

〔原 著〕

## パーソナルコンピューターを使用した 超音波 3 次元表示の基礎的研究

細川洋一郎, 松尾 朗\*, 大西 隆, 佐野 友昭,  
福田 恵, 田中 力延, 矢嶋 俊彦\*, 金子 昌幸

北海道医療大学歯学部歯科放射線学講座

\*北海道医療大学歯学部口腔解剖第一講座

(主任: 金子 昌幸教授)

\*(主任: 矢嶋 俊彦教授)

## Three Dimensional ultrasound images by using a personal computer on basically experience

Yoichiro HOSOKAWA, Akira MATSUO\*, Takashi OHNISHI,  
Tomoaki SANO, Megumi FUKUDA, Likinobu TANAKA,  
Toshihiko YAJIMA\* and Masayuki KANEKO

Department of Dental Radiology,

\*Department of 1st Oral Anatomy,  
Health Science University of Hokkaido

(Chief : Prof. Masayuki KANEKO)

\*(Chief : Prof. Toshihiko YAJIMA)

### Abstract

An inexpensive, three-dimensional (3D) ultrasound (US) imaging system was assessed for its ability to produce clinically useful 3D images. The 3D US system consisted of a transducer holder and a personal computer. Normal two-dimensional US images were collected and formed into a 3D image by the computer. The 3D image could be viewed on the computer monitor. The errors due to this method were smaller than the resolution of the ultrasonography in basic tests. Sagittal visualization of a parotid gland and sternocleidomastoid was possible on images of soft tissue but 3D images of temporomandibular joints were not possible.

**Key words :** Ultrasound, Three dimensional image, Temporomandibular joint

## 結 論

超音波診断装置は医療分野において広く普及しており, 軟組織病変の画像診断における第一選択として利用されている<sup>1,2)</sup>。超音波診断の最大の長所は, 無侵襲で簡便にしかもリアルタイムで生体の構造を断層画像としてみられることである<sup>3)</sup>。しかも装置はコンパクトで, 小規模の施設でも十分使用可能である<sup>4)</sup>。しかし, その操作性の簡便さと裏腹に, 画像の撮像自体に術者の主観が入りやすく再現性に乏しいという欠点がある。また, その構造上, 断層面が規定されることが多く, 生体内の自由な断層面が得られるとは限らない。

これらの欠点を改善する一つの方法として, 超音波像の 3 次元化が考えられる。すなわち 3 次元化の過程で画像情報を記録することにより再現性が生じ, さらに目的とする任意の断面の抽出が可能になると思われる。その臨床応用が可能になれば頭頸部領域の疾患, たとえば腫瘍, 嚢胞, 膿瘍および顎関節症の画像診断の一助になると考えられる。以上をふまえ, 今回の研究は, 一般の超音波診断装置を利用し, 簡便に 3 次元画像を可能にする機器の開発を目的に行われた。

## 方 法

### 1. 超音波画像診断装置と 3 次元構成

超音波診断装置は, Echo Camera (21ODX II, アロカ) を使用した。探触子 (プローブ) はリニア電子捜査型, 周波数 5.0MHz のものを使用した。捜査幅 56.0mm, 診断距離 94mm, 距離分解能 1.0mm である。また今回, このプローブを固定するため, 大型ステージを利用した, プローブ平行移動装置を試作した (図 1)。この装置は, 手動ではあるがプローブを水平方向に正確に移動可能である (移動幅 0.5mm)。このプローブ平行移動装置にプローブをクランプで下

