



Optical characteristics of oblique incident rays in pseudophakic eyes

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 浜松医科大学 公開日: 2014-10-24 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 青島, 真一 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10271/268

学位論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨

学位記番号	医博論第 393号	学位授与年月日	平成16年11月19日
氏 名	青 島 真 一		
論文題目	Optical characteristics of oblique incident rays in pseudophakic eyes (偽水晶体眼における周辺光線の光学特性)		

博士(医学) 青 島 真 一

論文題目

Optical characteristics of oblique incident rays in pseudophakic eyes.

(偽水晶体眼における周辺光線の光学特性)

論文の内容の要旨

〔はじめに〕

人の眼の光学系には収差が存在する。視軸に沿って入射し中心窩に達する光線(以下 軸上光線)と斜めに入射し周辺眼底に達する光線(以下 軸外光線)とでは、収差の状態が異なることが知られている。また、近年の白内障手術の進歩により、眼内レンズを挿入された眼における、術後視機能の評価の重要性が高まってきており、眼内レンズの形状が収差にどのような影響があるのかを評価することは重要である。

これまでの研究では、光学特性の評価をCCDカメラによる像の撮影、スポットダイアグラム、modulation transfer function(MTF)などによって行われているが、光線の挙動を視覚的・立体的に把握することが難しく、一般臨床医にわかりやすい形でのシミュレーションは容易ではなかった。また、角膜の前面は本来複雑な非球面であり、さらに近年ではLASIK(角膜をレーザーで削って近視を矯正する手術)により極端に変形した角膜を持つ症例も多い。しかし、これまでのシミュレーションでは、角膜面は単純な球面や楕円体面で代用されており、角膜周辺を通過する軸外光線を正しく評価するには不十分であると思われる。

本研究では、このような問題点を克服するために、角膜前後面を多項式による非球面で表現した眼内レンズ挿入眼の3次元モデルを、一般的な光学設計ソフトを使用して作成する方法を考案した。さらに、作成されたモデルを用いて、軸外光線の光学特性を視覚的に評価することを試みた。

〔方法〕

光学設計プログラムZEMAX™を用いて、コンピュータ上にGullstrand模型眼(眼科で用いられる標準模型眼)を表現した。Orbscan™(角膜前後面形状解析装置)から得られた角膜形状のデータを基に角膜中央、中央から2.5mm、3.5mm、4.25mmの4点における角膜前面と後面の曲率半径を決定した。この角膜曲率のデータを光学設計プログラムに組み込むように、回転対称非球面を表す多項式の係数(k, a, b, c)を算出し角膜の非球面モデルを作成した。さらに、このモデル眼の水晶体部分を、眼内レンズの形状データ(前凸レンズまたは後凸レンズ)で置換した眼内レンズ挿入眼のシミュレーションモデルを作成した。

次に、モデル眼を立体表示し、視軸より45度傾いた光線を入射した。子午光束と球欠光束の収束状態を視覚的に確認することにより、非点収差の比較をおこなった。また、最小錯乱円の位置にできたスポットダイアグラムの形状から、コマ収差の比較をおこなった。

〔結果〕

被験者より得られたデータを元に算出された k (円錐係数)の値は前面が -0.087 、後面が -0.174 であった。補正項の係数は前面が $a: 2.202 \times 10^{-5}$ 、 $b: -8.681 \times 10^{-7}$ 、 $c: 6.570 \times 10^{-9}$ 、後面が $a: 1.020 \times 10^{-4}$ 、 $b: -6.488$

$\times 10^{-6}$ 、 $c: 1.308 \times 10^{-7}$ であった。前凸型、後凸型眼内レンズ挿入眼における軸外光線の光学特性の比較では、前凸レンズ眼は後凸レンズ眼に比べ、子午焦点と球欠焦点の距離差が明らかに大きく、非点収差が大きいことを確認した。また、前凸レンズ眼における最小錯乱円のスポットダイアグラムはコマ収差による変形が大きかった。

〔考察〕

これまでの研究でも、軸外光線は中心光線に比べて非点収差やコマ収差が大きくなること、眼内レンズ挿入眼においてはレンズ形状により収差の大きさが異なることが確認されている。しかし、これらの研究における評価方法では、光線の挙動を把握し易いとは言えなかった。また、軸外光線が通過する角膜周辺部の形状が、実際の角膜に十分近似しているとは言えなかった。本研究では、このような問題点を克服するために、モデル眼を自在に3次元表示できる、市販のプログラム(ZEMAX™)を積極的に利用し、光線の挙動が視覚的に分かりやすく把握することができた。また、モデル眼の周辺角膜を実際の角膜形状に近似させるために、Orbscan™から得られた角膜形状データを多項式非球面で表現する方法を開発した。これにより、周辺角膜を通過する周辺光線の精密なシミュレーションや、LASIKなどの屈折矯正手術後の視機能評価に耐えうる角膜モデルを以前より容易に作成することが出来るようになった。

