

超音波診断装置 SONIMAGE HS1 : 穿刺針強調機能の開発

The SONIMAGE HS1 Diagnostic Ultrasound System: Development of Simple Needle Visualization

武田 義浩*
Yoshihiro TAKEDA

高木 一也*
Kazuya TAKAGI

川端 章裕*
Akihiro KAWABATA

佐々木 頂之*
Takayuki SASAKI

要旨

超音波診断装置は低侵襲かつ簡便で頻回の観察が可能であることから、近年関心の高まっているモダリティである。コニカミノルタでも初の自社開発装置となるSONIMAGE HS1を2014年7月に上市した。

SONIMAGE HS1は“みえる”、“かんたん”、“つながる”を商品コンセプトとし、「高画質で診断価値の高い画像」、「シンプルな操作性」を「様々なシーンで活用可能なハンドキャリアサイズ」で提供するものである。

SONIMAGE HS1の高性能プローブを活用した広帯域高調波イメージングによる診断価値の高い画像は、整形や麻酔分野で推奨される超音波ガイド下の安全・確実な穿刺施術に貢献することが期待されている。

しかし、生体内に存在する穿刺針は組織との音響特性の違いから超音波画像において視認性が十分でない場合がある。このため、針先端部の確認が難しくなり、患者の不利益につながることもある。このような問題に対し、超音波ビームをステアリングさせることで平行法における穿刺針の視認性を改善する手法が開発されてきた。しかし、穿刺角度が体表面に対し大きな角度となる場合には対応できない課題があり、安全性・確実性において十分ではない。

我々は針先端部で生じる低指向性散乱信号の動きを複数枚の超音波画像から抽出し、強調することで針先端部の位置把握が容易にできることを目的にした穿刺針強調機能Simple Needle Visualization (SNV)を開発し、超音波診断装置SONIMAGE HS1に搭載した。SONIMAGE HS1が提供する高性能プローブを活用した広帯域高調波イメージングとクラス最高レベルの分解能を実現する画像エンジンによって得られる超音波診断画像は、生体組織の描写に優れ、穿刺の安全性・確実性に貢献することが期待されている。

本稿では穿刺針強調機能とそこで使われている技術について紹介する。

Abstract

In the fields of anesthesiology and orthopedics, ultrasound-guided injections are recommended for reasons of safety and reliability. However, because of the differences in acoustic properties of human tissue and needle material, visualizing the needle, especially the needle tip, is very difficult in ultrasound imaging. This is critically important to the welfare of the patient because many procedures require highly accurate needle tip placement.

One response to this problem has been the electronic beam steering technique, which improves visualization of the needle shaft in the in-plane approach. But when the needle is inserted at steep angles, visualization of the needle shaft remains poor and visualization of the needle tip is exceptionally difficult. Safety and reliability issues have thus remained.

This is why Konica Minolta developed the Simple Needle Visualization (SNV) function found in the SONIMAGE HS1 ultrasound system. By extracting the motion of low-directional scattering echo signals caused by the needle tip and enhancing them, the placement of the needle tip is easily and accurately seen in real time. The SONIMAGE HS1 provides superior image quality realized by a high-performance image processing engine, a super-broadband probe, and broadband harmonic imaging. The addition of the SNV function dramatically improves safety and reliability in ultrasound-guided injections.

*ヘルスケアカンパニー 超音波事業推進部

1 はじめに

コニカミノルタは写真フィルムで培った材料技術やX線画像診断分野で蓄積された画像処理技術と、パナソニックヘルスケアの30年以上の歴史を持つ超音波診断装置の技術を融合した超音波診断装置、SONIMAGE HS1 (Fig. 1) を商品化した。



Fig. 1 The SONIMAGE HS1 ultrasound imaging system.

1.1 超音波画像診断装置「SONIMAGE HS1」の概要

1.1.1 クラス最高レベルの分解能

プローブ内部に使われる音響材料を独自開発し音響伝搬ロスの低減と広帯域化を可能にした (Fig. 2)。また、広帯域送受信画像エンジンと画像処理を組合せ、高次高調波を用いた「広帯域ハーモニックイメージング」技術を開発し、コントラスト分解能と空間分解能の高い鮮明な画質を実現した。



Fig. 2 The SONIMAGE HS1 high-sensitivity and ultra-wideband linear probe.

