508 超音波パルスエコーの速度変化を利用した光断層イメージング

Optical Tomography Using Velocity Change of Ultrasonic Echo Pulses

○岩出知生、金高康博、小串典子、堀中博道、和田健司（阪府大院・工）

松中敏行（アロカ㈱）

Tmoo Iwade, Yasuhiro Kanetaka, Fumiko Ogushi, Hiromichi Horinaka,

Kenji Wada, Dept. of Physics and Electronics, Osaka Prefecture Univ

Toshiyuki Matsunaka, ALOKA Co., Ltd

1. はじめに

近年、近赤外光を用いた光トモグラフィが注目されている。これは、生体物質の分光学的な情報を利用することで、X線CTなどの従来の断層画像装置では困難であった酸素化ヘモグロビン分布なども画像化でき、医療分野での活用が大いに期待できるためである。しかし、近赤外光は生体内で強く散乱されるために、局所性を失い、光画像を得ることは困難である。過去に多くの光トモグラフィの提案が行われているが、実用的な診断装置は未だ実現していない。

我々は、生体の光断層画像を得る方法として光情報を超音波でラベリングする方法を検討してきた。既に光吸収による超音波の速度変化を位相変化と方法を提案し、高散乱媒質中で光吸収に関する情報が検出できることを示した。¹⁾ この方法では、連続波の超音波を用いていたが、パルス状の超音波を用い、光照射による反射パルスの到達時間の変化を測定すれば、光情報と位置情報を同時に求めることができると思われる。²⁾ 本報告では、超音波パルスによる光吸収分布の計測法を説明し、動物組織を用いた実験の結果を示す。

2. 光吸収情報の検出原理

生体の超音波の特性を水における特性をもとにして検討する。水中における超音波の速度は、約 1500m/s であり、1℃の温度変化に対して約 2m/s 変化することが報告されている。このように超音波の速度は、媒質の温度に敏感である。したがって、光吸収によって吸収領域に生じる温度変化が、超音波の速度変化として検出できると考えられ、光吸収情報を得ることができると考えられる。

光吸収による速度変化を検出する方法として、Fig. 1 のようにパルス状の超音波を用い、組織境界からの反射成分の

Fig.1 Principle of measurement of optical information by detection of ultrasonic velocity

光照射による到達時間の変化を検出する方式が考えられる。光照射によるパルスシフト Δt を測定すれば、超音波の速度変化 ΔV が次式の関係から求められる。

$$\Delta V = \frac{V^2}{2d} \Delta t$$

ここで、 V は超音波の速度、 d は境界間の距離である。 d は光を当てない状態の反射パルスの到達時間から求めておくことができる。水中の超音波速度と温度の関係はよく知られているので、速度変化から境界間の温度上昇が求められ、さらに、光吸収係数を求めることができる。

3. 光断層画像計測

本方式の実用性を確認するために動物組織として成犬の胃（幅約 4 cm、超音波伝播方向に約 3 cm）を用いた。ポリエチレン製の小型容器に黒インキを入れたものを吸収体として用い、胃の中に挿入した。Fig. 2 に、測定に用いた試料の写真を示す。

光源として動物組織の吸収の少ない 810nm 付近の波長域で発振する半導体レーザーを用い、ビームを拡げて透明アクリル容器の下部から試料全体に照射した。

Fig.2 Measurement of image of absorber in dog stomach

Fig.3 Time delay of echo pulses as a function of laser power

まず、ダイオードレーザーの出力を変化させて、小型容器の後ろの境界からのエコーパルスの到達時間のシフトを測定した。Fig. 3 に、時間シフトの測定結果と温度変化を示す。小型容器の中に水を入れたときは、到達時間の変化が見られず、得られた結果が容器内の光吸収であることを示している。

Fig. 2 に示すように超音波トランスデューサーを x 方向に 4mm ずつ移動させ、反射パルスとその光照射によるシフトを測定した。Fig. 4(a) に、超音波振幅画像 (B-mode 画像) を、(b) に光照射による超音波パルスシフトから求めた速度画像を示す。(a) では、胃の外形と大きさ、そして内部にある吸収体の境界面の存在が確認できるが、形状以外の情報は得ることができない。しかし (b) では内部に挿入した容器に相当する領域が現れており、温度分布を示しており、光吸収情報を得ることができる。比較のために、Fig. 2 の z

方向から赤外サーモカメラで撮影した試料側面の熱画像を示す。光照射によって吸収体部分の温度が高くなっており、(b) の速度画像はそれを反映しているものと考えられる。

Fig.4 Images constructed from amplitude (a) and velocity change (b) due to illumination. Thermal image by infrared camera was shown to be compared to the velocity image.

4. まとめ

超音波エコーパルスの光照射による速度変化を利用する方法を提案し、基礎実験および動物組織を試料とした実験を行った。本方式によって動物組織内でも吸収分布が得られることを示した。この実験結果から、本方式の悪性腫瘍の位置検出などへの適用が期待される。

本方式は、現在の超音波エコー診断装置と共通部分が多く、光源と簡易な信号処理回路を付加するだけで光断層画像も取得できる装置に改造できると考えられる。

参考文献

- 1) H.Horinaka, T.Matsunaka, T.Iwade, T.Masumura, T.Kobayashi, T.Kiuchi, K.Wada and Y.Cho: Jpn. J. Appl. Phys. 41 (2002) p.3555.
- 2) T.Kiuchi, A.Okasaka, T.Kobayashi, H.Horinaka, K.Wada, Y.Cho, T.Matsunaka and S.Saimi: Tech. Digest of CLEO/Pacific Rim 2001(Makuhari, 2001) Vol.II,306.