
 原 著

水晶体内の屈折率分布，波長分散及びその温度変化について

奈良県立医科大学眼科学教室

森 岡 藤 光

REFRACTIVE INDEX AND CONSTRAINENCE OF THE OCULAR LENS

TOUKOU MORIOKA

Department of Ophthalmology, Nara Medical University

Received June 2, 1999

Abstract : Purpose : To analyze the change of the refractive index distribution, and Abbe number of the lens near body temperature, and investigate their effects on the refraction of the eye.

Methods : The materials were crystalline lenses extracted from ten pig eyes. The refractive index, chromatic dispersion, and Abbe number were measured at $36 \pm 3^\circ\text{C}$ with the Abbe's refractometer.

Results : The refractive index was the highest in the lens core ($n_D = 1.4236$) and significantly low in the peripheral cortex ($n_D = 1.3881$) ($p = 0.0001$). The temperature had no effect on the refractive index of the lens core ($p = 0.9404$), but at the peripheral cortex this index increased with the increase in temperature ($p = 0.0107$). The chromatic dispersion decreased in the peripheral cortex with the increase in temperature ($p = 0.0281$). Although the mean value of Abbe number of the lens ranged from 28 to 42, the regional differences were not clear ($p = 0.0803$). With the change of temperature, there were regional differences in Abbe number of the various parts of the lens ; this index tended to increase with the increase in temperature in the peripheral cortex.

Conclusion : The refractive index of the lens was found to be high in the lens core and low in the peripheral cortex. The chromatic dispersion as well as Abbe number in the inner part of the lens were not constant, but clearly showed topographic distribution.

Moreover, their optical characteristics also showed temperature dependency.

(*奈医誌. J. Nara Med. Ass.* 50, 287~293, 1999)

Key words : refractive index, chromatic dispersion, Abbe number, lens of pig eye.

緒 言

眼のレンズである水晶体の形状や光学特性については古くより研究がなされ^{1,2)}、眼の屈折や調節機能の研究に大いに貢献してきた。水晶体が混濁する白内障に対する外科的摘出術や人工レンズの置換手術もこの十数年で飛

躍的に発展し、従来の開眼手術から屈折矯正手術へと様変わりしつつある^{3,4,5)}。最近の高齢化社会にあって Quality of life, Quality of vision への要求が極めて高まるにつれ、白内障手術や人工水晶体(眼内レンズ)に対する安全性だけでなく眼内レンズそのものや手術手技に対する高精度や高機能化への要求が高まっている。従来水晶

体の内部に屈折率の分布が存在することや水晶体の内部が非球面になっていることなどが判明しているが^{6,7,8)}、現在用いられている眼内レンズの大部分は分布を有さない均質屈折率でかつ球面のもので主流である。また眼内レンズの材質としては、従来のPMMA(Polymethyl methacrylate)だけでなく小切開白内障手術を可能にするため折り畳みできる材質(アクリル, シリコン)の眼内レンズも使用可能となっている。しかしながら、眼内レンズの高機能化に伴って光の波長分散や色収差が増加するとともに視機能への悪影響も指摘され始めている⁹⁾。術後の視機能を高めるためにはより生体の水晶体に近い眼内レンズの開発や水晶体置換材料、並びにその手術方法の確立がなされなければならない。さらに白内障術後の調節欠如を二重焦点や多焦点の眼内レンズで補う試みや術前後の分光透過率変化を改善する試みなども行われているが最適解は得られていない^{10,11,12,13)}。

本研究ではこのような未解決な問題を解決する試みの一手法として、水晶体そのものの光学特性をより詳細に調べることが目的として特に水晶体の屈折率の波長分散やアッペ数を実測するとともに、これらの光学特性の温度依存性についても実測し、術後屈折や視機能への影響についても検討した。

対象と方法

屠殺直後に摘出した豚眼の水晶体を数時間以内に摘出し、摘出直後に屈折率とアッペ数の測定を行った。ATAGO社製多波長アッペ屈折計DR-M2と恒温槽を用い、水晶体各部分の屈折率及びアッペ数をもとめた。測定条件は干渉フィルターによる波長486 nm(F線), 589 nm(D線), 及び656 nm(C線)で、また温度33°C, 36°C, 39°C及び室温25°Cとした。豚眼の水晶体は直径11~

12 mm, 前後径は約10 mmであるが、その中央部を前後方向に7 mmのトレパンにて切除し、周辺部と中央部に分離した。さらに中央部を眼科手術用ディスポーザブルメスにて前部, 中心部, 後部に三等分した。中央部を三等分するよりも、少ない体積では測定プリズム面に対し十分な体積が得られないことより全体を三等分とした。また周辺部は中央部を切除した残りのドーナツ状の部分、水晶体中心部より周辺部方向に眼科手術用ディスポーザブルメスを用い4分の1周切除したものを試料として用いた。

屈折率の測定は、臨界角法(Critical angle method)によるアッペの屈折計を用いておこない、試料と標準プリズムとの境界面での光の全反射の臨界角を測定することで行った¹⁴⁾。利点としては試料の角度測定が必要ないこと、液体、固体のいずれにも適用できること、不透明の試料にも適用できることである。また欠点としては測定プリズムに接する試料の表面部分だけの屈折率を測定すること、又プリズム表面に接する量の試料を要することである¹⁴⁾。この測定を各条件下でそれぞれ豚眼水晶体10例につきおこなった。明らかな水晶体の混濁や形態異常を有する水晶体や角膜混濁の存在する眼球は除外した。

