



Optical tomography and its biological application

李, 廷魚

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2007-03-25

(Date of Publication)

2009-08-19

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲3942

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1003942>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



【 3 3 5 】

氏 名・（本 籍） 李 廷 魚 （ 中国 ）

博士の専攻分野の名称 博士（工学）

学 位 記 番 号 博い第426号

学位授与の 要 件 学位規則第5条第1項該当

学位授与の 日 付 平成19年3月25日

【 学位論文題目 】

Optical tomography and its biological application
(光トモグラフィーと生体への応用)

審 査 委 員

主 査	教 授	吉村	武晃
	教 授	多田	幸生
	教 授	玉置	久
	助教授	的場	修

Abstract

Modern optical tomography with near-infrared light has significant impact on biomedical research and clinical diagnosis, but includes a difficult and challenging problem that the image quality is poor at a deep depth beneath a skin. To improve the quality of tomographic images in scattering medium, in this work, three types of optical tomography system: a confocal system, an optical coherence tomography (OCT) system, and a full-field OCT system are investigated. The high quality images are obtained by high resolution and low background noise. The high resolution is achieved by detecting only ballistic light emerging from a small volume of desired point in the medium. The low background noise is done by rejecting diffuse light as possible, which is intensely yielded by multiple scattering process of light. In this study, moreover, the optical tomography system to forward a new application is examined.

A fiber-based reflection-type confocal system is firstly presented. In this system, illumination and detection are done through a focusing lens and a core of the fiber. As the core size decreases, the resolution becomes high. The axial resolution of $9.25\mu\text{m}$ is experimentally obtained under the core size of $3\mu\text{m}$. From the results of a Monte Carlo simulation, furthermore, it is found that the amount of diffuse light to be detected also reduces tremendously as the size decreases. Therefore, it is obtained that the core size affects importantly to high quality images.

A low coherence tomography (OCT) system, which is combined with the confocal system, is secondly presented. At the system the optical pathlength of light passing through scattering medium is resolved by interferometric method of a low coherence light. The two-fold process of the pathlength resolving in addition to the confocal

system has achieved the high resolution and the high rejection of diffuse light. We adapt the system to guiding of a needle in epidural anesthesia. By choosing the appropriate focal length of focusing lens, the penetration depth of several millimeters with a axial resolution of $21\mu\text{m}$ is obtained. Ranging in a living tissue of a white mouse was demonstrated. It implies that our OCT system is feasible to epidural anesthesia.

A full-field OCT system is proposed. Because an area sensor is used, the confocal system of a point detection cannot be adopted. In this system the spatial filter is used instead of the confocal system although it is not sufficient for rejection of the diffuse light. By using both the interferometry and the spatial filter, high quality image is obtained. At the high resolution imaging, however, many of the slice images must be measured. Consequently a lot of measuring time is required. So, in this work, the full-field OCT system with a controllable longitudinal resolution by wavelength scanning laser source is developed. The longitudinal resolution can be changed at any value between $6\sim 120\mu\text{m}$. The advantageous performance has been verified by measuring the small nuclei in an observed area of several onion cells.