1.1.2 タッチパネルで直感的な操作性を実現

一般的な超音波診断装置には数十個ある操作キーの数を、主要な機能の8つに集約し、その他の機能はタッチパネル上で操作する直感的な使い勝手を実現した (Fig. 3)。使用頻度の高い「フリーズキー」と「ゲイン調整キー」を一番使いやすい位置へ配置し、操作キーの機能割付けやタッチパネルのカスタマイズも可能で、使用者ごとに快適な使い勝手を提供することが可能である。



Fig. 3 The SONIMAGE HS1 control panel. All major functions are controlled with only 8 buttons and a trackball.

1.1.3 Uniteaシリーズとの情報連携

医療用画像オールインワンシステム「Unitea」シリーズ (Fig. 4) と簡単な操作で情報連携する機能を搭載した。それぞれのワークフローに合わせ、複数の連携方法から選択することが可能で、従来は検査前に必要であった患者情報の登録作業をしなくても、検査開始後に「SONIMAGE HS1」側からワンアクションで患者情報を連携することが可能である。

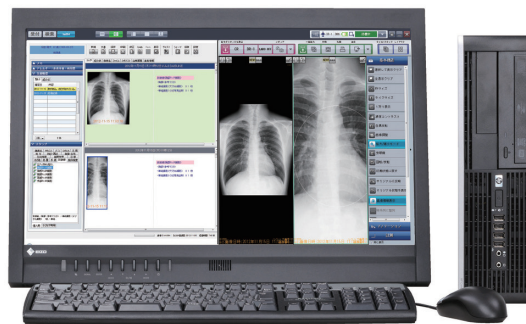


Fig. 4 The Unitea a digital X-ray diagnostic imaging system for clinics.

1.2 超音波ガイド下穿刺

前記の特長を持つSONIMAGE HS1は超音波ガイド下における穿刺において生体の重要組織を明瞭に視認することができ、患者負担を軽減することに貢献している。

超音波ガイド下における穿刺では、施術過程で動脈や神経のような周辺組織に損傷を与えないように、穿刺を行う前にまず穿刺ターゲットとなる組織の確認と同時に周辺組織の位置関係をBモード画像で確認を行う。また、施術中は画像中の穿刺針に注目するがプローブや体動によって穿刺針を見失うことが多く、状況によっては穿刺針を探す操作や、ターゲットや周辺組織との位置関係を再確認するプローブ操作を行いながら手技を行うことも多い。このように施術中は穿刺針の視認性と生体組織の視認性が同時に求められる。

このような課題に対し、Bモード画像を劣化させることなく針先端部の位置を明瞭に確認できる機能として、穿刺針強調機能Simple Needle Visualization (以下、SNVと略す)を開発した。この機能をSONIMAGE HS1に搭載することで、超音波ガイド下において、より正確で安全性の高い穿刺術を可能にする。以降の章ではSNVに使われている技術について説明する。

2 穿刺の手技方式と従来の視認性向上技術

超音波ガイド下で行われる代表的な穿刺手技と従来行われてきた超音波画像における視認性向上技術について説明する。

2.1 穿刺の手技

超音波ガイド下の穿刺において重要なことは針先端部の位置を超音波画像上で確認できることである。超音波ガイド下での代表的な手技に平行法と交差法の二つがある。

平行法は超音波スライス面上で穿刺針を進めていく手技で、施術中に周辺組織との位置関係を把握することができるが、穿刺針をBモード画像上に描出するには習熟が必要である (Fig. 5)。交差法は超音波スライス面に対して交差するように穿刺針を進める手技であり、刺入角度の自由度はあるが針先端部を見失いやすい (Fig. 6)。

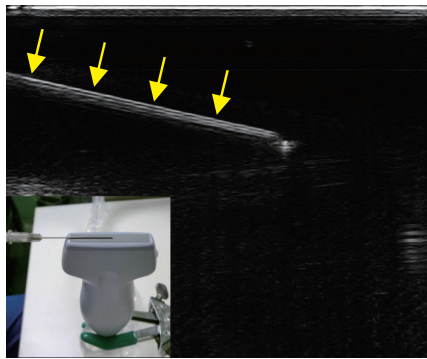


Fig. 5 B-mode image (the image created by converting the echo intensity received by the transducer into brightness) when the needle is viewed in plane. The needle shaft is clearly visible.

