

リアルタイムバーチャルソノグラフィ (RVS) の放射線科における応用

Usefulness of Real-time Virtual Sonography

大熊 潔¹⁾ Kiyoshi Ohkuma
新本 弘¹⁾ Hiroshi Shinmoto
荒井 修²⁾ Osamu Arai

押尾 晃一¹⁾ Koichi Oshio
三竹 毅²⁾ Tsuyoshi Mitake

¹⁾ 慶應義塾大学医学部 放射線診断科

²⁾ 株式会社日立メディコ 技術研究所

超音波断層面に相当するMPR像として、CTボリュームデータから描出するシステム(Real-time Virtual Sonography)を使用した。本システムは基本的には以前より考案されていたが、リアルタイムに超音波像と比較できるという意味で画期的である。超音波技術の習得においては3次元的な断層解剖を理解すること、肝腫瘍に関してはCTで描出された病変の同定や多発病変の場合では個々の腫瘍の同定などに有用な手法と考えられ、今後の発展が期待される。

Real-time virtual sonography, a system which delineate MPR image corresponding to ultrasound cross-sectional plane from CT volume scan data was used for this experiment. This method, though invented before in basic concept, is epoch-making in a sense that the CT MPR image can be compared with ultrasound image in real-time.

It is considered to be a useful method for interpreting 3-dimensional section image anatomy in learning ultrasound technique, identification of the lesion delineated by CT with regard to hepatic tumor or identification of multiple lesions. Future development is expected.

Key Words: Ultrasound, Virtual, Sonography

1. はじめに

超音波検査(US)は非侵襲的かつ手軽にできる検査であり、造影剤を使用せずに多くの情報を得ることができる。CTやMRIも非侵襲的な検査とされるが経静脈性造影剤の投与が必要となることが多く、造影剤投与は稀とはいえ重篤な副作用を惹起することがある。また、CTにおいては被曝の問題もある。CTやMRIに比べUSはより非侵襲性が高いと考えられるのである。

一方、USには検査の質が術者の技量に依存するという大きな問題がある。ある程度の検査技術を習得するには、どの程度のトレーニングが必要か。超音波検査の教育に定評のある済生会中央病院放射線科の金田智先生によれば¹⁾最低200~300例の検査をきちんとした指導のもとで行い、4000~5000例程度の症例の画像を見ているとほぼ通常の検査を任せられるレベルに達すると言われている。また、Hertzberg²⁾によれば200例以下のトレーニングでは不十分としている。少なくとも200例程度は指導者の監督下のトレーニングが必要というのが実際のところであろう。

2. 超音波検査技術の習得

それでは超音波検査の習得はなぜ容易でないのだろうか。画像の成り立ちやアーチファクトが直感的に分かりにくいこと、描出のコツといったテクニックの問題、他の画像との比較が必ずしも容易でないことなどがあげられる。いずれもある程度の症例を経験することが前提であるが、第1の点に関してはある程度の基礎的な知識を覚える必要がある。第2の点は自分で考え、他人に教わりながら症例を重ねるしかない。エキスパートの腕の見せ所でもある。第3の点は意外と盲点になっていると思われる。特に肝臓の画像診断を考えた場合、USで描出されている部位がCTやMRIではどの位置に相当するのか分かっているつもりでも、実際にCTやMRIで病変があったときにUS検査者が頭の中で想定した位置と異なる部位に病変が描出されることは少なからず経験することである。

USは任意の断面を得ることができるのがメリットであるが、基本的に横断面であるCTやMRIとの対比が難しい場合がある。MRIは種々の断面が撮像可能であり、矢状断や冠

状断が診断に有用な場合も少なくないが、基本は横断像である。MRIとCTの画像を相互に比較しやすく分かり易いためである。

経験を積むことにより検査技術のコツはある程度習得可能と思われるのに対し、CTやMRIの横断画像とUS像を頭の中で3次元的に対比・一致させることは、経験により容易に達成されることではないと思われる。

3. USとCT画像のシミュレーションの歴史

すでに1985年にわれわれは正常人のCTの画像から肝区域を想定し、任意の断面から見たときの区域解剖のシミュレーションを行いWFUMBにて発表した。

さらにこのシステムの延長上とも言うべきCT画像の任意断面表示を押尾・新本が1996年の北米放射線学会(RSNA)にて報告した³⁾。当時のヘリカルCTを用い、約3mmのvoxel sizeで任意断面を表示するものであったが、リアルタイムの表示ではなかった(図1)。すなわち実際の超音波検査がリアルタイムで走査するのと同じようにはCTの再構成断面をリアルタイムに変えることはできなかった。

