

研究概要報告書

(/)

研究題目	腹部組織音速の超音波トモグラフィ映像法	報告書作成者	山田 晃
研究従事者	山田 晃		
研究目的	<p>来るべき高齢化福祉社会の到来に備え、治療から予防のための医療への転換が叫ばれており、現在、大病院においてのみ利用可能な X 線 CT に代表される画像診断装置が、クリニック、健康クラブ、一般家庭等で利用できることが望まれる。そのためには持ち運び可能で、安全、安価かつ取り扱いが簡易な超音波を用いた画像診断装置に、その役割が期待される。以上の要求に答えるために、本研究では、従来のパルスエコー超音波診断装置に代わって、百 kHz 帯の低周波領域の多方向透過型観測に基づいた、超音波トモグラフィ映像法(超音波断層映像法)を適用する。本手法は、媒質周囲の多数の場所で音波を送受信し、その伝搬時間の測定データから、断面内の物理量分布(音速や体積弾性率)を遠隔・非侵襲的に映像化する手段であり、医療分野を中心に応用が期待される。具体的には、人体の脂肪組織の音速は他の蛋白質組織に比べて音速が 100m/s 程度以上遅いことが知られており、この性質を利用することにより、腹部断面の音速再構成映像から内臓脂肪面積測定が可能になる。折りしも、生活習慣病の予防対策としてメタボリック診断が健康診断に導入されるようになり、家庭や診療所レベルで使用できる、安全、安価な内臓肥満診断装置の実現が期待されている。本研究はこうした要求に答えることとのできる内臓脂肪測定法を実現することを目的とする。</p>		

研究概要報告書

(/)

研究内容	<p>通常の反射型パルスエコー観測に基づいた B モード超音波映像法は、体内の物理的な情報を画像化することができない。これに対して、本トモグラフィ映像法は、体表周囲の多方向において透過型観測を行い、その伝搬時間差データをもとに体内の音速分布映像を再現する。本手法は、音速物理量に関する定量的な映像が再現できることに大きな特徴であり、これにより例えば、脂肪領域が他の軟組織に比べて100 m/s 程度音速が遅いことを利用して、解剖学的所見に頼ることなく、再現画像の音速値から脂肪領域を抽出することが可能になる。本手法を実現するに当たっての問題点とその対応策は以下のようになる。その第一は、強散乱体である脊髄が他の軟組織と異なり映像化の障害となるため、本研究では脊髄を避けた観測データを基にトモグラフィ画像計算を行なう。第二は、腹部体表上の長距離の音波の送受信を可能にするためには、音波減衰の影響を避ける必要があり、そのために従来の MHz 帯に代わって百 kHz 帯の低周波音波を利用する。第三は、データの観測時間を短縮し、しかも安価な装置として実現するためには、できるだけ少ない数の送受信経路データをもとに画像再現を行う必要がある。この問題に対処するために、本研究申請者が考案した経路平滑化 ART 法(代数的画像再構成法)を導入した。これにより、数十～数百オーダーの少ない経路の音波の送受信伝搬時間差データをもとに、腹部音速映像を精度よく再現できるようにした。再現された腹部音速映像から、脂肪領域とその他の領域を選別した上で、脂肪面積の抽出精度について評価試験を行い、内臓脂肪診断への適用可能性を検証した。</p>
------	--

研究概要報告書

(/)

<p>研究のポイント</p>	<p>本研究における直線経路伝搬モデルを前提にしたトモグラフィ計算の技術的困難点の第一は、強散乱体である脊髄が映像化の障害になることである。この問題に対して、参照波に対するひずみが一定以上に大きい受信波は、脊髄の通過その他の原因で直線経路伝搬モデルを満足しないと判断して、画像計算のデータから取り除くこととした。第二は、通常の MHz 帯では音波減衰が大きく腹部体表間の音波の送受信が困難であるため、百 kHz 帯の低周波超音波を用いた。第三は、データの観測時間を短縮し、しかも装置を安価に実現するために、少数の送受信経路データをもとに画像再現を行った。このような不完全なデータから画像を再現する方法として、経路平滑化 ART 法(代数的画像再構成法)を考案し本問題に適用した。</p>
<p>研究結果</p>	<p>数百 KHz 帯低周波透過型超音波を用いた人体腹部断面の音速トモグラフィ映像法を提示し、その再現された音速情報をもとにメタボリック診断への応用に向けた内臓脂肪面積測定の評価試験を行った。特に、直進伝搬モデルを基本とする経路平滑化 ART 法の導入により、短時間測定が可能で、なおかつ簡易な装置で実現が可能な腹部断面トモグラフィ映像法を提示した。検討の結果、直径 400mm の円周上の等角度 32 地点の場所を、対向送受信器対を回転走査させることで、脊髄を通る経路を除いた 100 経路程度の少ない伝搬時間の観測データをもとに、目的を満足する程度に精度のよい内臓脂肪面積測定が実現できる結果を示すことができた。また、波動モデルに基づいたシミュレーション評価試験並びに、被験者に対する腹部断面映像の評価実験を行った。その結果、解像度性能は多少犠牲にするものの脂肪面積の推定精度については満足いく精度が実現できることが確認された。これにより本手法のメタボリックシンドローム診断への応用の有効性が明らかになった。</p>
<p>今後の課題</p>	<p>今後更に、以下の点についての改良並びに評価試験を行い、本提案の内臓脂肪測定法の実用化を図っていく必要がある。</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 現行の評価試験装置は一組の送受信器対を機械走査しているため、データ取得に多少時間を要している。今後は、送受信回転走査機構の電動化やアレイ送受信器構成装置の導入により測定時間を短縮することにより、円滑な臨床試験を可能にする。 (2) 皮下と内臓の脂肪面積を分離測定するために、再構成された筋肉領域境界を目安に皮下/内臓境界を推定しているが、現在は欠落境界を補う処理の一部を人間の操作で行っている。今後は解剖学的情報を元にした自動抽出処理を取り入れる必要がある。 (3) 肥満タイプや体の大きさの異なる数多くの被験者を対象に臨床評価試験を行う。また、腸内ガスの影響などこれまで実証的検討が不十分な点について検討を加え、提案法の医学的有効性を今まで以上に強固なものにしていく必要がある。