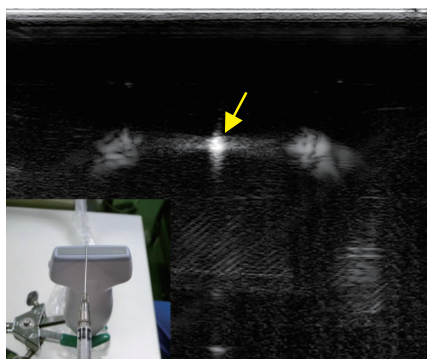


Fig. 6 B-mode image viewing a needle head on (out-of-plane approach). The needle tip is visualized as a blob (see arrow).

2.2 従来の穿刺針視認性向上技術

一部の超音波診断装置においては、平行法における穿刺針の視認性向上機能が組み込まれている。具体的には穿刺針のシャフト部分の鏡面的な反射特性に起因するBモード画像上の穿刺針の不鮮明さ (Fig. 7 (a)) を、穿刺針の角度に直交するように超音波ビームをステアリングさせることにより、プローブに戻る針のエコー信号を増やし、改善する方法が用いられている。

しかし、この方法で改善できるのは平行法において穿刺角度が浅い場合に限られる上、超音波ビームをステアリングさせた場合に生じるBモード画像の画質劣化を招いてしまう場合がある (Fig. 7 (b))。

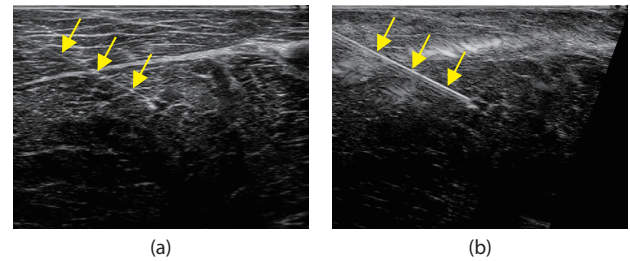


Fig. 7 B-mode images when the puncture angle relative to the body surface is shallow. (a) Normal B-mode image. (b) B-mode image with ultrasound beam steering in which the needle is better visualized, but tissue image quality is degraded.

3 穿刺針強調技術

我々は前述した従来機能の課題に鑑み、体表面に対して大きな角度になる穿刺の視認性向上と、施術中のBモード画像の画質の維持を両立する技術を開発した。

本章では、穿刺針強調機能を実現するための、針先端部の強調技術について解説する。

3.1 強調の原理

3.1.1 平行法

平行法の場合、穿刺針のシャフトからの反射信号は、穿刺針の挿入角度を生体表面に対して直角に近づけると、プローブに戻ってくる信号が減少するため、Bモード画像上での針視認性は低下する (Fig. 8 (a))。一方、針先端部では、低指向性の散乱が生じ、Bモード画像上で針先からの信号として確認することができる (Fig. 8 (b))。SNVではこの針先からの散乱波の動きを強調することで、従来技術では困難であった体表面に対して大きな角度の穿刺にも対応することができる。

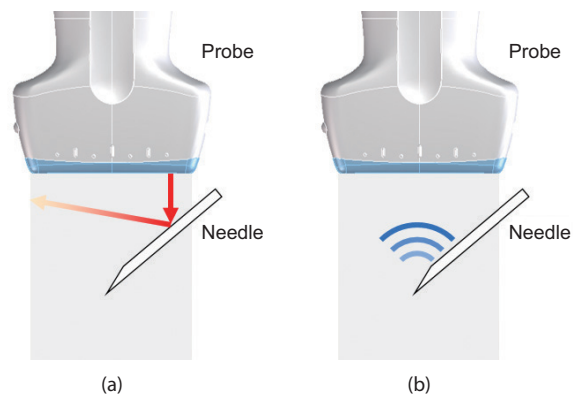


Fig. 8 (a) Reflection echo signals from a needle shaft. (b) Scattered echo signals from a needle tip in the in-plane approach. The ultrasound probe can't capture the reflection echo signals when the needle is steeply inserted. On the other hand, even if needle is steeply inserted, the scattered echo signals can be captured.