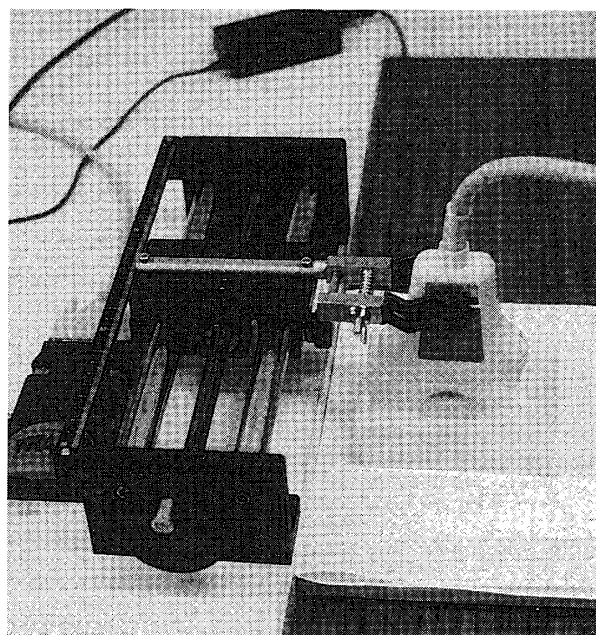


図 1 プローブ平行移動装置

向きに固定後, プローブを地面と平行にかつ画像と垂直な方向に移動しながら B モード表示にて 1mm おきに超音波画像を収録した。まず超音波診断装置の TV モニタ出力を, 静止画像キャプチャー装置 SNAPPY (Play Inc., Rancho Corderve, USA) に入力した。TV 出力は, このキャプチャー装置で 1 画像について 2 または 4 回サンプリングし, 320×240 モノクロ 256 階調のデジタル画像に変換した。デジタル変換された画像は, パラレルケーブルを介してコンピュータに取り込み, TIFF 形式で光磁気ディスクに記録した (図 2)。

3 次元画像は取り込んだ連続超音波画像を, パーソナルコンピュータシステムである Vox Blast (VerTek, Inc., Fairfield, USA) にて 3 次元構築した。取り込んだ超音波像の 1 画素は 1/3 mm であったので, 各入力画像の間に中間像を 2 枚作成させ, 画像上の距離と画像間の距離が 1:1 となるように調整した。