氏名	李 廷魚		
論文 題目	Optical tomography and its biological application (光トモグラフィと生体への応用)		
審査委員	区 分	職 名	氏 名
	主 査	教授	吉村 武晃
	副 査	教授	多田 幸生
	副 査	教授	玉置 久
	副 査	助教授	的場 修
	副 査		
要 旨			
概要 MRI(Magnetic Resonance Imaging)に代表されるように、生命の基本である代謝情報を映像化することが強く望まれている。しかし装置が大型であるため被験者は静止状態でなければならない制約があり、日常の状態あるいは活動状態での映像化への適用が困難である。これに代わる方法として近赤外光を用いて生体内部分を断層映像化する光トモグラフィ法(Optical Tomography)の開発研究が活発である。本論文はこの光トモグラフィ法の重要な特性を調べ、その改善方法を論じたものである。 第1章は光トモグラフィ法の重要性和困難性を一般論として論じた。光を生体に照射したとき、伝播光は直進光と拡散光とに分けられる。断層測定における信号光は直進光であり、それは伝播とともに負指数関数的に著しく減衰する。一方、拡散光は背景雑音となり、それはほとんど減衰しない。このため断層画像を得るには圧倒的に強い拡散光の中から微弱な直進光を検出しなければならない。本研究では、断層画像の画質改善という観点から、光トモグラフィ法として3つの方法を取り上げ、それらの特性や効果を論じた。 第2章では、基本的断層映像化装置として、ファイバーを用いた共焦点型光学システムを論じている。共焦点型光学システムは照明系と検出系が同一システムで共用されるため、コンパクトな構成である。共用部にシングルモード光ファイバーを用いることにより、さらにコンパクト化したシステムを対象とした。系の特性を解析的に求め、横方向の分解能と縦方向(光軸方向)の分解能を共用部の光源サイズ(または検出サイズ)との関係から求めた。そのサイズ径を数μmとすることで、断層像で重要な縦方向分解能を十数μmとすることができることを示した。このことはコア径6μmのシングルモードファイバーを用いて構成し、実験的にも示し、解析法が妥当であることを示した。拡散光についてはモンテカルロ法により、この光学系で10⁻⁴まで減衰させることができることを示した。これらのことにより、共焦点光学システムで弱散乱体内部分を高分解で断層映像化が可能である。通常の共焦点光学システムをファイバーベースとすることで、安定したコンパクトな装置とし生体への適用を容易としたこと、さらにはファイバーのコア径を小さくすることで拡散光の除去効果が大いことや深さ分解能が改善されることなどの成果は、今後の簡易型医療機器の開発に指針を与え、評価される。 第3章では、光学的なコヒーレンス断層映像法(optical coherence tomography:OCT)を論じている。拡散光を除去するために、共焦点光学系とさらに光路長分解とを併用する。光路長分解は光源による低コヒーレンス光の干渉性を利用する。分解能の向上や拡散光除去について、このOCTは既に確立された方法であるが、断層像を得るためには測定対象を3次元走査する必要がある。ここでは光軸方向の走査のみでも医療応用が可能であることを提案している。局部麻酔をするとき硬膜外空に麻酔薬を注入する必要があるが、穿刺針先端をその外空にセットする必要がある。この穿刺針のガイドとして、針内部にファイバースコープを挿入し、針先端から5, 6ミリ先までをモニターできるOCT装置を試作した。光軸方向の信号をS/Nよく検出するために、主として拡散光の性質をモンテカルロ法を用いて調べた。結果として共焦点光学系に用いるレンズの焦点距離を目的の測定範囲に設定することが最適であることを結論付けた。ここで提案している方法は、深さ方向の1次元の高速測定を実現することで、また特に高分解を必要としなくても、医療応用が十分可能であることを示したことは高く評価される。			

氏名	李 廷魚		
第4章では、OCTの一つとして、分解能可変型 Full-field OCT を提案している。この方法は検出器にエリアセンサを使用することで、ある光軸方向の深さ(位置 z)での垂直断面 (x-y 平面)の断層像を同時測定するものである。3次元測定には深さ z を走査する。拡散光の除去には、面観測であるから共焦点光学系は使用できず、通常の光学空間フィルタを使用し、さらに OCT としての光源の干渉性を用いた光路長分解をも併用した。この Full-Field OCT において、垂直断面の断層像1枚を取得するには、数秒の測定時間を要する。この測定時間の制約から高分解測定を実現することが困難となっている。この改善に、同一の測定装置で分解能可変型とするシステムを提案している。初めに低分解能で目的のターゲットを探し、ターゲット付近を高分解能で断層像を得る方法である。この実現にレーザー光の波長を走査し、コヒーレンス合成法を用いて実効的に低コヒーレンス光を生み出す。波長走査レーザー装置や対応するデータ処理系を試作し、波長走査範囲の制御、走査時間の制御、安定性の改善策を施した。この結果、中心波長 820 nm 付近で走査波長幅を 2 nm から 40 nm まで自由に設定可能とした。これは分解能を 120μm の低分解能から 6μm の高分解能まで制御可能であることに対応する。この効果は、たまねぎ細胞の中の核の高分解測定の適用し、実証した。Full-Field OCT において、高分解断層像の取得が短時間にできるようになったことは、実用上評価される。 第5章は以上の成果をまとめたものである。 本研究は光トモグラフィについて、その生体断層像の取得法を研究したものであり、医療応用を一步実現させる上で重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。 よって、学位申請者の 李廷魚 は、博士(工学)の学位を得る資格があると認める。			