3.1.2 交差法

交差法も平行法と同様、穿刺針のシャフトからの反射信号は、穿刺針の挿入角度を生体表面に対して直角に近付くと、プローブに戻る信号が減少する (Fig. 9 (a))。一方、穿刺針の先端部では散乱が生じ、プローブで信号を取得することができる (Fig. 9 (b))。SNVでは穿刺針の先端部が超音波スライス面上を通過する際の散乱信号の動きを強調することで、スライス面を穿刺針が通過する瞬間を明瞭化できる。

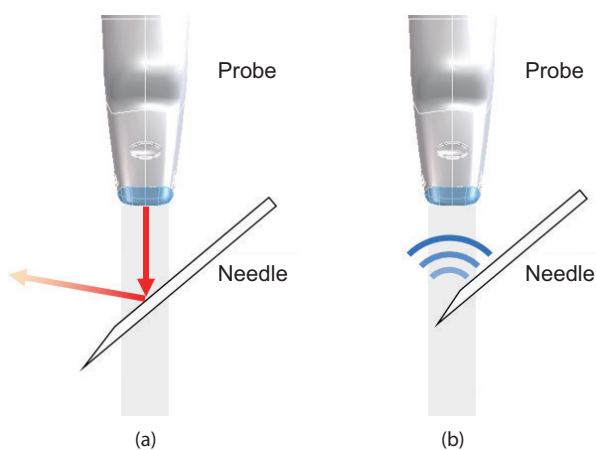


Fig. 9 (a) Reflection echo signals from a needle shaft. (b) Scattered echo signals from a needle tip in the out-of-plane approach. The ultrasound probe can't capture the reflection echo signals when the needle is steeply inserted. On the other hand, even if needle is steeply inserted, the scattered echo signals can be captured.

3.2 穿刺針の動きの抽出と強調マッピング

3.2.1 穿刺針の動きの抽出

術中のBモード画像中には穿刺針の動きだけではなく、生体組織の動きやプローブ操作による動きなどが含まれている。これらの様々な要因の動きの中から針先端部で生じる散乱波の動きを抽出することが必要である。本処理では複数枚のBモード画像群を入力として、段階的に動きを解析し、針先端部の動きを抽出する (Fig. 10)。

1) 動きの検出

まず、第1ステップにおいて、Bモード画像の各画素における輝度値の変動から短時間に発生した動きを検出する。このステップで得られた動きには穿刺針の動きだけではなく、施術中に発生する様々な動きが含まれている。

2) 動きの識別

次の第2ステップで、針先端部の動きを抽出する。一般的に針先端部の動きによって生じるBモード画像の輝度値の変動は継続的な変化を伴い、生体組織やプローブ操作の動きによる輝度値の変動は瞬間的な変化を伴うことが多い。そこで、第1ステップで得られた動きに対して、輝度値の変動傾向から針先端部以外の動きを抑制する処理を行う。

3) 穿刺針の動きの限局性の緩和

一方、第2ステップまでに得られた動きは時空間で限局している。そのため、平行法においてはゆっくりした穿刺速度の場合に強調範囲が小さくなる。また、交差法においては超音波スライス面を通過するのが短時間のため、術者が見逃してしまう場合が想定される。

この課題に対して第3ステップにおいては、時間的に連続する動きを統合することで、前述した限局性を緩和する。これにより、平行法においては穿刺針が直線的に進む軌道を強調することができ、交差法においては超音波スライス面を通過した後も一定期間強調を視認することが可能となり、術者が穿刺針をより視認しやすくなる効果がある。