### 2. 画像構成の基礎的検討

3 次元構築を行うにあたり, 基礎的資料を得るため, 歯科用印象剤を使用し画像を検討した。

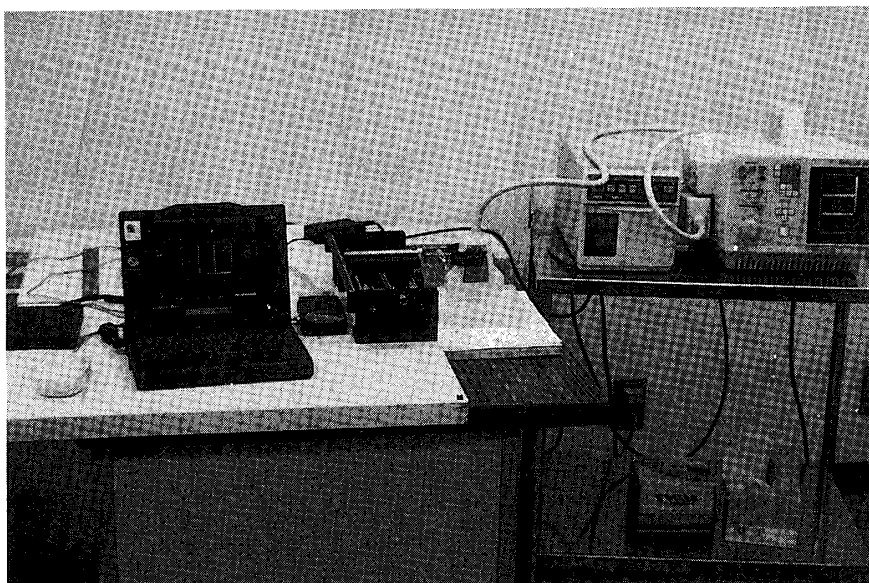


図2 構成された装置の全体像  
右：超音波診断装置，中央：プローブ平行移動装置，左：画像収録用  
パーソナルコンピュータ

印象剤は歯科用アルギン塩印象剤（アルフレックス，三菱化学社製）を使用し，この粉末を標準練和比で混和し，一辺30mmの立方体模型を作成した。この要領で作成された模型を蒸留水に沈め画像情報を収集した。プローブから模型表面までの距離は1cmとし，超音波を模型の垂直方向になるように入射した。それらの画像を上記方法にて3次元表示し，画像上で計測し，模型との実測値を比較した。この画像上の計測は超音波画像に設定されているスケールを利用し，その値を基準に構成画像と比較することで行った。誤差は3次元画像の測定値から30mmを減じた値の絶対値とした。評価したのは縦径（上下径）横径（プローブの長軸方向面）ならびに奥行き径（平行移動方向）の3方向である。また，その他，半円形（直径4.3cm，高さ1.6cm），花形などの模型も印象剤で同様に作成し，視覚的な再現性も評価した。

### 3. 人体における検討

人体に使用するにあたりプローブ平行移動装置をジャッキにとりつけ，垂直方向への移動を可能にした。この改良により上下方向に厚さの

異なる人体における観察を可能にした。被検者として健常ボランティアの耳下腺および胸鎖乳突筋を中心とする頸部軟組織および，顎関節部において観察を行った。撮像準備としてジャッキアップすることによりプローブ平行移動装置のプローブ面を皮膚面に密着させた。この際，エコーゼリーをプローブと皮膚に塗布した。プローブは下方方向に垂直に固定し，プローブの長軸をフランクフルト平面に水平におき，フランクフルト平面に垂直な方向にプローブを水平方向に移動させ，Bモード表示にて1mmおきに超音波画像を収集し，3次元表示を行った。

## 結 果

### 1. 画像構成の基礎的検討

3次元構成して得られた画像の精度を定量的に判断するため，30mmの立方体模型を作成し，画像上で測定誤差を検討した。5回繰り返し測定した結果では，平均誤差は縦径で0.3mm（SD=0.03），横径0.5mm（SD=0.08）であった。また奥行き径の平均誤差はプローブ0.5mm移動で0.4mm（SD=0.05），プローブ1mm移動

で0.5mm (SD=0.07), プローブ2mm移動で0.9mm (SD=0.10)であった。このように本実験法で生じた誤差は, 超音波診断装置自体の分解能以下であった。立法体における視覚的再現性は良好であったが, 下方にいくにしたがいエコーの線維が広がる傾向がみられた。このため,

