

Title	Intensity Analysis of Hartmann-Shack Images in Cataractous, Keratoconic, and Normal Eyes to Investigate Light Scattering
Author(s)	三橋, 俊文
Citation	大阪大学, 2006, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/47372
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	三橋俊文
博士の専攻分野の名称	博士(医学)
学位記番号	第20721号
学位授与年月日	平成18年10月20日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文名	Intensity Analysis of Hartmann-Shack Images in Cataractous, Keratoconic, and Normal Eyes to Investigate Light Scattering (白内障眼、円錐角膜眼、正常眼における光散乱検査のためのハルトマンシャック像強度解析)
論文審査委員	(主査) 教授 不二門 尚 (副査) 教授 田野 保雄 教授 田村 進一

論文内容の要旨

[目 的]

眼の高次収差(不正乱視)、および散乱は眼鏡で矯正できない視力低下をもたらす。特に加齢眼や白内障眼などでは、散乱による影響が大きい。高次収差の測定用に開発したハルトマンシャック(HS)波面センサーで、散乱の評価も可能になれば臨床的な有用性がさらに上がると考えられる。我々は、HS波面センサーを用いて、散乱評価のために2つの解析方法を考案し、正常眼、散乱が大きいと考えられる白内障眼、および高次収差が大きいと考えられる円錐角膜眼で比較検討した。

[方 法]

円錐角膜15例22眼、白内障眼9例17眼、正常眼7例7眼を対象に、HS波面センサーを用いてHartmann像の測定を行った。HS波面センサーは、筆者らが開発した試作機を使用した。測定波長は840 nmで、波面収差の解析は4次までのゼルニケ多項式を利用し、瞳孔領中央の直径4 mmの円領域で行った。

白内障眼の測定では、測定画像の背景輝度が上昇することが多く、この背景輝度の上昇が水晶体の散乱と関係していると考えられる。背景輝度の定量的な評価のために、HS波面センサーの測定画像内の点像を囲む0.6 mmの正方形領域での輝度コントラストを計算した。これを瞳孔領中央の12個の点像に対して繰り返し、これら12点の平均値を散乱の評価値とした。この方法をここではコントラスト法と呼ぶ。

また、白内障眼の測定では、測定された収差量からは説明できない大きさの点像のボケが発生する。この測定された点像強度分布には、収差、回折のほか、散乱の影響が含まれている。一方、測定された収差から、収差と回折のみの影響が含まれている点像強度分布を計算することができる。これら2種類の点像強度分布を比較することにより、散乱の影響を調べることができると考えられる。そこで、瞳孔領中央の12個の点像に対してそれぞれ上記2種類の点像強度分布を算出し、それぞれの半値幅の差を計算し、この12点の平均値をとり、散乱の評価値とした。この方法をここではPSF法と呼ぶ。

次に、収差測定値とコントラスト法の評価結果を使った判別分析と、収差測定値とPSF法の評価結果を使った判別分析を行い、正常眼、円錐角膜眼、白内障眼をどの程度正確に判別できるか確認した。

[成 績]

正常眼、円錐角膜眼、白内障眼における収差は $0.078 \pm 0.044 \mu\text{m}$ 、 $0.347 \pm 0.239 \mu\text{m}$ 、 $0.230 \pm 0.098 \mu\text{m}$ であった。散乱は、コントラスト法でそれぞれ 1.57 ± 0.56 、 1.83 ± 0.79 、 5.04 ± 3.06 、PSF 法で $9.3 \pm 4.3 \mu\text{m}$ 、 $30.0 \pm 20.1 \mu\text{m}$ 、 $81.8 \pm 65.2 \mu\text{m}$ であった。コントラスト法と PSF 法の結果は、共に白内障眼が正常眼、円錐角膜眼に対して統計的に有意に大きかった。また、白内障眼と円錐角膜眼共に、コントラスト法と PSF 法の評価結果は収差の測定値と相関を持たなかった。判別分析の結果は、コントラスト法では 84% を、PSF 法では 78% を正確に判別することができた。

水晶体からの散乱は、波長程度の大きさの粒子による散乱であることが先行研究から知られており、散乱特性が散乱角への依存が大きく波長への依存の小さい Mie 散乱で近似できる。Mie 散乱は角度依存性があるが、その角度特性は眼の収差による点像分布の広がりと比較すると 100 倍程度は大きく、この Mie 散乱の影響のみがコントラスト法の測定結果に影響を与える。

PSF 法での点像のボケは波長程度の大きさの粒子からの Mie 散乱では説明できない。原因の候補としては、4 次を超える高次収差または角度依存性の強い大きな粒子からの散乱が考えられるが、これを証明するためには新たに本格的な研究を行う必要がある。

今回の研究では、コントラスト法の結果と PSF 法の結果がよく相関したことが興味深い。先に述べたように、この 2 つの方法で観察されている強度分布の特徴は異なる原因によるものと考えられるので、測定結果が相関したことは、2 つの原因も相関しているといえる可能性がある。

[総 括]

コントラスト法と PSF 法の両方で、正常眼と円錐角膜眼よりも水晶体散乱の大きい白内障眼で大きな測定値を得たことから、散乱の評価が可能であることが示唆された。特にコントラスト法では、水晶体散乱の原因として知られる粒子の大きさからくる散乱特性と測定法の特性が合致しており、この方法により水晶体散乱を測定できている可能性が高い。

判別分析の結果から、正常眼、円錐角膜眼、白内障眼を 80% 程度の正確さで判別できる可能性を示すことができた。HS 波面センサーに本研究で考案した方法を加えることにより、白内障の評価が可能になることが示唆された。

論文審査の結果の要旨

白内障では、収差と散乱が増加するために視機能の低下を招く。しかし、散乱の評価方法がなかったため、白内障の視機能の客観的な評価ができなかった。筆者らは、眼の収差測定用に開発したハルトマンシヤック (HS) 波面センサーにより散乱を評価できるように、測定画像の背景強度の増加を使うコントラスト法と、点像強度分布の広がりを使う PSF 法を開発した。両方法の測定結果とも、正常群や円錐角膜群より白内障群の散乱の評価値が統計的に有意に大きかった。収差の測定値も加えた判別分析では、臨床的な症例分類の約 80% が正しく再分類された。コントラスト法は、検証した結果、白内障における水晶体散乱の原因として知られる蛋白質の $1 \mu\text{m}$ 程度の粒子による散乱を測定していると考えられた。

本研究で開発された方法により、HS 波面センサーにより収差と散乱の同時測定が可能になると考えられ、これは臨床的に有望な測定法であるため、本研究の業績は学位の授与に値すると考えられる。