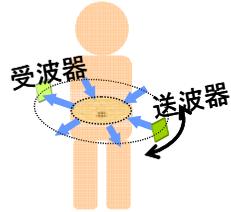


図1 腹部周囲に配置した送受信器をを回転することにより、多方向からの音波の透過型観測を行う様子を示してある。

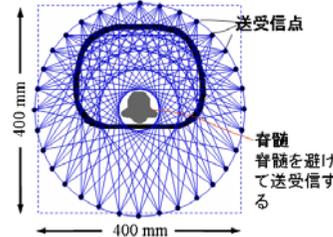
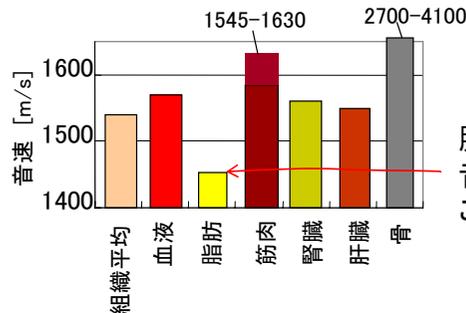


図2 腹部周囲における82経路の音波の送受信経路を示してある。経路平滑化ART法を用いることにより、少ない経路データから画像再現を可能にしている。また、脊椎を画像中心に設定して脊椎を通過するデータを回避したことによる情報損失を最小に抑えている。



脂肪領域の音速が遅いことに着目

図3 体内の音速値を示してあり、脂肪領域は他の軟組織に比べて、100m/s程度音速が遅いことが分かる。再現された音速映像から脂肪領域の推定が可能になる。

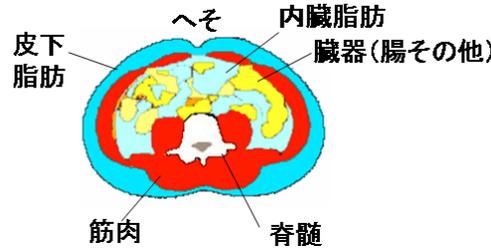


図4 人体腹部(臍の付近の断面図)の臓器の模式図を示す。音速の遅い皮下脂肪組織の内側に音速の速い筋肉組織、その内側に内臓脂肪組織が散在する。内臓脂肪領域の抽出が本研究の目的である。

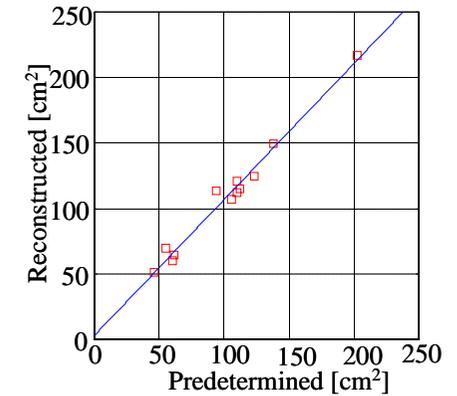
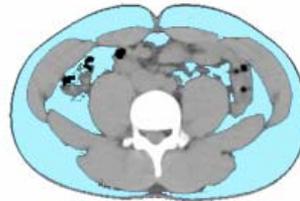
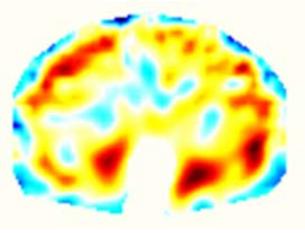
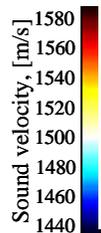


図5 シミュレーション評価試験による内臓脂肪面積の設定値と推定値の関係を示す。両者の相関性は極めて高く、精度よく内臓脂肪面積を推定できることが確認できる。



(a) 超音波腹部音速映像の再現結果(音速の違いをカラーバーの色で表してある)

(b) 脂肪領域の抽出結果

(c) X線CT像(青色の領域は脂肪領域を表す)。

図6 超音波腹部音速映像の再現結果を示す。解像度が十分でないため青色で示されている内臓脂肪領域の形状を含めて必ずしも明瞭ではないが脂肪領域の面積についてはおおよそ正しく再現できる結果が確認できる。