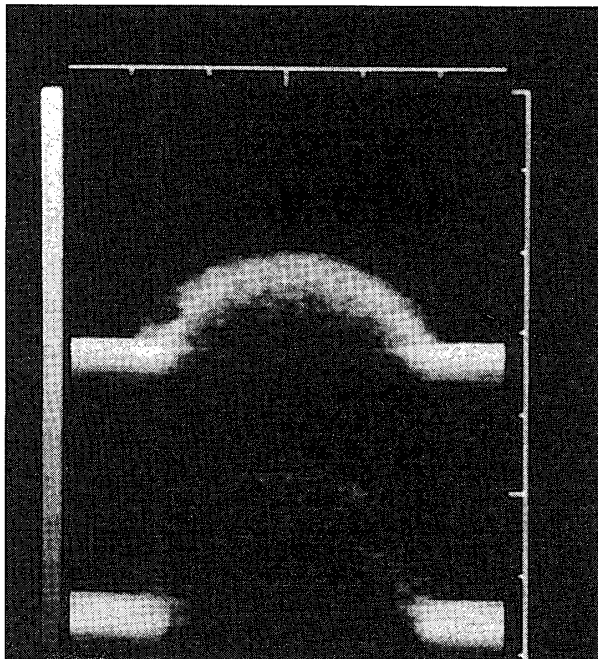


図3 印象剤による半球の超音波画像

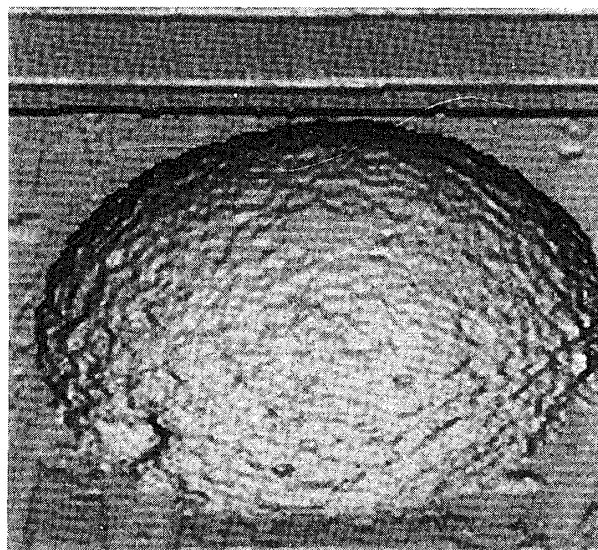


図4 半球の3次元構築画像  
斜位40度からの画像で, 本画像処理では表面の凹凸が強調されている。

最下方における立方体の断層画像を計測すると, 最上方より常に誤差の拡大する傾向があった。半球形の超音波の元画像と3次元構築の例を図3, 図4に示す。半球においては視覚的再現性は比較的良好であったが, 球面が波打つように細かな凹凸が強調される傾向がみられた。花形は図5に示す方向の超音波画像を撮像し3次元構築を行った。花形モデルでは上底の表面が明瞭に描出されたのに対し, 下方ではエコーの減衰, 散乱により像が不明瞭になり, 特に複雑な形状の場所でその傾向は著しかった(図7, 図8)。

