

拡散光トモグラフィによる  
脳機能イメージングのための  
頭部構造モデルの構築

2015 年度

栗原 一樹

## 主 論 文 要 旨

報告番号	甲	第	号	氏 名	栗原 一樹
主 論 文 題 目 :					
拡散光トモグラフィによる脳機能イメージングのための頭部構造モデルの構築					
<p>(内容の要旨)</p> <p>拡散光トモグラフィは、頭表から近赤外光を照射、受光し、検出光の伝播経路上で生じた血液量変化を多点で計測した結果から脳機能画像を再構成する手法である。検出光は頭部組織で散乱されて広い領域を伝播することから、正確な脳機能画像を再構成するためには、脳組織に対する検出光の空間感度分布が必要であり、頭部を模擬したモデルを用いた光伝播解析によって推定が行われている。頭部の光伝播は組織の光学的非均質性に強く影響されるため、頭部モデルは頭皮、頭蓋骨、脳脊髄液、灰白質、白質の5領域で構成するのが一般的である。さらに近年では、磁気共鳴(magnetic resonance: MR)画像に基づいた、被験者本人の頭部組織構造を模擬したモデルも用いられている。被験者毎に頭部構造モデルを構築するためには、MR画像の領域分割の自動化が望まれる。しかし、一般的な撮像法であるT1強調画像の場合、表層組織の間に十分なコントラストが得られないことから、領域分割の自動化は困難であった。また、被験者の頭部組織構造が忠実にモデル化できることから、従来のモデルでは考慮されていない組織構造が光伝播に及ぼす影響についても検討が必要になる。本論文は、拡散光トモグラフィによる脳機能画像の再構成をより正確に行うための頭部構造モデルを構築することを目的とし、頭部構造モデル構築における領域分割の自動化に適したMR画像の撮像法に関する検討、および従来のモデルで考慮されていない組織構造が拡散光トモグラフィの画像再構成に及ぼす影響について検討した。</p> <p>第1章に、拡散光トモグラフィの原理と頭部光伝播解析に用いられるモデルについてまとめた。</p> <p>第2章では、表層組織の領域分割に適すると考えられる2種類の高速度撮像法でMR画像を取得し、閾値処理を基本とする領域分割法で処理した結果を、従来の撮像法によって取得した画像の処理結果と比較した。46名のMR画像について表層組織の領域分割を行ったところ、提案した撮像法によるMR画像を用いた方が正確で、かつ良好な結果が得られる閾値の範囲も大きかった。また、提案法の撮像時間は、従来法の1/4未満であった。</p> <p>第3章および第4章では、これまでの頭部モデルでは考慮されていなかった頭部の組織構造が頭部光伝播と拡散光トモグラフィの画像再構成におよぼす影響を検討した。</p> <p>第3章では、吸収が大きい脳表血管の影響について検討するため、磁気共鳴血管撮像法で取得した脳表血管の3次元構造を付加した頭部構造モデルを構築した。脳表血管を含む頭部構造モデルを用いて局所的な脳活動による検出信号をシミュレーションし、脳表血管を含むモデルと含まないモデルで求めた空間感度分布を用いて脳機能画像を再構成した。脳表血管を含まない頭部構造モデルで再構成した場合、検出信号のノイズの影響が大きくなるとともに、太い血管近傍で生じた賦活が血管から離れた方向に再構成される傾向があることが明らかになった。</p> <p>第4章では、前頭部の頭蓋骨内にあり、低散乱、低吸収の空洞である前頭洞に着目し、脳表血管を考慮した頭部構造モデルにX線CT画像から抽出した前頭洞領域を付加したモデルを用いて、脳機能画像の再構成における前頭洞の有無の影響を検討した。前頭洞に近い部位では再構成画像の賦活部位が前頭洞に近づく傾向がみられたが、他の部位では脳表血管の方が再構成画像に及ぼす影響が大きいことが明らかになった。</p> <p>第5章で、各章で得られた結果を総括し、本論文の結論を述べた。</p>					

## SUMMARY OF Ph.D. DISSERTATION

School Integrated Design Engineering	Student Identification Number	First name Surname Kazuki Kurihara
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 10%;">Title</div> <div style="width: 90%; text-align: center;">           Construction of anatomical human head models for brain functional imaging by diffuse optical tomography         </div> </div>		
<div style="display: flex;"> <div style="width: 10%;">Abstract</div> <div style="width: 90%;"> <p>Diffuse optical tomography (DOT) is a method used for brain functional imaging. During the DOT, the blood volume change related to brain activation is measured as the intensity change detected by multiple source-detector probe pairs attached to the scalp. The propagation path of the detected light is broadly distributed due to tissue scattering, and hence the spatial sensitivity profile for each probe pair is necessary for precise image reconstruction. The spatial sensitivity profiles are estimated by the light propagation analysis in a head model. Since light propagation in the head is strongly affected by the optical heterogeneity of the head, the head model generally consists of the scalp, skull, cerebrospinal fluid, gray matter and white matter. Recently, anatomical head models of which the geometry is based upon the magnetic resonance (MR) images of individual subjects are used for the DOT. Automatic segmentation of the MR images is required to construct the individual anatomical head model for each subject. In the previous head model, several types of tissues were ignored in order to simplify the model, however, a more sophisticated structure needs to be considered for the anatomical head model to precisely estimate the light propagation in the head. In this thesis, the types of MR images, which are appropriate for the automatic segmentation, and the influence of the tissue structures, which was ignored in the previous head model, were investigated to construct the appropriate anatomical head models for the DOT.</p> <p>Chapter 1 reviews the principles of the DOT and human head models for the light propagation analysis.</p> <p>Chapter 2 describes two types of MR images which are adequate for the segmentation of the superficial tissues. The proposed MR images were segmented by a binarization-based algorithm and the results were compared to that of the conventionally used MR images. Based on the results of 46 subjects, the segmentation of the proposed MR images is more accurate and robust to the threshold level than that of the conventionally used MR images. The total imaging time of the proposed MR images is less than one-fourth that for the conventionally used MR images.</p> <p>Chapters 3 and 4 describe the influence of the structures, which were ignored in the previous head models, on the light propagation in the head and image reconstruction of the DOT.</p> <p>Chapter 3 describes the influence of the extra-cerebral vasculature (ECV) on the DOT. The structure of the ECV was obtained from an MR angiography to construct the anatomical head model including the ECV. The measured signal related to the brain activation was simulated using the head model including the ECV, and the brain functional images were reconstructed using the head models with and without the ECV. The brain activation around the ECV in the image reconstructed using the model without the ECV tends to be shifted away from the ECV.</p> <p>Chapter 4 describes the influence of the frontal sinus (FS), which is an optically-void region in the frontal bone, on the DOT. The FS was segmented from the X-ray CT images, and an anatomical head model including the ECV and FS was constructed to simulate the measured signal. The brain activation reconstructed using the model without the FS was shifted toward the FS when the activated region is close to the FS. The influence of the FS on the DOT is less than that of the ECV.</p> <p>Chapter 5 concludes the thesis by summarizing the results in each chapter.</p> </div> </div>		