

平成22年6月2日現在

研究種目：基盤研究(C)
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19500418
 研究課題名(和文) 組織動きの周期性解析に基づく超音波エコー動画像のリアルタイム診断支援
 研究課題名(英文) Real-time assistance in medical diagnosis of ultrasonic movies based on pulsatile tissue-motion
 研究代表者
 福澤 理行 (FUKUZAWA MASAYUKI)
 京都工芸繊維大学・工芸科学研究科・准教授
 研究者番号：60293990

研究成果の概要(和文)：

新しい画像処理システムの開発によって、新生児頭部超音波エコー動画像から、動脈血流に伴う組織の周期的な動きを選択的に抽出し、三次元投影表示することに成功した。拍動組織は頭部主要動脈の構造を明瞭に反映し、虚血性疾患の診断に有用であった。本システムは拍動組織をリアルタイムで可視化できるので、超音波診断における「プローブの走査手技」と「組織動きの読影」の支援、特にCTやMRI装置のある検査室への搬送が困難な保育器内新生児に効果的であった。

研究成果の概要(英文)：

By developing a new image-processing system, pulsatile tissue-motion caused by artery pulsation of blood flow has been detected and three-dimensionally (3D) projected from ultrasonic movies of two-dimensional sections in neonatal cranium. The pulsatile tissue clearly represented the 3D structures of several arteries in brain, which is useful for diagnosis of ischemic diseases. Since our system enables us to visualize pulsatile tissues in real time, it is effective for assisting 'probe-handling' as well as 'interpretation of tissue motion' in the ultrasonic diagnosis, especially for abnormal neonates in incubator who have great difficulty to carry them into examining room with CT and MRI apparatus.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：多次元信号計測・画像化

科研費の分科・細目：人間医工学・医用システム

キーワード：(1) 医療・福祉 (2) 画像、文章、音声等認識 (3) 超音波医科学
 (4) 動画像処理 (5) 診断支援システム

1. 研究開始当初の背景

組織形態認識に基づいた計算機支援診断(CAD)は、X線CTやMRIのように、撮影条件の安定した検査室で高精細な断層面を多数撮影し、異常所見を事後的に読影するモダリティを中心に発展してきた。一方、超音波エコー画像は、X線CTやMRIに比べて精細度に劣るので、組織形状認識モデルは不利であった。動画像が容易に得られる超音波の利点を活用するには、医師の事後的な読影を代替するのではなく、撮影の最中に医師の診断を支援するアプローチが有効で、そのキープポイントは「プローブの走査手技」と「組織動きの読影」にある。プローブの走査手技支援には3D超音波の実用化が追い風となっているが、心筋等の高コントラスト組織を除いては、組織の細かな動きをリアルタイムで読影支援する動画像処理手法はほとんど研究されていなかった。

研究代表者らは、新生児集中治療室(NICU)における頭部超音波エコー診断をターゲットに、動画像処理を用いた診断支援手法を研究してきた。これまでに、動脈血流に伴う新生児脳組織の周期的動き(動脈拍動)を選択的に抽出し、その強弱を画像化することに世界で初めて成功した(1995)。研究協力者である小児科専門医との強力な連携の下で、動画像処理システム開発と症例収集を継続し、簡易リアルタイム拍動抽出(1998)、脳室内出血による血流阻害評価(1999, 2002)、仮死出生児の予後評価(2003)、脳室周囲白質軟化症など組織壊死の発症機序診断(1999)、オプティカルフロー解析による拍動強度の定量化(1999)、動脈拍動の三次元立体視(2003)などの業績を積み重ねてきた。

NICUでは絶対安静の原則から検査室への搬送がしばしば困難となるので、拍動抽出画像を用いたリアルタイム診断支援は、連携研究者の小児科医師らが当初からその有用性を指摘していた。研究構想はあったものの、これまでの動画像処理手法やシステムでは、組織動き抽出能力とリアルタイム性との両立が困難であった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、新生児頭部エコー動画像をターゲットとし、動脈血流に伴う組織の周期的な動きを選択的に抽出し、三次元投影表示することによって、超音波診断に特有な「プローブの走査手技」と「組織動きの読影」をリアルタイムに支援する、新しい概念の動画像診断支援手法を実現することにある。