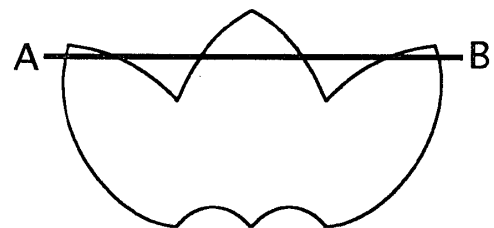


図5 花形の形状およびスキャン方向

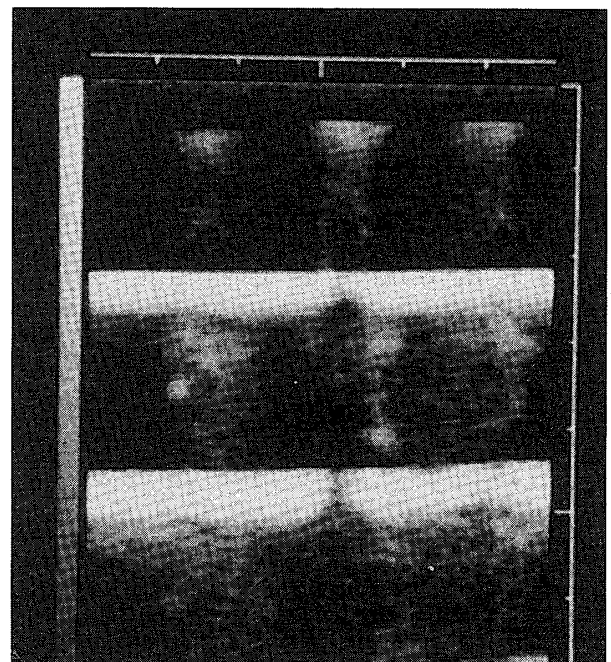


図6 花形の超音波画像  
図5のAB部の断層像を示す。3つの花卉の部分が超音波により表示されている。

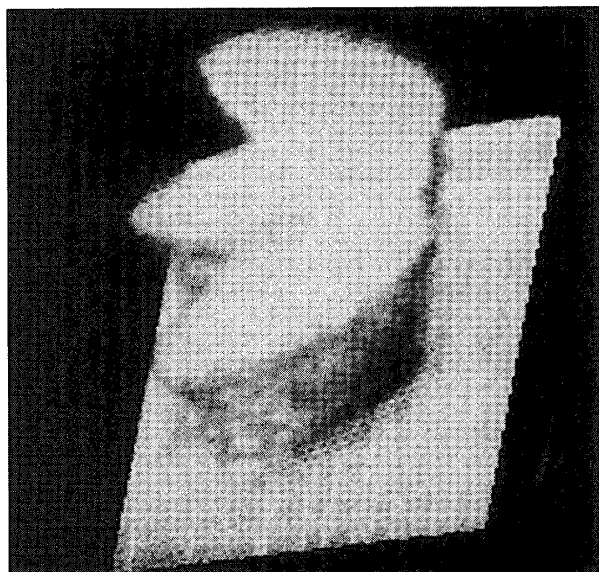


図7 花形の3次元構築像  
上面の描出は良好であった。

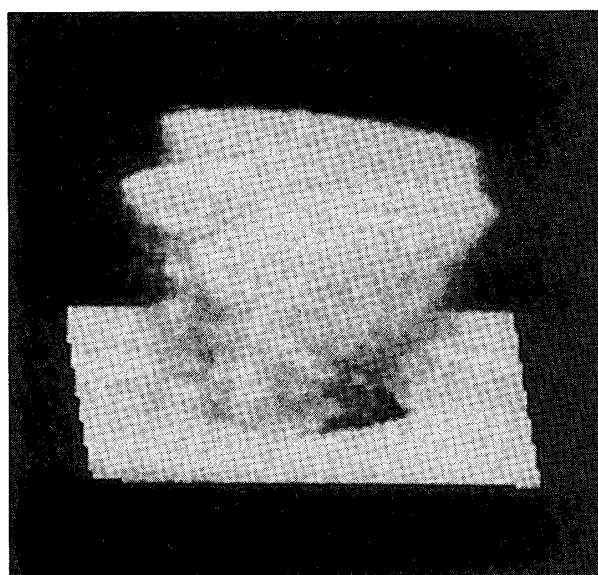


図8 花形の3次元構築像  
下方は超音波の減衰、反射により像の乱れがみられた。

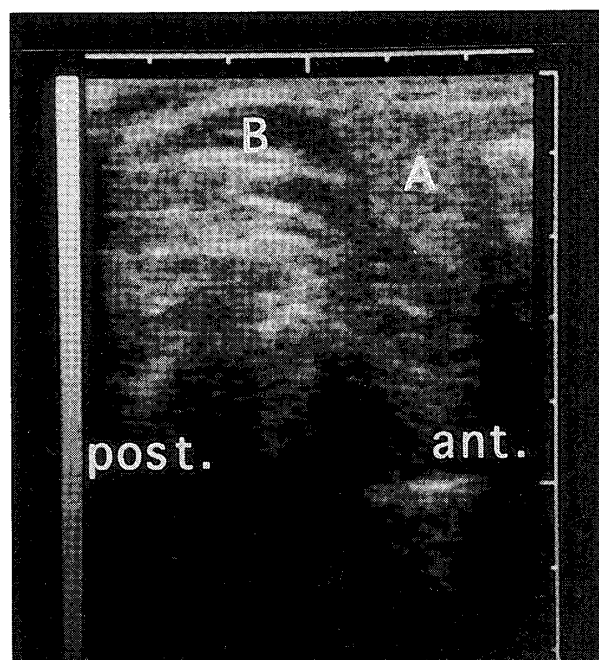


図9 耳下腺付近の超音波像  
Aは耳下腺, Bは胸鎖乳突筋を示す。

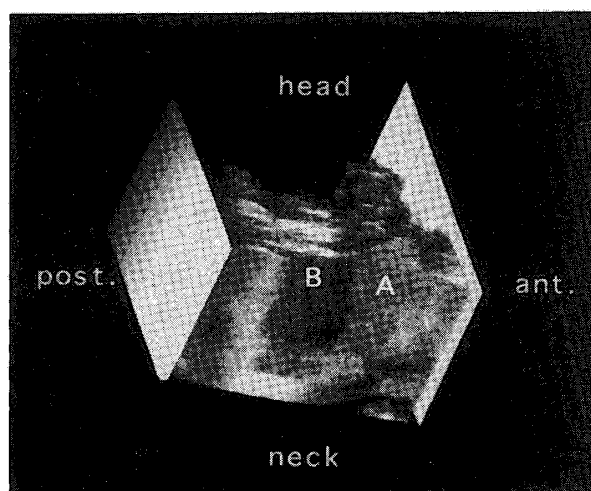


図10 耳下腺部の3次元構築像  
Aは耳下腺, Bは胸鎖乳突筋を示す。矢状断が構築されている。

## 2. 人体における検討

耳下腺および胸鎖乳突筋を含む超音波像を図9に, 3次元構築の画像を図10に示す。耳下腺および胸鎖乳突筋を中心とする頸部軟組織の観察においては, 超音波像はそのコントラストの違いから3次元的な位置の把握は良好であった。図10に耳下腺および胸鎖乳突筋の矢状断を

示す。

顎関節部の観察では, 3次元構成をなす超音波画像に側頭骨外面によるゴーストおよびシャドウが生じ, 関節円板がその内部に埋没する傾向があり, 関節円盤の描出は困難を極めた。今回の検討では, 顎を開閉させ, シャドウの最も減少する位置に, 関節円盤が存在している状態

で画像記録を行った。その後、適切な画像処理を行い関節円板の 3 次元構築を試みたが、関節円盤の描出はできなかった。

## 考 察

超音波診断装置は非侵襲的で軟組織の描出にすぐれ、操作が簡便で、安価であることから、すでに診断の一翼として確固たる地位をすでに確立している。その診断応用は主に 2 次元画像によるものであり、3 次元構築をしたとしても、当然、2 次元画像より優れた点がなければならない。