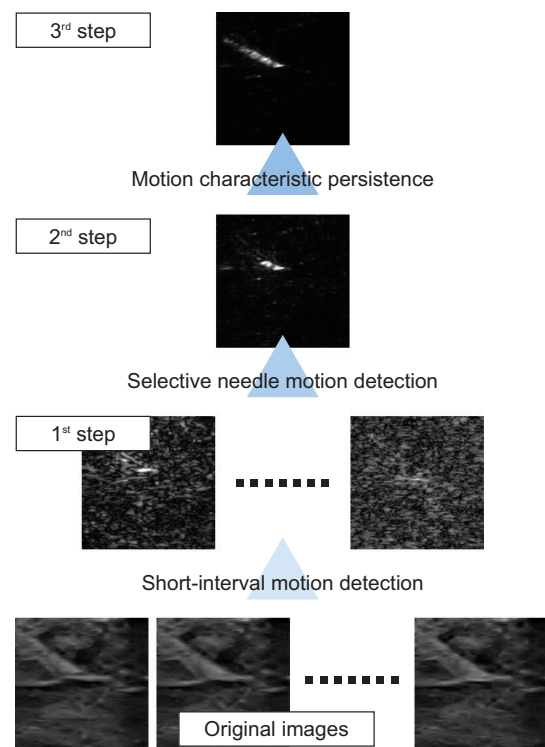


Fig. 10 Flowchart of our hierarchical motion needle tip detection scheme. In the 1st step, short-interval movement is detected in the original images. In the 2nd step, needle tip movement is extracted from the short-interval movement via statistical analysis. Finally, in the 3rd step, spatial and temporal limitations of the detected movement are relaxed through the process of persistence.

3.2.2 強調マッピング

施術中のBモード画像には周辺組織との位置確認のため、高画質な画像が求められる。そのため、表示される強調画像もBモード画像の画質が維持されている必要がある。

そこで動きをBモード画像に強調成分として単純加算する (Fig. 11 (b)) のではなく、動きにBモード画像の輝度値を組み合わせるから、マッピングのようにしている (Fig. 11 (a))。具体的には、針先端部はBモード画像上で微弱ながら輝度値を持っているため、輝度値の低い領域(ノイズ)の強調を抑えるために動きに対してBモー

ド画像の輝度値に相関した抑制処理を加え、表示画像にマッピングする。この処理により、Bモード画像上に表示された組織信号を損なうことなく穿刺針を強調することが可能となり、穿刺針とBモードの画質を両立した画像を提供することができる。

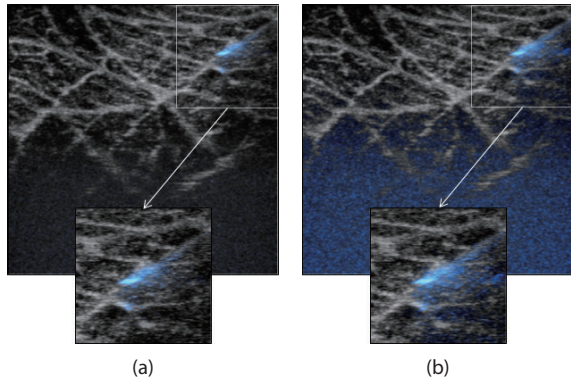


Fig. 11 Needle tip enhanced images mapped (a) with a combination of B-mode image intensity and motion (b) with only motion. Our approach visualizes needle tips and maintains original B-mode image quality.

3.3 スキャン状態の判定

SNVの使用中でも、施術中に穿刺針を見失う状況が想定される。その場合、術者はプローブを動かして生体内の針を探す。このとき、Bモード画像全体に針先端部以外の動きが発生するため、画像にマッピングされた強調成分が視認性を妨げる (Fig. 12 (b))。そのため、ターゲットや周辺組織と針の位置関係が把握できなくなり、期待される穿刺術を行うことが難しくなる。

そこでスキャン状態の判定を行い、術者の求める画像にするために強調の強さを自動調整する処理を組み入れた。具体的には、時系列のBモード画像群から画像全体の動きを評価し、画像全体の動きが大きい場合にはプローブを動かしている状態であると判断して強調を弱くする。これにより、プローブ操作時の画像の視認性を確保することが可能となり、術者がターゲットや周辺組織を随時確認できるようになる (Fig. 12 (a))。

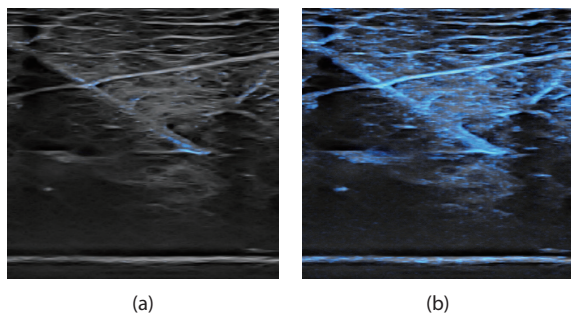


Fig. 12 SNV images during probe scanning (a) with our automatic enhancement gain control using scanning state estimation and (b) without that enhancement. Our approach provides a normal B-mode image by suppressing motion enhancement when scanning with a probe.

