼域が得られた。
- e : RFA 前の US volume 画像との比較で, B-モード上腫瘍部位は含まれているように思われた (点線枠内がもとの腫瘍部)。
- f : 同様に CEUS Kupffer イメージ US-US fusion でも margin は確保できていると評価できた。

る。また、2008年1月の保険収載より Gd-EOB-DTPA 造影 MRI (EOB-MRI) が普及し、dysplastic nodule や early HCC 等のより早期の肝腫瘍性病変が検出されるようになり、MRI では同定可能であるものの、US-B モードでは同定困難な病変に遭遇する機会が増加した⁴⁾。従来これらの病変に対しては US 画像と PC 上の他モダリティ画像とを見比べてイメージを捉え、近傍の脈管や他の目印を指標として何とか描出に努めていたが、多くの時間を要し、そもそも確実性にも乏しい状況であった。V-navi の使用により US のリアルタイム性と CT/MRI の客観性を併せて表示することで US 画像の信頼性が向上し、検査効率の改善も可能となった。

肝腫瘍に対する質的診断を目的とした CEUS では特に HCC を疑う場合、血管相にて結節を疑う部位に一致した arterial phase (動脈相) での強い増強効果を捉えることが重要である。結節が確実に認識されていない場合は期待される造影効果が得られない場合が多く、V-navi の使用で標的病変断面の再現が確実となったことにより、CEUS における動脈相診断能が向上し質が高まったと考えられる²⁾⁵⁾。

経皮的局所療法に際しては症例 2 のように重要脈管への影響が懸念されるため、穿刺時および RFA 焼灼時の脈管損傷等の合併症を防ぐために、V-navi 施行により安全かつ確実な穿刺経路の確認が可能となる。また、HCC の局所再発率を低下させるためには、対象となる肝腫瘍に対し全周性に 5 mm 以上の ablative margin を得ることが重要であるとの事から⁶⁾⁷⁾、治療後評価の一助として焼灼領域の対比、margin の評価、追加焼灼目標部位の確認等治療前後の支援ツールとしても V-navi は多用されている。

Reference としては CT/MRI を用いることがほとんどであるが、治療後評価を目的として治療前の US Volume 画像を取得しておけば、症例 4 のように US-US fusion による比較で放射線被曝機会の低減やヨード系造影剤による副作用の回避、コストの点からも有用であると考えられる⁸⁾。3D-US volume 画像を用いた治療後評価はまだ経験症例が少なく、今後の検討課題といえる。

その他、治療支援とは別に教育上の用途として、右葉肋間走査と右肋骨弓下走査での空間イメージを一致させるために V-navi を用いた比較で理解を深めることができたり、さらには CT や MRI の読影能力向上という相乗効果が得られたりするなど、検査技術向上目的のツールとしての使用も有用と思われる。

また、肝腫瘍のみならず、乳腺領域における Image Fusion 技術の有用性が報告されており⁹⁾、当院でもセカ

ンドルック目的に使用している。2012年8月より乳腺領域における CEUS も保険適応となったことを受け、今後の発展が期待される。

ま と め

V-navi 下 US の応用により、US の特徴である非侵襲性、リアルタイム性を活かしながら US の確信度・再現性・検査者間の信頼性を高めることが可能となる。また、結節の同定が確実となることで、治療対象を拡大することができ、合併症の少ない安全な肝腫瘍の経皮的局所療法を中心とした治療支援が可能となる。この新技術の効果を最大限に活かし、今後も医師と技師との連携のもと、技術と知識の研鑽を積み診療および治療に貢献していきたいと考える。

文 献

- 1) 小笠原正文：マルチモダリティによる Fusion Imaging 技術について。超音波検技，2009，34：482-487.
- 2) 光本保英，森敬弘，川浦由起子他：LOGIQ E9 の新機能－肝腫瘍局所療法への応用－。医と薬学，2011，65：67-70.
- 3) 小川真広，森山光彦：Volume Navigation System を使用したラジオ波熱凝固療法。The Liver Cancer Journal，2011-12，3：26-31.
- 4) 松井剛志，辻邦彦，真口宏介：Volume-Navigation system を用いた肝腫瘍局所療法への取り組み。GE today in Technology，GE today AUGUST 2011，37：2-3.
- 5) 西田陸，高梨昇：肝腫瘍の造影超音波検査。医師薬出版株式会社，東京，2012：31-36.
- 6) 西島規浩，久保正二，高安賢一他：肝細胞癌に対する RFA における効果判定基準の提唱－局所再発率の検討から－。肝臓2008，49：192-199.
- 7) 加藤慶三，安達哲史，立花浩幸他：肝細胞癌に対する RFA の治療支援として Volume Navigation と flat-panel detector angiographic CT の有用性。医と薬学，2013，69：69-72.
- 8) 黒田英克，及川隆喜，小野寺美緒他：肝細胞癌に対する経皮的ラジオ波焼灼術－CEUS/3DUS Fusion Imaging を用いた治療効果判定－。J. Microwave Surg，2012，30：125-128.
- 9) Fausto A：A new method to combine contrast-enhanced magnetic resonance imaging during live ultrasound of the breast using volume navigation technique：Eur J Radiol，2012，81：332-337.