

氏名（本籍）	洪 暎周 （ 韓国 ）		
学位の種類	博士（工学）		
学位記番号	博 甲 第 6661 号		
学位授与年月日	平成 25 年 6 月 30 日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	数理物質科学研究科		
学位論文題目	Multi-functional imaging of posterior eye with optical coherence tomography (光干渉断層撮影法による眼底の多機能イメージング)		
主 査	筑波大学教授	工学博士	伊藤 雅英
副 査	筑波大学教授	理学博士	服部 利明
副 査	筑波大学講師	博士（工学）	安野 嘉晃
副 査	Professor of Korea University Ph.D. Beop-Min Kim		
副 査	東京医科大学准教授	博士（医学，工学）	三浦 雅博

論 文 の 要 旨

人間の目は血液によって代謝をおこない、その機能を発揮している。血管系の異常は眼病の重要な指針であるため、眼底血管の検診は眼科の重要な項目となっている。フルオレセイン血管造影(FA)とインドメタシングリーン血管造影(ICGA)が眼科で現在広く使われている血管造影法である。しかしながら、これらは造影剤の注射が必要となり、患者に負担をかけ、時には悪影響も与えている。また、滲出性黄斑変性症(exudative macular diseases)等の視力に影響する病気が進行すると、異常な脈絡膜血管新生(choroidal neovascularization: CNV)で現われる。

また、網膜と脈絡膜の間に位置している網膜色素上皮(retinal pigment epithelium: RPE)層が網膜の代謝と調整に重要な役割を果たしているため、RPE 層の異常は 目の異常の重要な指標の1つになっている。これまでは直接的に RPE 層の断面を観察する事はできなかった。

光コヒーレンストモグラフィー(optical coherence tomography: OCT)はマイクロメートルスケールで縦断面のイメージを提供する非侵襲な画像形成手法であり、光学的な生体組織検査として、前眼部および眼底診断に広く用いられてきている。病変の進行を断面像として観測できるようになったことは、眼科診断のパラダイムに劇的な変化をもたらした。さらに、周波数領域光コヒーレンストモグラフィー(frequency-domain OCT: FD-OCT)は時間領域光コヒーレンストモグラフィー(time-domain OCT: TD-OCT)より高い感度と計測速度が示されている。現在、市販の OCT 装置を用いた網膜および脈絡膜血管撮像技術が確立されつつあり、特にドップラー光コヒーレンストモグラフィー(Doppler OCT: DOCT)を用いると、血流を選択的に画像化する事ができる。しかしながら、多くの OCT 装置は 800nm 帯の光源を用いているため、組織による散乱などの原因により眼底深部の血管構造を明らかにする事ができない。構造を観測する OCT は眼科で広く用いられてきているが、血流あるいは血管系や RPE 層の画像形成など、機能に着目した画像形成についてはまだ未着手である。こうした点に着目し、本論文では、OCT 計測において機能的な拡張が試みられている。

眼底部への浸透はプローブ光の波長に依存し、波長1 μ m 帯のプローブ光は、RPE 層における吸収

率の低さから、眼底深部の脈絡膜や強膜のイメージングに有望である。波長走査方 OCT (Swept-source OCT: SS-OCT)は1 μ m 帯のプロープ光において普遍的なものとなり、モーションアーチファクトにも強くなってきている。

まず、血管構造のイメージングのための高浸透のドップラー光コヒーレンス血管造影法 (high-penetration Doppler optical coherence angiography: HP-DOCA)が開発された。血管系のイメージングをおこなうにあたって、赤血球の移動によって生じるドップラーシフトが計算され、静的な組織と比較された。ソフトウェアベースの位相安定化アルゴリズムがシステムの安定性のために導入され、十分な黄斑が確認されている。本手法を、病眼の10のケースに適用し、異常な血管がすべてのケースから決定された。ここで得られた血管系パターンは、色素注射をおこなう現在の眼科的な手法で得られたものと良い一致をみていて、本手法の有用性が確認されている。

次に、血管系と RPE 層の画像を1回の測定結果から得られる手法として多機能 OCA (multi-functional OCA: MF-OCA)が提案されている。RPE 層の画像の選択的な抽出のために、ジョーンズ・マトリックスを用いた偏光感受型光コヒーレンストモグラフィー (polarization sensitive OCT: PS-OCT)から手計算されたデータである偏光度一様性 (degree of polarization uniformity: DOPU)に着目し計測とデータ処理がなされた。実際に本手法を用い、血管系と RPE 層の同時の測定がなされ、病眼の6つのケースに適用された。異常な RPE 層は6つのケースすべてから、異常な血管系は5つのケースから検出された。結論として、眼底画像の多機能画像処理の臨床的有効性が証明された。

審 査 の 要 旨

[批評]

これまで研究されてきた光コヒーレンストモグラフィー技術を用い、眼底深部の観測に応用するために1 μ m 帯を光源とするシステムを製作し、血管構造のイメージングのための高浸透のドップラー光コヒーレンス血管造影法を確立したことは高く評価できる。これによって、半自動的に脈絡膜部分を切り出し、平坦化し、血管構造を抽出する手法の最適化がおこなわれ、今後、検診などのスクリーニングへの展開が期待される。また、血流あるいは血管系や RPE 画像形成など、機能に着目した画像形成方法をおこなったことも、これまで、構造観察が主流であった OCT 計測機器開発に新しい方向性を与えたものといえよう。偏光感受型 OCT によって得られた複屈折データから偏光度一様性を計算することで、血管系と RPE の同時の測定がなされた。いずれの方法についても、実際に患者に適用し、その有用性を確認している。今後、OCT による非侵襲な血管系のイメージングは色素注入によるイメージングに代わるものと期待され、本論文は、当該分野において高く評価された。

[最終試験結果]

平成25年5月31日、数理解物質科学研究科学学位論文審査委員会において審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって、合格と判定された。

[結論]

上記の論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。