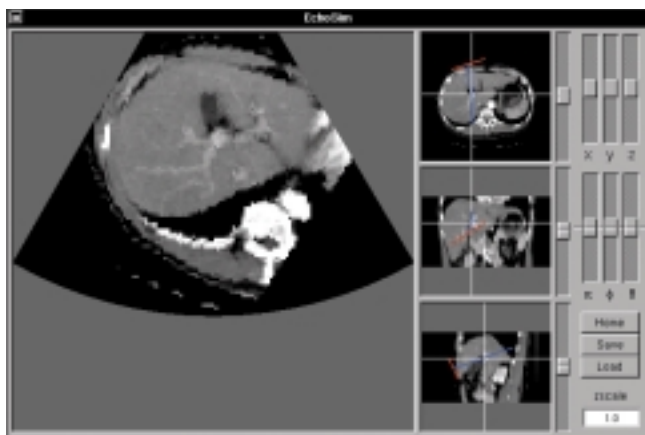


図1 : 1996年RSNA時のMPR像

4. Real-time Virtual Sonographyへ

最近になってMDCT (multi detector row CT) が急速に発達し、1回の呼吸停止下に大量のボリュームデータを短時間で得ることができるようになってきた。すなわちvoxel size 1mm程度のボリュームデータを容易に得ることができるようになってきた。一方、PCハードウェアの発達も著しく、リアルタイムのデータ処理が可能となってきた。リアルタイム下の任意断面表示の環境が整ってきたのである。

5. Real-time Virtual Sonographyへの期待

われわれの検査室には放射線科の研修医はもとより内科など他科からの超音波研修依頼もあり、常時超音波の習得を目指した若手ドクターが集まっている。研修において実際検査をしてもらった上でCTなど参照画像と比較する。CTで描出されている病変がUSで描出できない。CTで問題となってい

る病変とは別の病変を同一の病変とってしまう。このようなことが時々見られる。前者はテクニックの問題も勿論大きい、いずれの場合でも3次元的な位置関係が分かっていないのかなと思われる場合が少なくない。US画像に相当するCT断面を見ることができれば解剖学的理解に役に立つに違いないと思われる。すなわち、3次元的な解剖的理解という教育的な用途である。

一方、MDCTの発達により肝細胞癌(hepatocellular carcinoma、以下HCC)の診断も変わってきた。以前はハイリスクグループのスクリーニングにはUSが中心的な役割を果たしていたが、いろいろな意味でダイナミックCTを含めたCTが容易に撮像可能となってきた現在では、ハイリスクグループのスクリーニングや肝癌治療後の再発のチェックなどにCTが広く用いられるようになってきた。特に手術であれRFA (radiofrequency ablation) などの局所治療であれTAE (transarterial embolization) であれHCC治療後の再発のチェックは、CTが中心的役割を果たしている。それでは肝癌診断におけるUSの役割は何であろうか。RFAやcryoablationなどの局所治療が肝癌治療の主流となりつつある現在では、CT(あるいはMRI)で描出された病変がUSで描出できるか否かが重要であろう。すなわち、USで描出できればUSガイド下の局所治療が可能だからである。ところで、再発を繰り返すHCCにおいては治療後の病変と再発病変が混在して見られることも少なくない(図2)。このようなケースではCT所見を参考にしながらUSを行い、治療後の病変と再発病変を区別・同定し、再発病変をUSガイド下に局所治療を行うことが多い。しかしながら必ずしも各々の腫瘍を一つ一つ確実に同定することは容易ではなく、USで描出された結節が治療

