



TITLE:

Visualization of photoacoustic images in a limited-View measuring system using eigenvalues of a photoacoustic transmission matrix(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Abe, Hiroshi

CITATION:

Abe, Hiroshi. Visualization of photoacoustic images in a limited-View measuring system using eigenvalues of a photoacoustic transmission matrix. 京都大学, 2018, 博士(人間健康科学)

ISSUE DATE:

2018-03-26

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k21037>

RIGHT:

京都大学	博士 (人間健康科学)	氏名	阿部 浩
論文題目	Visualization of photoacoustic images in a limited-View measuring system using eigenvalues of a photoacoustic transmission matrix (Limited-view 下における光音響透過行列の固有値に基づく光音響イメージング)		
(論文内容の要旨)			
<p>光超音波イメージングは、励起光を吸収した光吸収体が光音響効果により放出する超音波信号を受信して、光吸収体（生体においてはメラニンやヘモグロビンなど）の分布を画像化する技術である。従来の光イメージングの機能はそのままに、光の波長操作などにより光吸収体へエネルギーを選択的に作用させることができる。さらに、直進性の高い超音波を発生・受信することで、深度を向上させた画像を得ることができる。そこで現在、動物実験から臨床試験まで幅広く臨床応用が試みられている。</p> <p>しかし、発生する超音波を全周囲から観測しなければ再構成画像で画像欠損が生じる Limited-view 問題が発生する。臨床応用を加速するためには、観察機器として商用化されている超音波診断機のプローブを利用することが望ましいが、1D プローブでは開口を広く計測することが難しく、欠損した画像が生成されることになる。</p> <p>そこで、エネルギーを伝達する光に波面制御の技術を導入することで、超音波診断装置の 1D プローブ計測下でも画像欠損が生じない計測方法の検討を行った。まずレーザー光を分割して波面制御を行うことで、光吸収体でのレーザー光の位相応答をレーザーのスペックルサイズで各領域に誘起する。次に、レーザーエネルギーの線形変換となる光吸収体からの超音波を受信する。本研究では、その超音波に変換された位相応答を複数回受信して画像化し、各領域を透過行列として観察することで、その行列の特異値から吸収体の有無を画像化する手法を考案した。</p> <p>検討はシミュレーション環境下で事前検討を行ったのち、ファントムに対して実際に計測し、その効果を検証した。実計測においては、照明光を基準位相領域および、位相変調領域 8×8 の領域に分割して各符号パターンに位相変調を $\pi/2$ ずつ 4 位相加えた。位相変調領域は効率化のため Hadamard 行列を用いて符号化を行い、計 256 回の計測を実施した。計測した光音響信号はそれぞれ画像再構成し、復号化することで各再構成ピクセルサイズの光の位相応答性を算出した。その結果、超音波診断機の 1D プローブを用いた Limited-view 環境下において、従来手法では欠損していた個所の画像化を確認した。さらに超音波の直進性のみを考慮した画像再構成像を利用することで超音波の多重散乱アーティファクトを抑制し、SN を上げた画像を得ることができた。</p> <p>以上の結果から、位相変調光を用いた Limited-view 環境下での光音響計測の有効性が検証された。一方で、残された課題として計測回数の増加に伴う計測</p>			

時間の短縮化と、生体深部でのレーザーのコヒーレンシーの担保をすることがあげられる。
 今後は、生体環境下においても計測ができるように、高い繰り返し発光周波数のレーザー、および DMD(Digital Micro-mirror Device)を用いた位相変調の高速化を進め、より生体深部での変調観察を可能にするために、本研究をさらに発展させ、実用化を進める必要がある。

(論文審査の結果の要旨)

光超音波イメージングは他のモダリティにはない利点や特徴が期待され、現在、幅広い対象において臨床応用に向けた研究が盛んに進められている。そのなかで解決すべき課題の一つに limited-view 問題がある。これが解決されると一般的な 1D 超音波プローブの利用が可能となるなど実用性の高い方法となる。これまでにもレーザ照明法の工夫などによる解決法が模索されてきたが十分な画質での画像化には至っていない。

申請者はこの問題に対し、光吸収体でのレーザ光位相応答を超音波として受信した結果から求まる光音響透過行列の特異値を用いた新しい画像化手法を提案した。提案手法評価のため、シミュレーション予備実験を経て、提案手法に必要な光照明制御のための実験系を構築して超音波診断装置と 1D プローブを用いたファントム実験を行った。シミュレーション及びファントムの両実験において、1D プローブによる limited-view 環境下で、従来法では欠損していた個所の画像化を確認するなど従来法に比して SN に優れ、さらにはアーティファクトが抑制された画像化に成功している。提案手法において残された課題の一つに計測時間の短縮があげられるが、高い繰り返し周波数のレーザと Digital Micro-mirror Device を用いた位相変調の高速化などによる解決が期待できる。

以上の研究は光超音波による生体イメージングの実用化に貢献し、将来の非侵襲な医療診断機器開発とそれによる病変の早期発見など、人々の健康に寄与するものと期待できる。

したがって、本論文は博士 (人間健康科学) の学位論文として価値あるものと認める。
 なお、本学位授与申請者は、平成 30 年 1 月 25 日実施の、論文内容とそれに関連した試問を受け、合格と認められたものである。