各診療領域でその有効性は異なるが、頭頸部領域においては、まず、軟組織に発生する腫瘍の大きさまたはリンパ節の大きさの測定に有効であると思われる。たとえば、腫瘍の大きさは治療方針の決定あるいは予後因子として重要であるが、現在の超音波 2 次元画像では限定された断層面の診断にならざるを得ない<sup>5-7)</sup>。また、悪性腫瘍におけるリンパ節転移の診断において、超音波診断の果たす役割は大きい<sup>8)</sup>。その場合、リンパ節の縦横比が重要な因子であるとされるが、その比率の算出場所は術者によって決定されており、客観性に乏しいことが良く指摘される<sup>9)</sup>。そこで、3 次元化してから最大径測定部位を求め、縦横比を測定することにより、診断精度が高まることが期待される。

一方、超音波診断装置は関節円盤の描出が可能でありながら、顎関節症の診断に、広く利用されているとは言えない<sup>10)</sup>。その理由の一つに、顎関節の治療上最も重要な矢状断が超音波像で容易に得られないことがあげられる。たとえば Stefanoff らは超音波により 25 名の顎関節症の患者の関節円盤を検索し、造影所見と比較しているが、超音波像は十分な診断価値を有していなかったと結論している<sup>11)</sup>。そこで 3 次元化後、矢状断を構成すれば顎関節症の診断に有効な画像が得られるはずである。

超音波の 3 次元化はすでに種々の方法が考え出されている<sup>12-15)</sup>。Hell は 3 次元化を達成するための方法として、プローブの運動方向により 4 種類あげている<sup>15)</sup>。それらはプローブを 1) 水平に移動するもの、2) 扇状に展開するもの、3) 円錐形に回転するもの、4) 平行なビームで回転するものである。今回は 1) にあたる水平断をそのまま積み上げていく方式を採用した。すなわち、通常の B モード画像を等間隔で蓄積し、その画像をコンピュータで再構築している<sup>16)</sup>。この方法を採用しても、以前の研究では、プローブをフリーハンドで移動し画像情報の収集を行っているものがあり、画像情報の上下方向および左右方向のずれおよび平面の平行性が保たれないため、十分な 3 次元構成ができなかった。またできたとしても非常に不正確な画像しか再構成できなかった<sup>17)</sup>。今回そのことを改善するため、大型ステージを利用し、プローブ平行移動装置を試作した。