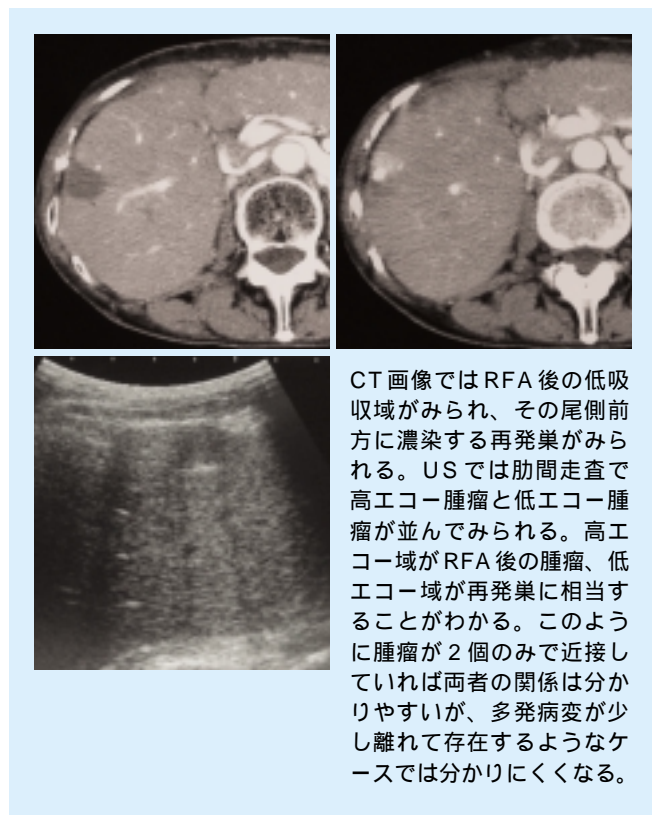


図2 : 治療後と再発病変の混在

対象の結節が否か判断に迷うことも少なくない。こういった観点からもUS施行時にCTの情報をリアルタイムに比較できれば有用であると考えられる。

もちろん放射線科的にはUSではっきり同定できない結節に対しては、CTガイド下穿刺という選択枝はあり得る。しかし、CTガイド下穿刺は肝臓の穿刺に関してはUSガイド下穿刺に比して、手技が煩雑・時間がかかる・被曝があるなどのデメリットが多く、USガイド下穿刺が不可能な場合に初めて考慮されるべき方法である。

6. Real-time Virtual Sonography の実際

実際に使用したシステムを図3に示す。超音波診断装置は日立メディコ製EUB-6500、探触子は中心周波数3.5MHzの腹部用コンベックス型プローブに磁気センサーを付加したものをを用いた(図4、図5)。CTデータはCDを介してPCに取り込む。磁気センサーにより得られた探触子の位置情報を読み取り、その位置に一致するCT再構成断面(Multi-Planar reconstruction像、以下MPR像)を表示する。被験者の臍や体表に



図3：初期のRVSシステム

PC上のMPR像と超音波診断装置の画像が多少離れていて見にくいのが、現在はPC上に超音波像も表示されるようになっている(図7参照)。



図4：磁気センサーを付加した探触子

多少大きくなるが持ちにくいことはない。

図5：磁気センサーのシステム

置いた金属製のマーカーを基準点とした。基準点は1点ないし3点用いて座標系を一致させた。基準点は、初期には3点を用いていたが1点でも大差なく、最近では1点を用いることが多い。初期にはPC上にはCTの断面のみの表示でUS像は超音波診断装置のモニターで見ていたが(図3、図6)、モニターが離れていると見にくいことから、現在ではPCモニター上でUSの断層面と一致するCT再構成断面を同時に表示できるようになった(図7)。

以下に症例を呈示する。

図8から図12は正常例である。超音波断層像自体はしばしば遭遇する像であるが、CTの再構成断面をみると実際の断面がどのようになっているのが客観的に評価できる。

図13から図15はHCCの症例である。中分化型の濃染する部位が低エコーで、高分化型肝癌の濃染しない部位が高エコー域を呈しているのが確認できる。

図16および図17はいずれもHCCの症例である。ともに最初の超音波検査では病変がはっきり確認できなかった症例である。RVSを行うことにより確信を持って病変を同定でき、その後の局所治療を行うことができた。