本研究の特色は、異常所見を事後的に検出

するのではなく、撮影の最中に読影を支援するという着想にある。

3. 研究の方法

(1) 超音波エコー動画像リアルタイム診断支援システムの試作：図1のように、新生児頭部超音波診断で撮影されるエコー動画像(二次元断層画像)を、超音波プローブに取り付けた姿勢センサー情報と共にデジタル化し、動脈血流に伴う組織の周期的な動きを選択的に抽出して三次元投影表示するシステムを試作する。



図1. 新生児頭部超音波診断の様子

(2) プローブ姿勢情報付き超音波エコー動画像ライブラリの収集：連携研究者によって、プローブの姿勢情報付きの新生児頭部エコー動画像をビデオテープに撮影しライブラリ化する。本ライブラリは、リアルタイム診断支援システムの試作において動作検証用データとして活用する。

(3) ユーザーインターフェースのNICU向け最適化：医師がプローブを保持すること、新生児が寝返りをうつなどして撮影の中断と再開が頻繁にあることを前提に、調整的要素を極力排して片手操作可能なインターフェースを設計する。

(4) NICUにおけるリアルタイム診断支援性能の評価：ユーザーインターフェースを最適化した試作システムを用いて、NICUにおける診断支援性能を評価する。

4. 研究成果

(1) ベッドサイド診断支援のためのBモード超音波エコー画像中の拍動性組織動きのリアルタイム可視化：リアルタイム動画像処理システム(図2)を新規開発することによって、Bモード超音波画像のビデオストリームから、血流の動脈拍動に伴う拍動組織を連続して可視化した(図3)。本システムは、以下の3プロセスを並列実行する。

① エコー動画像の非圧縮キャプチャ

- ② 心拍周波数成分評価による各ピクセル毎の拍動強度と位相の抽出
- ③ 拍動強度・位相画像とエコー動画像のリアルタイム重畳表示

ストリーミング SIMD 拡張命令を用いた可視化ソフトウェアの最適化によって、拍動位相画像のビデオストリームを 30fps で生成でき、新生児頭部の拍動組織をリアルタイム観察するのに十分であった。ビデオテープからの事後的な可視化と比較して、リアルタイム可視化には、拍動組織のベッドサイド観察を可能にする点と、不要なアーチファクトを避けるためのプローブ操作へのフィードバックを与える点で、明確な利点があり、小児科医師による虚血性疾患のベッドサイド診断に有効であることが確かめられた。

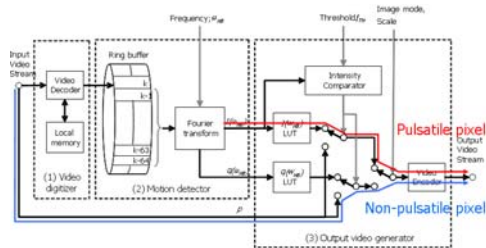
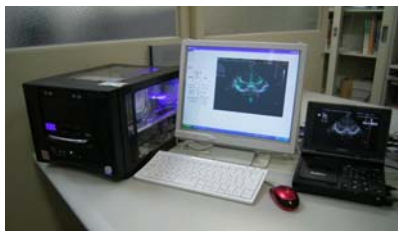


図2 リアルタイム動画像処理システム

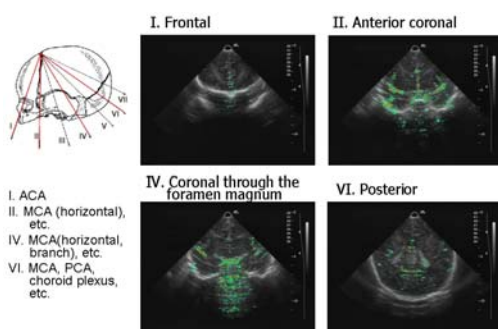


図3 冠状断層面における拍動組織分布の例

(2) 新生児頭部 B モード超音波画像中の組織の周期的動きの三次元観察：新生児頭部の B モード超音波画像中の拍動組織を、三次元空間中に可視化した。超音波動画像は、通常の超音波診断装置と傾斜センサーを付加した超音波プローブを用いて、複数の断層面にお

いて撮影され、(1)で開発した動画像処理システムを用いてプローブの傾斜角と共に非圧縮記録された。記録済み動画像から拍動強度分布を断層面毎に推計し、各断層面のプローブ傾斜角に基づいて、一定強度以上の拍動画素を三次元空間に投影することによって、拍動強度分布を三次元投影画像として作成した(図4)。

