

Development and Application of Noncontact Near-Infrared Spectroscopy System for Measuring Biological Tissue

August 2012

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of
Doctor of Philosophy in Engineering



Keio University
Graduate School of Science and Technology
School of Integrated Design Engineering

Funane, Tsukasa

主 論 文 要 旨

| | | | |
|--|-------|-----|------|
| 報告番号 | 甲 第 号 | 氏 名 | 舟根 司 |
| 主 論 文 題 目 : Development and Application of Noncontact Near-Infrared Spectroscopy System for Measuring Biological Tissue (生体組織計測のための非接触近赤外分光システムの開発と応用に関する研究) | | | |
| (内容の要旨) 生体組織，特に脳及び筋組織を計測対象とする近赤外分光法 (Near Infra-Red Spectroscopy: NIRS) は，脳機能イメージング研究，乳幼児発達研究，精神科臨床，運動時及び術中の血中酸素モニタ等において用いられており，今後の応用範囲拡大が期待されている。NIRS 技術においては，迷光及び体動によるノイズ低減のため，光ファイバを皮膚に接触，固定させる必要がある。さらに，筋組織の NIRS 計測においては，脂肪の厚みや皮膚の色により，信号感度が最大となる光源—検出器間 (Source-Detector: SD) 距離には個人差が大きく，最適な SD 距離の選択が課題であった。一方で，非接触による生体深部 NIRS 計測は，自動車運転時，睡眠時における生体モニタリング等の応用が期待され，SD 距離を容易に時間的に変化させることができるメリットがあり，実用化が望まれる。 本論文は，上記 NIRS 技術の課題に対処し，プローブを生体に非接触として，さらに最適な SD 距離での NIRS 計測を可能とする技術に関するものである。研究の目的は，非接触の NIRS 計測の原理提案及び計測システムの開発と，ヒト筋組織，頭部組織を対象とした応用可能性を検討することである。 第 1 章では，序論として，NIRS の原理と応用及び課題について述べ，プローブを非接触とすることの意義を説明する。そして，本論文に関連する非接触光計測技術，NIRS 用ファントム (生体模擬試料)，複数の SD 距離を用いた計測 (マルチディスタンス計測) の先行研究について述べる。 第 2 章では，本論文で提案する非接触光脳機能計測システムについて，計測原理，ファントム計測，ヒト脳機能計測について説明する。本システムと接触型の従来装置を用いてヒト脳活動を同時計測し，両装置による計測結果を比較した。その結果，非接触でヒト脳神経活動に伴う組織血行動態を計測することに成功した。 第 3 章では，レーザスキャン型の非接触生体深部吸収分光システムについて述べる。ガルバノスキャナを組み込み，光源照射位置を時間的に変化させることにより，SD 間隔 7-45 mm のマルチディスタンス計測を実現可能とした。ファントム実験により，減光度変化の SD 距離に対する勾配が，吸収量に関わらず一定である SD 距離 (等勾配点) から，表層厚みを推定できることを明らかにした。 第 4 章では，スキャンシステムの計測データを活用し，脳活動など生体深部からの NIRS 信号に混合する皮膚血流の影響を除去する手法を評価するためのファントム開発について述べる。本ファントムを用いた吸収変化の計測結果に各種皮膚血流除去手法を適用し，手法に対する定量的な評価が可能であることを示した。 第 5 章では，スキャンシステムのヒト組織計測への応用について述べる。上腕圧迫・解放時のヒト前腕の血流変化を計測した結果，SD 距離に依存した減光度変化を取得できた。これにより，本スキャンシステムを用いて，ヒト前腕の酸素モニタリングにおける最適な SD 距離を決定できることを示した。さらに，ヒト前額部の血行動態を計測した信号に上記皮膚血流除去手法を適用した。これにより，皮膚血流除去手法の有効性を実験的に確認するとともに，本スキャンシステムによるヒト脳活動計測を実証した。 第 6 章では，本論文のまとめと今後の展望について述べる。 | | | |

SUMMARY OF Ph.D. DISSERTATION

| | | |
|--|-------------------------------|--|
| School Integrated Design Engineering | Student Identification Number | SURNAME, First name FUNANE, Tsukasa |
| Title Development and Application of Noncontact Near-Infrared Spectroscopy System for Measuring Biological Tissue | | |
| Abstract <p>The NIRS system for detecting absorption change in deep biological tissue, so far, must have contact fiber-optic probes on skin in order to avoid artifacts induced by directly skin-reflected light or movement of tissue. On the other hand, noncontact NIRS imaging may have a lot of promising applications such as monitoring biological state of drivers and sleeping people.</p> <p>In this dissertation, I addressed a limitation of NIRS that contact probes are necessary and that optimal source-detector (S-D) distance cannot be easily obtained. The aim of this dissertation is development of a noncontact NIRS system and validation of the proposed method and demonstration for application to human muscle-tissue and brain-activity measurements.</p> <p>As introduction, chapter 1 describes the principle, application, and challenges of NIRS technique. Merits of noncontact NIRS systems are also discussed. In connection with this dissertation, literatures on noncontact NIRS technique, tissue-simulating phantoms, and methods using multiple S-D distance probes are reviewed.</p> <p>Chapter 2 describes a noncontact measurement system. I proposed a principle of noncontact NIRS system and the hemoglobin changes in the same area of the prefrontal cortex were measured during a working memory task by simultaneously using this system and a conventional contact optical topography system. As a result, it was confirmed that the noncontact system measured human brain.</p> <p>Chapter 3 describes optical scanning system utilizing the noncontact NIRS technique. The system has a noncontact light emitter and detector with a galvano scanner and can measure the absorption change at variable S-D distances. A phantom with an inner absorber layer and a surface scatterer layer whose thickness is changeable was measured by the system. The estimation of surface-layer thickness using optical density change at multiple S-D distances was demonstrated.</p> <p>Chapter 4 describes evaluation of surface layer effect discrimination method with multiple S-D distance measurements given by the optical scanning system. A dynamic phantom with two absorber layers that can be independently controlled was developed. Quantitative evaluation of a signal discrimination method was performed.</p> <p>Chapter 5 describes application of noncontact optical scanning system to human biological tissue measurement. Human muscle measurement during upper-arm occlusion and relief was described. The optical density change depending on S-D distance was obtained, which demonstrated the possibility that the optimal S-D distance for oxygenation monitoring on human forearm can be determined by the scanning system. Furthermore, human brain activity was measured using the scanning system and it was demonstrated that cerebral blood volume change was successfully extracted.</p> <p>A summary of the work done and the conclusions drawn from it are given in Chapter 6. A description of further work is also presented.</p> | | |