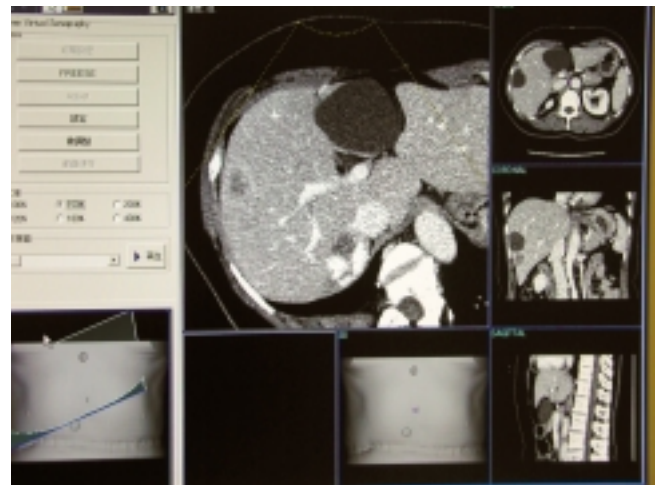


図6：PC上のMPR像

左下にスキャン断面が表示されている。

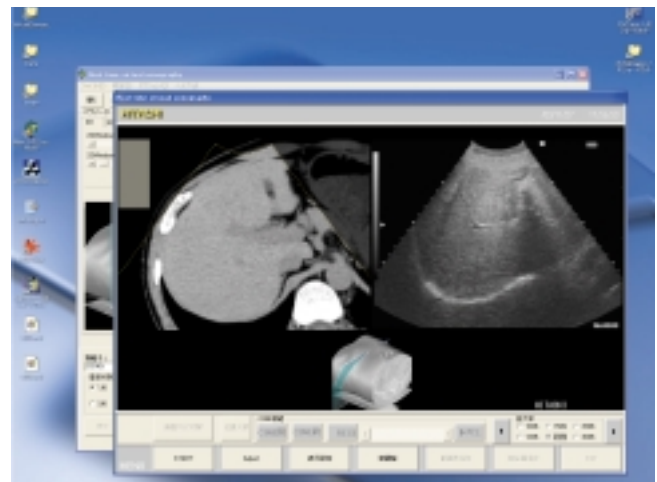
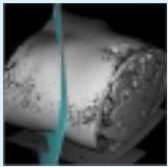


図7：現在のPC上の表示

超音波像とMPR像が左右同時に表示されており以前より見やすくなった。



右肝静脈や門脈右前枝が確認できる。

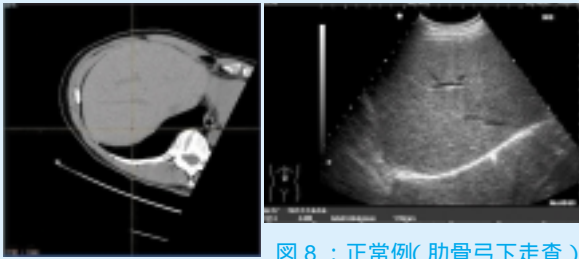
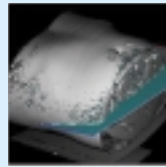


図 8 : 正常例(肋骨弓下走査)



脾と左腎が描出されている。この画像には左副腎は描出されていないが、MPR画像を参照すると左副腎の描出の仕方の参考になる。

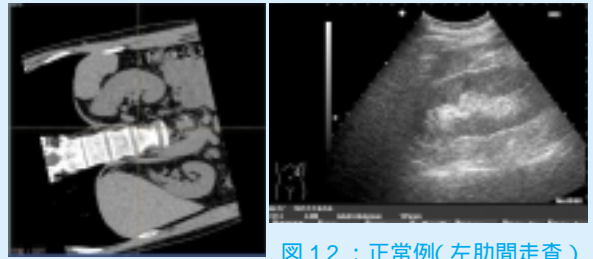
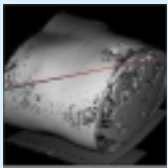


図 12 : 正常例(左肋間走査)



門脈右前枝や下大静脈が描出されている。

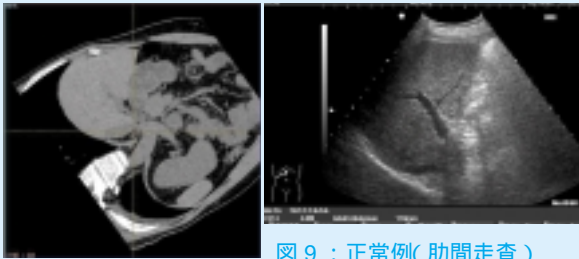
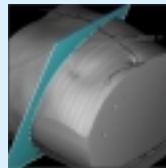


図 9 : 正常例(肋間走査)



CT像で肝左葉に前半部が濃染し後半部がほとんど濃染しない腫瘍を認める。US像では濃染部が低エコー域を示し、濃染のない部位が高エコー域を示している。

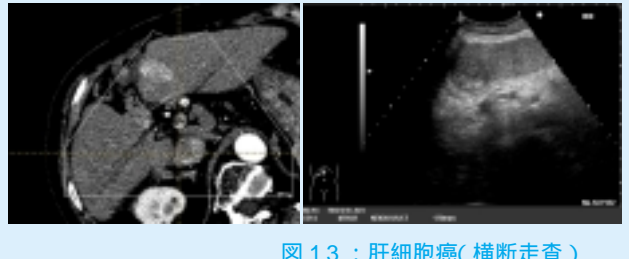
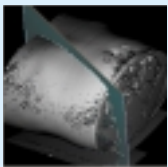