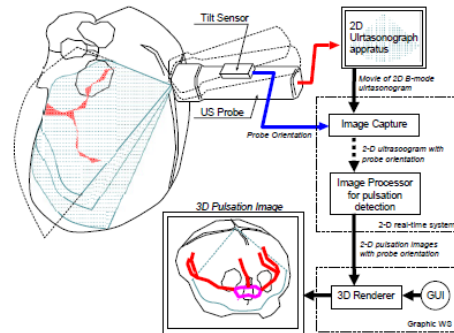


図4 拍動強度の三次元可視化手順

拍動強度の三次元投影画像は、中大脳動脈、側脳室、小脳動脈、後方大脳動脈のような、拍動組織の三次元構造を明瞭に描出した(図5)。一方、元の B モード画像では、拍動組織と非拍動組織を区別することは困難であった。三次元投影画像は記録済み動画像からの事後生成であったものの、これまでの二次元拍動画像にはない「拍動組織の三次元構造」を初めて描出できた点で、小児科医により有用な診断支援情報を提供することができた。

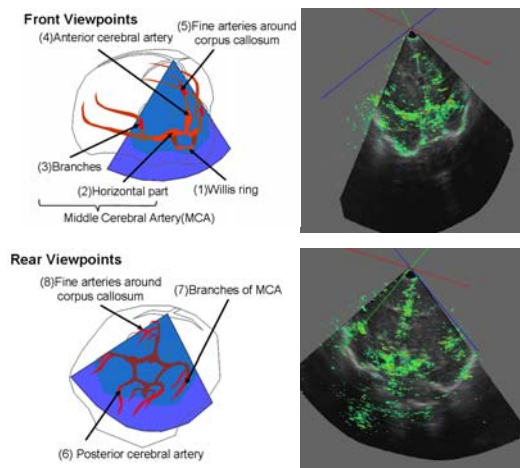


図5 拍動強度の三次元投影画像

(3) 超音波画像からの拍動組織の三次元形状抽出：虚血性疾患の診断特徴の一つである、血流に伴う拍動性組織の三次元形状を、二次元超音波動画像から抽出した。心拍周波数成

分を評価することによって得られた各断面における拍動強度画像を、プローブの傾斜角にしたがって三次元格子空間に投影し、最近接の格子点の拍動強度を決定した。さらに、断面間間の格子点を法線方向に沿って補間し、拍動強度分布の三次元格子点群を得た。拍動組織の三次元形状は、格子中に適切な強度の等値面を決定することによって得られた。新生児頭部において調べた拍動組織の三次元形状(図 6)は、中大脳動脈のような様々な動脈の三次元構造を明瞭に描出した。特に、水頭症児では、拍動分布の左右対称が失われている様子が明瞭に観察でき、正常児に比べ肥大した脳梁によって変化した動脈走行の様子を明瞭に描出できた。

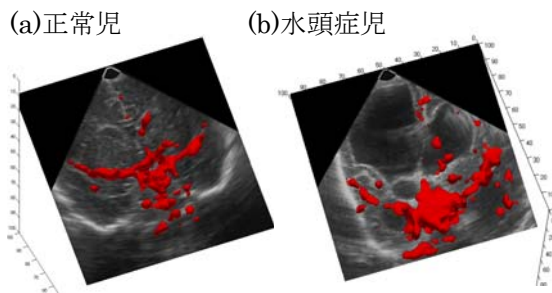


図 6 拍動組織の三次元形状の抽出例

(4) 研究成果の位置づけとインパクト：(1)～(3)によって、新生児頭部超音波エコー動画像から、動脈血流に伴う組織の周期的な動きを選択的に抽出し、三次元投影表示することに成功した。独自の動画像処理システムを用いたリアルタイムでの拍動抽出は、本手法のNICUでの実用可能性を実証すると共に、プローブ走査へのフィードバックによって、手技支援が可能であることを見いだした。さらに、拍動組織を三次元表示することによって、頭部主要動脈およびその周辺組織の血流動態を立体的に把握でき、これまでの二次元拍動抽出画像にはない、新しい診断支援情報を提供できた。これらは、超音波診断における組織動きの診断支援に関する研究成果として位置づけられる(表 1, 太字部分)。特に、NICUにおける新生児診断では、検査室への搬送がしばしば困難となるので、ベッドサイドで使用可能な本手法は、動画像診断支援における研究成果として一定のインパクトを与えたと考えられる。