〔結論〕

眼内レンズ挿入眼における軸外光線の収差の大きさを、視覚的にわかりやすくシミュレーションする手法を検討した。複雑な角膜形状を、市販のソフトウェアと、測定装置を用いて光学設計ソフト上に表現することが可能となった。

論文審査の結果の要旨

人の眼では、視軸に沿って中心窩に達する光線(軸上光線)と斜めに入射して周辺眼底に達する光線(軸外光線)とでは、収差の状態が異なる。白内障手術の増加により、眼内代用レンズ挿入眼における術後視機能の評価が重要となり、眼内レンズが収差に与える影響の評価も重要となった。しかし、光線の挙動を視覚的・立体的に把握するのは難しく、これまでのシミュレーションでは、角膜面は単純な球面や楕円体面で代用されており、角膜周辺を通過する軸外光線を正しく評価できず、一般臨床医にわかりやすい形でのシミュレーションがなかった。そこで申請者は、光学設計ソフトを使用して角膜前後面を多項式による非球面で表現し、眼内レンズ挿入眼のモデルを作成する方法を考案し、そのモデルを用いて、軸外光線の3次元光学特性や収差を視覚的に評価する方法を開発した。

〔方法〕

光学設計プログラム(ZEMAX™)を用いて、標準模型眼を、回転対称非球面を表す8次の偶関数多項式として、コンピュータ上に表現した。角膜前後面形状解析装置から得られた角膜形状のデータを基に、角膜中央、中央から2.5mm、3.5mm、4.25mmの4点における角膜前面と後面の曲率半径を決定し、このデータから角膜モデルの多項式の4係数(k, a, b, c)を算出した。さらに、このモデル眼の水晶体部分を、眼内レンズの形状データ(前凸または後凸レンズ)で置換した眼内レンズ挿入眼のシミュレーションモデルを作成した。次に、モデル眼を立体表示し、視軸より45度傾いた光線を入射した。これにより子

午光束と球欠光束の非点収差の比較ならびにコマ収差の比較をおこなった。

〔結果〕

被験者より得られたデータを元に、 k (円錐係数)の値を算出したところ、前面が -0.087 、後面が -0.174 であった。多項式の補正項の係数は、前面が $a: 2.202 \times 10^{-5}$ 、 $b: -8.681 \times 10^{-7}$ 、 $c: 6.570 \times 10^{-9}$ 、後面が $a: 1.020 \times 10^{-4}$ 、 $b: -6.488 \times 10^{-6}$ 、 $c: 1.308 \times 10^{-7}$ であった。前凸型、後凸型限内レンズ挿入眼における軸外光線の光学特性の比較では、前凸レンズ眼は後凸レンズ眼に比べ、子午焦点と球欠焦点の距離の差が明らかに大きく、非点収差が大きいことを確認した。また、前凸レンズ眼における最小錯乱円のスポットダイアグラムはコマ収差による変形が大きかった。

〔考察〕

軸外光線は中心光線に比べて非点収差やコマ収差が大きいこと、眼内レンズ挿入眼においてはレンズ形状によりこれらの収差の大きさが異なることが分かっていた。しかし、これまでは、実際の光線の挙動を把握するためのモデルが不完全であった。申請者は、モデル眼を自在に3次元表示できる市販のプログラムを利用し、光線の挙動を視覚的に把握する方法を開発した。これにより、軸外光線が通過する角膜周辺部の形状を実際の角膜に十分近似させた上で、収差の大きさを評価することができた。

審査委員会は、モデル眼の周辺角膜を実際の角膜形状に近似させるために、測定装置から得られた角膜形状データを多項式非球面で取り扱い、市販ソフト上に表現する方法を開発したこと、これにより、周辺角膜を通過する周辺光線の精密なシミュレーションや、LASIKなどの屈折矯正手術後の視機能評価に耐えうる角膜モデルが作成できるようになったこと、を高く評価した。

審査の過程において、審査委員会は次のような質問を行った。

- 1) 眼球の湾曲や眼球の大きさが収差に与える効果
- 2) 検影法と自覚法の差
- 3) 屈折率の大きさと色収差の関係
- 4) プルキンエシフトと夜間近視の関係
- 5) 多項式に8乗の項までの偶関数を使用した理由
- 6) 角膜手術症例や治療法への応用性
- 7) 臨床眼底検査へ応用するときの課題
- 8) 代用レンズの性質と非点収差等の大小との関係
- 10) 代用レンズの材料
- 11) 代用レンズの長期耐性について

これらの質問に対する申請者の解答は適切であり、問題点もよく把握しており、博士(医学)の学位論文にふさわしいと審査員全員一致で評価した。

論文審査担当者 主査 寺 川 進

副査 福 田 敦 夫 副査 笹 倉 裕 之