また、今回の研究においては超音波診断装置の TV モニター出力を、静止画像キャプチャー装置でデジタル変換し、その情報をノート型パーソナルコンピュータで保存した。その情報を 3 次元画像構築システムである Vox Blast で構築した。このとき得られた画像は 3 次元構成されるだけでなく、観察方向を自由に变化させること、ならびに任意の断面を得ることが可能であった。また、画像上の種々の条件（コントラスト、黒化度等）を変更することができた。今回の検討では、対象とする物体が最も明瞭に描出される条件下で、計測および画像評価を行った。今回試作したプローブ平行移動装置を利用して得られた模型の 3 次元画像は、視覚的に十分な再現性を持つものであった。基礎的検討において立方体模型で超音波の線錐の広がりによって生じる誤差や、複雑な形状による模型の下方のエコー減衰がみられたが、これは 2 次元画像でも確認されており、超音波像の欠点に



よるものであると推測された。一方、本装置による画像積み上げによる誤差は、1 mm以下の移動による情報収集の場合ほとんど無視できる程度であり、良好であった。しかし、超音波の分解能を超える2 mm間隔で構築した場合、誤差は大きくなり、視覚的な画像評価も低下した。従って、断層幅はプローブの分解能と一致させるのが良いと思われる<sup>18)</sup>。

今回の検討では、人体における3次元画像でも水平断を撮像し、3次元化を行った。軟組織における超音波3次元画像についてはいくつかの報告がある<sup>18,19)</sup>。鈴木らは頸動脈病変の超音波3次元画像を検討し、3次元化により断層像の欠点を補正ならびに容量の定量測定が可能であったと述べている<sup>18)</sup>。本研究においても、エコーレベルが、周囲組織と差の大きいときは軟組織画像における診断は良好であり、胸鎖乳突筋と耳下腺の矢状断が描出された。この結果は、軟組織病変に対しても十分な診断能をもつと推察された。特に病変の境界が明瞭な嚢胞や良性腫瘍でその効果が期待される。しかし、軟組織においてもエコーレベルが、周囲組織と差の少ないときは軟組織画像といえども判別に困難をきたすことがあり、今後画像処理の問題を含めて検討する必要がある。

また、今回目的の一つにしていた顎関節部の3次元構築も行った。しかし、超音波が側頭骨外面および関節頭に反射し、ゴーストやシャドウを生じたため、関節円板の描出は困難だった。Motoyshiらは2次元だが顎関節部を超音波で観察しており、その結果、軟組織の描出は良好だがやはり硬組織の描出は困難であったと述べている<sup>20)</sup>。側頭骨および関節頭と関節円板の位置的関係には個体差があるが、超音波の入射方向を工夫することにより、この問題はある程度減少させることが可能と思われる。また、超音波像のゴーストやシャドウを消去するような、コンピューター上のアルゴリズムの開発も考え

られるところである<sup>21)</sup>。

以上、今回の試作機器は十分な診断性能を備えた3次元構成機とはいえないが、パーソナルコンピューターと組み合わせるだけで使用可能なその経済性、簡便性を考慮すると、頭頸部領域の診断手段として今後も検討の価値を有すると考える。

## 結 論

今回、超音波診断装置を利用し超音波像の3次元化を試みた。その結果、印象剤を使用した基礎実験ならびに人体軟組織における3次元画像は良好であり、軟組織病変に対する臨床応用が可能と思われる。一方、顎関節部の3次元表示は困難であったが、経済性、簡便性を考慮すると、顎関節の観察手段として今後も検討の価値を有すると考えられた。