今後の展望としては、まず、新生児頭部診断においてさらなる症例を積み重ね、本手法の実用化を図りたい。また、本手法は、組織形状ではなく組織動態に基づくので、脳組織以外にも、肝臓など、組織境界が不明瞭で通常の三次元超音波画像が適さない均質組織にも有用と考えられる。組織動態診断手法としての本研究成果を発展させ、他組織や診療

科への応用も推進したい。

表 1. 画像診断モダリティの特徴

モダリティ	CT/MRI	超音波
撮影場所	検査室	ベッドサイド
精細度	○	×
動画像	×	○
撮影断面の決定	機械的等間隔	プローブ走査による探索
読影・診断	事後的	撮影と同時
計算機支援画像診断(CAD)	組織形態	△
	組織動き	×→○ 本研究の成果

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ①. M. Fukuzawa, H. Kawaguchi, M. Yamada, N. Nakamori, Y. Kitsunezuka, Three-dimensional visualization of pulsatile tissue-motion in B-mode ultrasonogram of neonatal cranium, Proc. of SPIE, 査読有, 7526, 2010, 75260X-1-8.
- ②. M. Fukuzawa, H. Kawaguchi, M. Yamada, N. Nakamori, Y. Kitsunezuka, Three-dimensional visualization of pulsatile tissue-motion in B-mode ultrasonogram of neonatal cranium, Proc. of SPIE, 査読有, 7265, 2009, 72651C-1-8.
- ③. M. Fukuzawa, M. Yamada, N. Nakamori, Y. Kitsunezuka, Real-time visualization of pulsatile tissue motion in B-mode ultrasonogram for assistance in bedside diagnosis of ischemic diseases of neonatal cranium, Proc. of SPIE, 査読有, 6920, 2008, 69200S-1-8

[学会発表] (計 8 件)

- ①. M. Fukuzawa, Three-dimensional visualization of pulsatile tissue-motion in B-mode ultrasonogram of neonatal cranium, SPIE-IS&T Electronic Imaging 2010, 2010年1月19日, San Jose Convention Center, San Jose, USA
- ②. 狐塚善樹, 新生児頭部エコー動画像の動脈拍動解析: 投影に基づく拍動分布の3-D可視化, 第54回日本未熟児新生児学

会学術集会, 2009年11月30日, パシフィック横浜

- ③. M. Fukuzawa, Three-dimensional visualization of pulsatile tissue-motion in B-mode ultrasonogram of neonatal cranium, SPIE Medical Imaging 2009, 2009年2月9日, Lake Buena Vista, Florida, USA
- ④. 狐塚善樹, 新生児頭部エコー動画の動脈拍動位相解析: 拍動のリアルタイム可視化, 第53回日本未熟児新生児学会学術集会, 2008年10月10日, 札幌コンベンションセンター
- ⑤. 川口光, 新生児頭部エコー組織動きのリアルタイム可視化システム, 医用画像情報学会第152回大会, 2008年10月4日, 広島国際大学 国際教育センター
- ⑥. M. Fukuzawa, Real-time visualization of pulsatile tissue-motion in B-mode ultrasonogram for assistance in bedside diagnosis of ischemic diseases of neonatal cranium, SPIE Medical Imaging 2008, 2008年2月17日, San Diego, CA, USA
- ⑦. 狐塚善樹, 新生児頭部エコー動画の動脈拍動位相解析: Bモードからの拍動位相画像, 第52回日本未熟児新生児学会学術集会, 2007年11月24日, サンポート高松
- ⑧. 川口光, 新生児頭部エコー動画からの組織動きの位相解析, 医用画像情報学会第149回大会, 2007年10月6日, 九州大学医学系キャンパス

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福澤 理行 (FUKUZAWA MASAYUKI)
京都工芸繊維大学・工芸科学研究科・
准教授
研究者番号: 60293990

(2) 研究分担者

山田 正良 (YAMADA MASAYOSHI)
京都工芸繊維大学・工芸科学研究科・教授
研究者番号: 70029320
(H20: 連携研究者)

(3) 連携研究者

狐塚 善樹 (KITSUNEZUKA YOSHIKI)
済生会兵庫県病院・小児科・副院長
研究者番号: