

研究種目：基礎研究（C）

研究期間：2007～2008

課題番号：19500417

研究課題名（和文） 超音波エコー反転検出による低侵襲治療モニタ法の開発

研究課題名（英文） DEVELOPMENT OF A METHOD TO MONITOR LESS-INVASIVE TREATMENT BY DETECTING THE SIGN OF ULTRASONIC ECHOS

研究代表者

梅村 晋一郎（UMEMURA SHINICHIRO）

東北大学・大学院医工学研究科・教授

研究者番号：20402787

研究成果の概要：新規考案した超音波エコー符号付け方法のアルゴリズムを見直し、高い距離分解能を維持したエコー像を実現可能とした。開発した方法を用いて、ヒト頸動脈のイメージングを行った。健常者の頸動脈壁が、血液を基準として一様なエコー符号を示すことが確かめられたのに対し、プラークの存在が疑われる被検者の頸動脈壁については、エコー符号が一様ではなかった。このことは、本研究の方法が、音響インピーダンスを反映した符号をもつ超音波エコー法として信頼し得るものであることを示唆すると同時に、頸動脈内壁の健康状態を早期診断する手法としての可能性を示している。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2008年度	1,690,000	300,000	1,990,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,890,000	960,000	4,850,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・医用システム

キーワード：超音波医科学

1. 研究開始当初の背景

高齢化の進む先進国では、患者の苦痛を抑え予後の QOL を高める低侵襲治療が、大きな社会的ニーズとなってきている。我が国における肝臓癌のラジオ波治療の急速な普及は、この良い例である。このような低侵襲治療においては、Open Surgery とは異なり術者が患部を肉眼により直視することはないので、X線・超音波・MRI などによる体外からのイメージングが、病的組織の鑑別・治療計画・治療部位の位置決めや監視・治療効果判定のために必須である。超音波イメージングは、実時間性・利便性・経済性等の点で、

このような治療中イメージングに最も適した潜在能力をもつが、その現状は、次のような、原理的問題点を抱えている。

- 1) 治療対象組織が沸点に到達する前に温度上昇を検出できる感度が低い。
 - 2) 一旦、治療対象組織が沸点を超えると気泡のために周辺を含めて観察困難になる。
 - 3) 外力による変形によらない限り、治療対象組織の凝固を判定する感度が低い。
- 1)については、MRI 装置による温度上昇のマッピングが、集束超音波による加熱凝固装置との組み合わせで、一部で実用化されているが、超音波イメージング装置と比較して極

めて高価で設置場所も選ぶMRI装置による方法が、広く国民の医療福祉に貢献し得るとは考えがたい。一方、3)に関しては、凝固域を超音波イメージングにより判別する方法としては、外力により生体組織を変形させ、その変形の大きさから生体組織の硬さを見積もる超音波 elastography が実用化されているが、この方法には、外力を伝えやすい領域に適用に限られるという難点がある。

超音波が生体組織中の音響インピーダンスの不連続点または面により反射されて生ずる超音波エコーについて、奥に続く媒質が手前にくらべ柔らかい不連続であれば、超音波エコーは送信超音波パルスを反転させた波形となり、硬い不連続であれば、反転させない波形となる。すなわち、超音波エコー波形について、反転・非反転を区別して検出できれば、奥に続く媒質が手前にくらべ硬いか柔らかいかを判別できることになり、これを利用して病的組織の鑑別・治療計画・治療部位の位置決めや監視・治療効果判定が可能となると期待される。

2. 研究の目的

本研究の目的は、新規考案した超音波エコー符号付け方法に原理的な見直しを加えながら、これを上記のような医療目的に役立ち得るべく開発することにある。

3. 研究の方法

まず、新規考案した超音波エコー符号付け方法に原理的な見直しを加えた。図1のように、中心周波数比2:3の送信波形のそれぞれを用いて2回の送受信を行い、前者の送信波形により得られた受信波形を3乗、後者の送信波形により得られた受信波形を2乗して中心周波数の等しい受信波形を得た上で、両者間で位相敏感検波を行う。2乗した受信エコー波形は常に正の符号をもつに対し、3乗した受信エコー波形は元々の受信エコーの符号を保存しているため、両者の間の

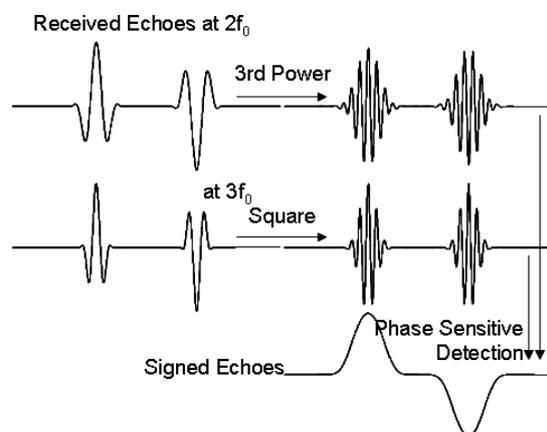


図1. 中心周波数比2:3の送信波形を用い

る超音波エコー符号付け法

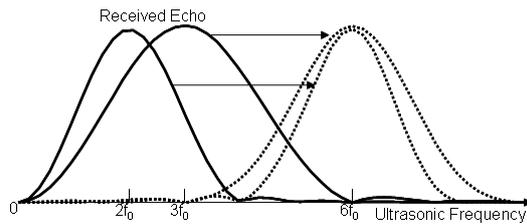


図2. 中心周波数比2:3の送信波形を用いる超音波エコー符号付け法における帯域

位相敏感検波結果は、元々の受信エコーの符号を反映するという原理である。本研究開始当初に提案していた中心周波数比1:2の送信波形を用いる方法に比べ、図2に示すように、一定の送受信系帯域幅において、高い距離分解能を維持しやすいのが特長である。

この原理に基づいて、第1段階として、ヒト頸動脈を対象に符号付エコーイメージングを行った。健康な頸動脈は、方位方向の変化が少ないため、フォーカシングの影響を受けることがすくなく、本研究の原理を検証するのに適していると考えられるので、対象として選んだ。

送信波形の変更が可能な超音波診断装置(日立 EUB-8500)を用い、装置よりビーム形成後データを引き出し、コンピュータ上のオフライン処理により上記の処理を行った。

4. 研究成果

方位方向の変化が少ない対象に対して、平面波を送信することにより生ずる平面波状エコーをもとに信号処理した場合、本研究のアルゴリズムにより超音波エコーの符号付けが可能であることは、ほぼ明らかである。ところが、臨床に用いられている超音波診断装置では、画像を形成するのに必要な方位分解能を得るため、フォーカスした送信および受信を行うのが定石となっている。エコー信号がフォーカス処理を受けると、周波数によって異なる位相回転を生ずるので、位相敏感検波を用いて符号付けを行おうという本研究のアルゴリズムにとって、極めて厄介な問題を生ずる。そこで、実験の第1段階としては、方位方向の変化が少ない健康な頸動脈壁を対象に選び、平面波に近い送受信条件、すなわち大きなFナンバーの送受信により意図的に方位分解能を落としたイメージングを行った。

その結果を図3に示す。上段には通常のBモード像、下段に符号付エコー像を表示した。赤が正、青が負の符号をもつエコーである。頸動脈後壁が一様なエコー符号を示していることが見てとれる。これは、本研究開始前に予備実験として行った水中の亚克力板の結果と同様、本研究にて提案している超音

波エコー符号付けアルゴリズムが、音響インピーダンスを反映した符号をもつ超音波エコーイメージングの方法として信頼し得ることを示唆している。

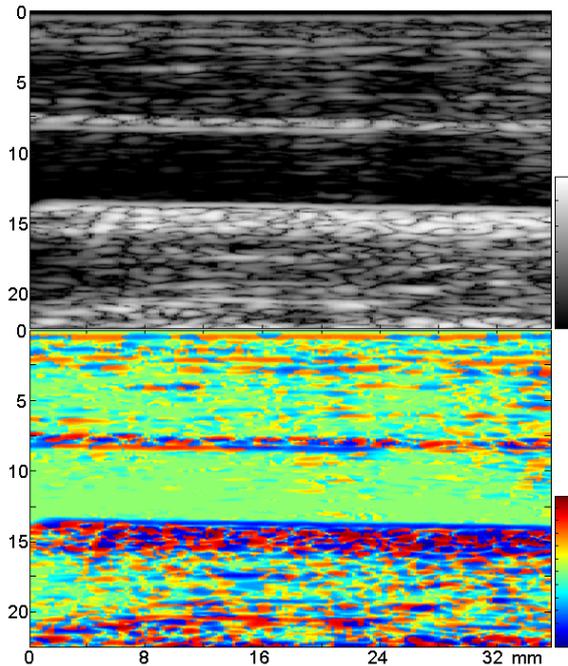


図3. 健常な頸動脈壁の符号付エコー像（低方位分解能像）

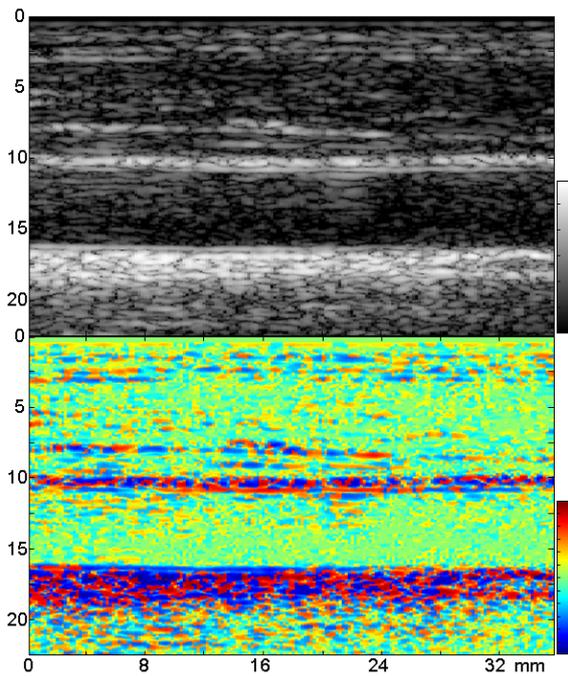


図4. 健常な頸動脈壁の符号付エコー像（中方位分解能像）

次に、本研究の方法の医学的有用性を検討するため、方位分解能を中程度に設定し、健常な頸動脈壁の符号付エコー像（図4）と、プラークを有する頸動脈壁の符号付エコー

像（図5）とを比較した。健常な頸動脈壁は、少なくとも部分的には一様なエコー符号を示したのに対し、プラークを有する頸動脈壁では、エコー符号の一様性が明らかに低かった。

頸動脈壁プラークの診断においては、プラークが硬いか柔らかいかが、プラークが安定的であるか不安定的であるかに対応し、治療方針を大きく分ける。従って、本研究の超音波エコーの符号により、硬いプラークであるか、柔らかいプラークであるかを峻別できれば、その臨床的意義はきわめて大きい。しかし、図5の結果は、その可能性があることは示すものの、真の有用性を判定するには不十分であり、今後、さらなる検討を要することが明らかである。

さらに、低侵襲治療における治療部位の監視方法・治療効果判定方法として、本研究の方法のもつ可能性について述べる。低侵襲治療における治療部位の形状は、健常な頸動脈壁のように方位方向の変化が少ない形状とは限らず、球形に近い形状であったり、逆に超音波伝播方向に細長い形状であったりするので、その正しいエコー符号付けには、送受信フォーカスの影響について、より正確な補正が必要となる。従って、この応用における真の有用性を判定するにも、今後、さらなる検討を要する。

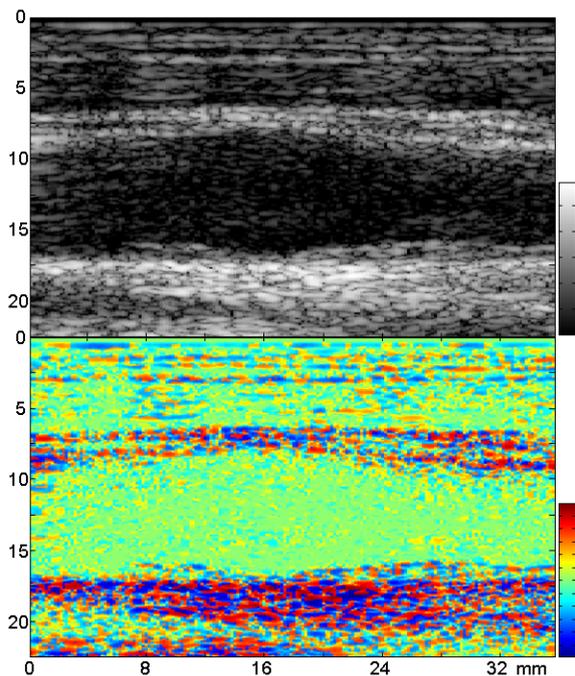


図5. プラークを有する頸動脈壁の符号付エコー像（中方位分解能像）

以上をまとめると、以下の通りである。

- 1) 本研究の方法が、音響インピーダンスを反映した符号をもつ超音波エコー法として信頼し得るものであることを示唆する

- 2) 頰動脈内壁の健康状態を早期診断する手法としての可能性が示されたが、真の有用性を判定するには更なる検討を要する。
- 3) 低侵襲治療における治療部位の監視方法・治療効果判定方法として、本研究の方法のもつ可能性については、送受信フォーカスの影響について、より正確な補正を加えるために検討が必要である。

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 2 件)

- ① S. Umemura et al., “Signed Echo Imaging of Carotid Arteries”, Proc. 2008 IEEE International Ultrasonics Symposium, pp. 17–20, (2008). (査読無し)
- ② S. Umemura et al., “Signed Echo Imaging with High Axial Resolution”, Proc. 2007 IEEE International Ultrasonics Symposium, pp. 1760–1763, (2007). (査読無し)

[学会発表] (計 2 件)

- ① S. Umemura et al., “Signed Echo Imaging of Carotid Arteries”, 2008 IEEE International Ultrasonics Symposium, Beijing (China), November 3, 2008.
- ② S. Umemura, et al., “Signed Echo Imaging with High Axial Resolution”, 2007 IEEE

International Ultrasonics Symposium,
New York (U. S. A.), October 30, 2007.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

[その他]

特になし。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

梅村 晋一郎 (UMEMURA SHINICHIRO)
東北大学・大学院医工学研究科・教授
研究者番号：2 0 4 0 2 7 8 7

(2) 研究分担者

藤田 正俊 (FUJITA MASATOSHI)
京都大学・大学院医学研究科・教授
研究者番号：5 0 1 9 0 0 4 6

(3) 連携研究者

佐々木 一昭 (SASAKI KAZUAKI)
東京農工大学・共生科学技術研究院・准教授
研究者番号：1 0 4 2 1 9 3 4
東 隆 (AZUMA TAKASHI)
日立製作所・中央研究所・研究員
研究者番号：9 0 4 2 1 9 3 2