本研究は平成8年度北海道医療大学特別研究補助金および平成9年度ホクサイテック財団一般研究奨励事業科学研究補助金によって行われた。

## 文 献

1. Sanghvi KP, Merchant RH, Gondhalekar A et al.: Antenatal diagnosis of congenital renal malformations using ultrasound. *J Trop Pediatr* 44: 235-240, 1998.
2. Teh W, Wilson AR: The role of ultrasound in breast cancer screening. A consensus statement by the European Group for Breast Cancer Screening. *Eur J Cancer* 34: 449-450, 1998.
3. Civardi G, Filice C, Caremani M, Giorgio A et al.: Clinical efficacy of ultrasound guided percutaneous drainage of abscesses in patients with leukemia and lymphoma. *Eur J Cancer* 34: 580-583, 1998.
4. 越野 寿: 舌運動機能が咀嚼機能に及ぼす影響. 補綴誌38: 799-810, 1994.
5. Langman AW, Kaplan MJ, Dillon WP, et al.:

- Radiologic assessment of tumor and the carotid artery : correlation of magnetic resonance imaging, ultrasound, and computed tomography with surgical findings. *Head Neck* 11 : 443-449, 1989.
6. Nabriski D, Bendahan J, Shapiro MS, et al. : Sarcoidosis masquerading as a parathyroid adenoma. *Head Neck* 14 : 384-6, 1992.
  7. Sanchez A, Carretto H : Treatment of a nonfunctioning parathyroid cyst with tetracycline injection. *Head Neck* 15 : 263-265, 1993.
  8. Atula TS, Grenman R, Varpula MJ, et al. : Palpation, ultrasound, and ultrasound-guided fine-needle aspiration cytology in the assessment of cervical lymph node status in head and neck cancer patients. *Head Neck* 18 : 545-51, 1996.
  9. Byers RM, El-Naggar AK, Lee YY, et al. : Can we detect or predict the presence of occult nodal metastases in patients with squamous carcinoma of the oral tongue? . *Head Neck* 20 : 138-144, 1998.
  10. Nabeih YB, Speculand B : Ultrasonography as a diagnostic aid in temporomandibular joint dysfunction. *Int J Oral Maxillofac Surg* 20 : 182-186, 1991.
  11. Stefanoff V, Hausamen JE, Berghe P : Ultrasound imaging of the TMJ disc in asymptomatic volunteers. *J Craniomaxillofac Surg* 20 : 337-340, 1992.
  12. Trobaugh JW, Trobaugh DJ, Richard WD : Three-dimensional imaging with stereotactic ultrasonography. *Comput Med Imaging Graph* 17 : 315-323, 1994.
  13. Gustavsson T, Pascher R, Caidahl K : Model based dynamic 3D reconstruction and display of the left ventricle from 2D cross-sectional echocardiograms. *Comput Med Imaging Graph* 18 : 273-278, 1993.
  14. Delcker A, Diener HC : Quantification of atherosclerotic plaques in carotid arteries by three-dimensional ultrasound. *Br J Radiol* 67 : 672-678, 1994.
  15. Hell B : 3D Sonography. *Int J Oral Maxillofac Surg* 24 : 84-89, 1995.
  16. 大木 崇, 福田信男, 田畑智継 : Mモード・断層心エコー. *総合臨床* 43 : 1853-1857, 1994.
  17. 伊藤紘一 : U S 三次元超音波像. *臨放* 41 : 1415-1422, 1996.
  18. 鈴木直樹, 岡村哲夫, 伊藤幹生他 : コンピュータグラフィックスによる頸動脈病変の三次元的診断法の開発. *Jpn J Med Ultrasonics* 14 : 407-418, 1987.
  19. Downey DB, Nicolle DA, Levin-MF et al. : Three-dimensional ultrasound imaging of the eye. *Eye* 10 : 75-81, 1996.
  20. Motoyshi M, Kamijo K, Numata K et al. : Ultrasonic imaging of the temporomandibular joint : a clinical trial for diagnosis of internal derangement. *J Oral Sci* 40 : 89-94, 1998.
  21. Riccabona M, Johnson D, Pretorius DH et al. : Three dimensional ultrasound : display modalities in the fetal spine and thorax. *Eur J Radiol* 22 : 141-145, 1996.