図 13 : 肝細胞癌(横断走査)



胆嚢とその後方の胃前庭部が確認できる。

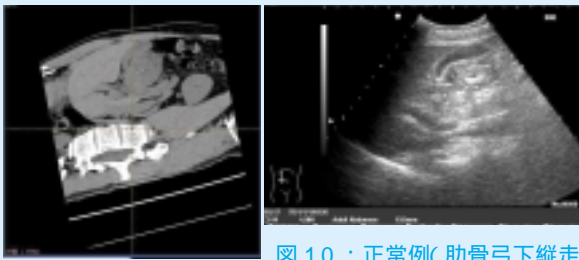
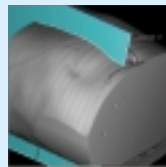


図 10 : 正常例(肋骨弓下縦走査)



2個の腫瘍がみられるが、1個はCTで濃染を示し、USで低エコーを示している。他の1個は図13と同一の腫瘍である。

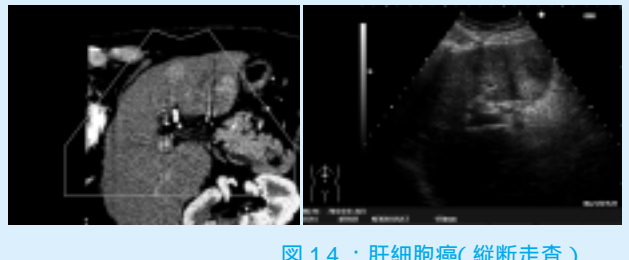
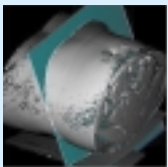


図 14 : 肝細胞癌(縦断走査)



脾および胃・十二指腸・肝円索などが確認できる。

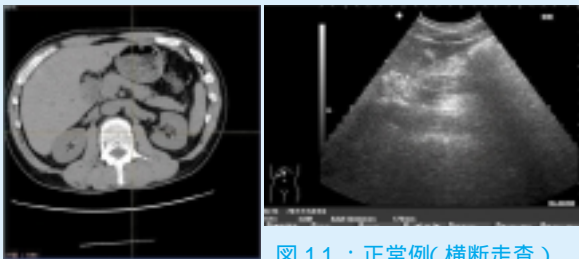


図 11 : 正常例(横断走査)



肝S8に腫瘍を認める。US像では腫瘍の上縁が十分描出できていないが、MPR像をみると腫瘍の上縁やその周囲の状態が良く分かる。



図 15 : 肝細胞癌(肋間走査)

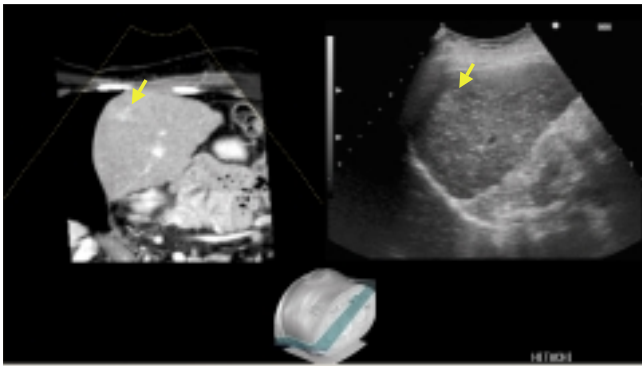


図 16 : 肝細胞癌(肋間走査)

最初の超音波検査では肝硬変による変化が強く、低エコー腫瘍や高エコー腫瘍が肝内に散在してみられ、CTで指摘の病変が確認できなかった。RVSを用いることにより病変部が高エコー腫瘍としてはっきり確認できた。