4 穿刺針強調結果

前述の穿刺針強調技術が搭載された SONIMAGE HS1 の画像を示す (Fig. 13–14)。Fig. 13 はファントムに対する結果で、Fig. 14 は臨床画像である。Fig. 13–14 が示す通り、平行法ではBモード画像の視認性を維持したまま針先端部を明瞭に視認することができる (Fig. 13 (a)(b), Fig. 14 (a)(b))。また、交差法においても同様に針先端部の位置を容易に視認できることがわかる (Fig. 13 (c)(d), Fig. 14 (c)(d))。

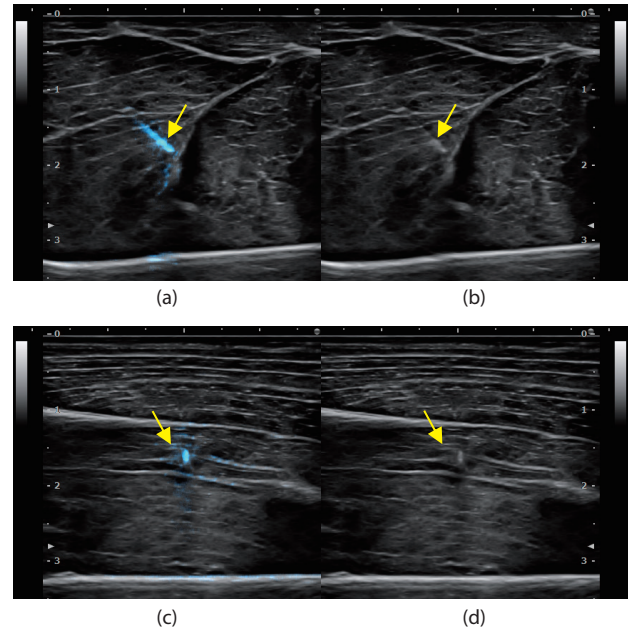


Fig. 13 Phantom images captured by a SONIMAGE HS1. (a) and (c) are SNV images. (b) and (d) are B-mode images. The needle tip signal is enhanced (see arrow).

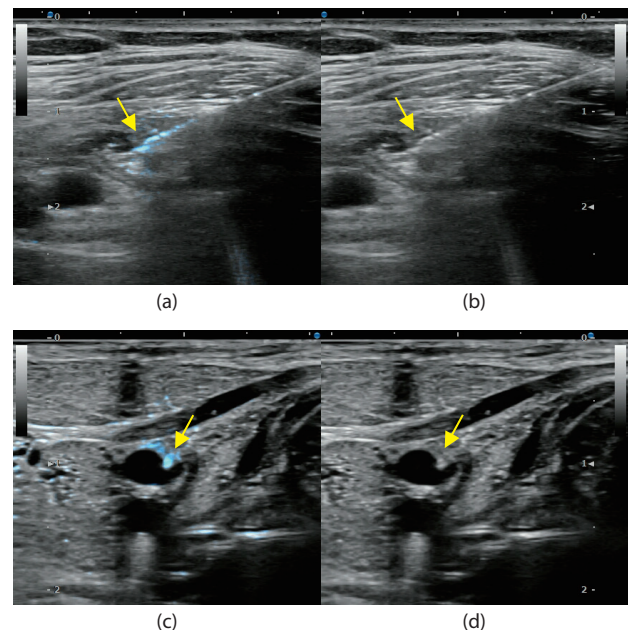


Fig. 14 Clinical image captured by a SONIMAGE HS1. (a) and (c) are SNV images. (b) and (d) are B-mode images. The needle tip signal is enhanced (see arrow).

5 まとめ

超音波ガイド下で行われる穿刺をアシストする穿刺針強調機能SNVを開発した。本機能を用いることで、従来困難であった体表面に対し大きな穿刺角度による平行法のみならず、交差法で画像スライス面を穿刺針が通過する瞬間を明瞭に把握できるため、様々なユースケースに対応することができ、施術精度やワークフローの向上に貢献できると考える。今後は臨床からのフィードバックを元に機能の改善に努めていく。

コニカミノルタが提供するSONIMAGE HS1の魅力を感じていただければ幸いである。

6 謝辞

Fig. 14の臨床画像は東北大学病院の山内先生、大西先生、および旭川医科大学病院の鈴木先生、笹川先生のご厚意によりご提供いただいた。ここに記して感謝の意を表します。