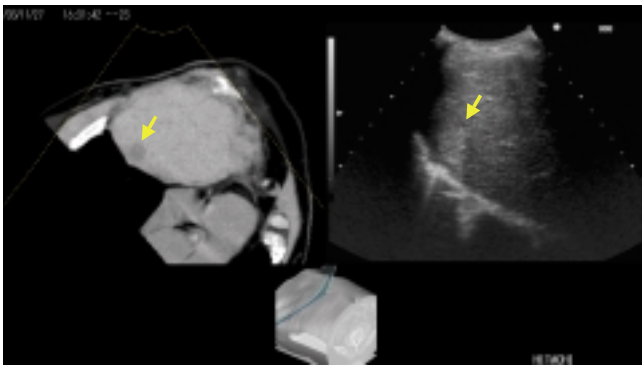


図 17 : 肝細胞癌(肋間走査)

手術、TAE、RFAなどを施行しており、治療後の結節が多数見られることから最初の超音波検査では病変を特定し得なかったが、RVSを用いることにより病変を特定できた。

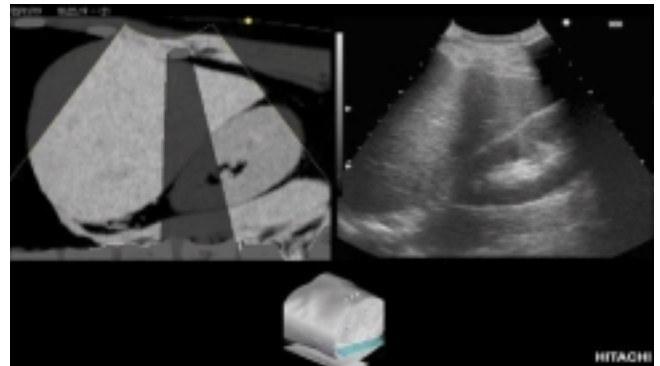


図 18 : 正常例(右肋間縦走査)

MPR像の肋骨後方を暗く表示してある。US像の音響陰影をシミュレートしたものであり、より超音波画像に近く表示したものの。

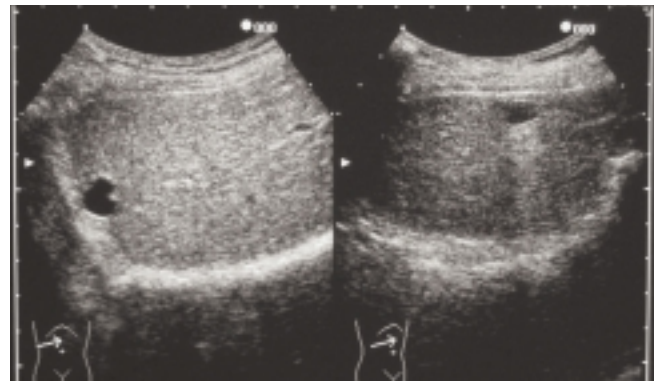


図 19 : 肝嚢胞(肋骨弓下走査)

左は仰臥位、右は左側臥位で観察した。同じ嚢胞がずいぶん違った位置にあるように見える。

7 . Real-time Virtual Sonography の応用と未来

教育的用途から言えば、超音波画像は骨やガスがあるとその深部の情報が得られないわけであるから、これをシミュレーションすることも有用と思われる。骨やガスを想定したカットオフ値を決め、その深部を暗く表示することにより、より超音波画像に近いMPR像を表示することができる(図18)。

RVSはCT撮像時と同等の条件下、すなわち仰臥位・深呼吸ではよく超音波像と一致する断面を表示できる。しかし、超音波検査は検査時に体位変換を組み合わせる検査法である。図19は同じ肝嚢胞の超音波像であるが、仰臥位と左側臥位で見え方が大きく異なる。実際腹部臓器の位置関係は体位変換によってダイナミックに変化する。現行の方法では、左側臥位でUSを施行するのであれば同じ体位でCTを撮像しなければならない。もし、仰臥位で撮像したCTデータから側臥位にしたときの腹部臓器の移動がシミュレートできれば大変に有用であろうと思われる。今後の課題としておきたい。

8 . おわりに

RVSは、断層解剖の理解という教育的用途および肝腫瘍においては描出しづらい病変の同定や多発病変の個々の腫瘍

の同定などに有用な画期的手法であり、今後の発展が期待される。

参考文献

- 1) 金田智 : 研修医のための腹部超音波, 三輪書店, 2001.
- 2) Barbara S Hertzberg, et al : Physician Training Requirements in Sonography, AJR 2000 ; 174 : 1221-1227.
- 3) Oshio K, Shinmoto H : Simulation of US Imaging by Using a 3D CT Data Set, Radiology ; 201 Suppl. : 517 ; 1996.