また同一検体にて33°C~39°Cの条件下および室温下における複数検体の測定を行った。

結 果

1) 屈折率分布(部位による差)

測定された屈折率の平均値は室温25°C, D線589 nmにおいて中心部 $n_D^{25}=1.4227$, 周辺部 $n_D^{25}=1.3904$ と従来の報告にある室温D線590 nmにおける中心部 $n_D=1.4246$, 周辺部 $n_D=1.3922$, などと大差ない値であった^{6,15,16)}。

Table 1. Refractive index of pig lens parts on each temperature (Standard deviation)

		33°C	36°C	39°C
Anterior cortex	486nm	1.3896 (0.0169)	1.4005 (0.0165)	1.4032 (0.0152)
	589nm	1.3830 (0.0179)	1.3955 (0.0175)	1.3971 (0.0155)
	656nm	1.3761 (0.0182)	1.3902 (0.0167)	1.3910 (0.0147)
Core	486nm	1.4267 (0.0061)	1.4295 (0.0027)	1.4269 (0.0035)
	589nm	1.4212 (0.0067)	1.4236 (0.0032)	1.4212 (0.0042)
	656nm	1.4146 (0.0060)	1.4198 (0.0048)	1.4149 (0.0055)
Posterior cortex	486nm	1.3840 (0.0082)	1.3865 (0.0187)	1.3945 (0.0168)
	589nm	1.3796 (0.0096)	1.3819 (0.0182)	1.3882 (0.0147)
	656nm	1.3729 (0.0090)	1.3772 (0.0189)	1.3858 (0.0155)
Peripheral cortex	486nm	1.3898 (0.0074)	1.3923 (0.0135)	1.3983 (0.0059)
	589nm	1.3850 (0.0054)	1.3881 (0.0145)	1.3931 (0.0053)
	656nm	1.3777 (0.0074)	1.3813 (0.0129)	1.3889 (0.0059)

水晶体各部屈折率は中心部の水晶体核が36℃、D線589 nmの条件において、1.4236と最も高く、次に水晶体前面部が36℃、D線589 nmで1.3955とその次に高値であった。水晶体後部と周辺部はそれぞれ1.3819と1.3881と小さな値であった。また、C線、F線においても同じ傾向であった(Table 1)。

各部位の標準偏差は中央部で最も小さく589 nm、36℃において0.0032であるが、他の部位は大きく前部、後部、周辺部でそれぞれ589 nm、36℃で0.0175、0.0182、0.0145であった(Figs. 1~4)。中心部と周辺部の屈折率

の間に有意な差(t検定, Mann-Whitney検定, $P < 0.002$)を認めた。

2) 水晶体の波長分散とアッペ数

波長分散は36℃において中心部で0.010~0.012、周辺部で0.009~0.012で有意な差を認めなかった。(t検定, $P=0.1678$)。

アッペ数は光の分散度の逆数でありD線589 nmの屈折率を n_D 、F線486 nmの屈折率を n_F 、C線656 nmの屈

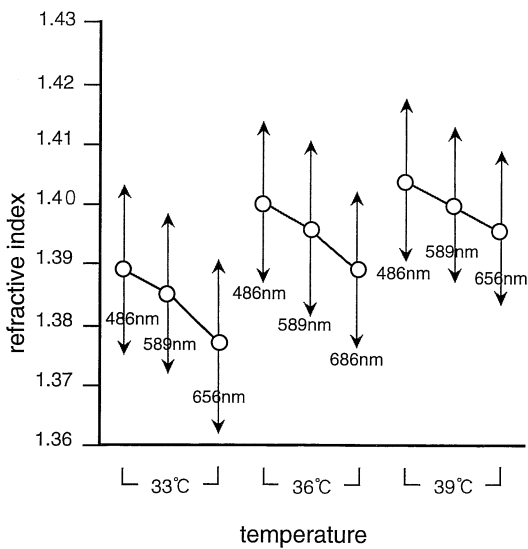


Fig. 1. Refractive indices and standard deviation of anterior lens cortex of pig on each temperature

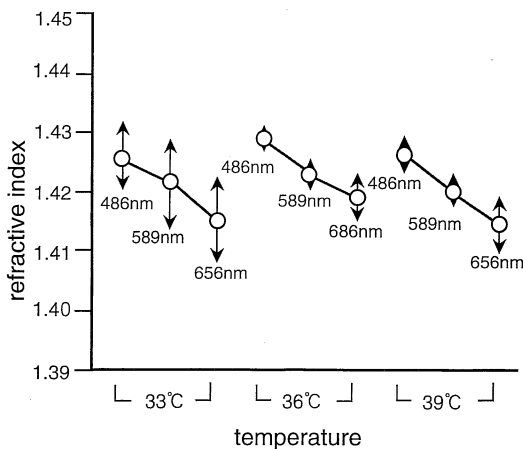


Fig. 2. Refractive indices and standard deviation of lens core of pig on each temperature

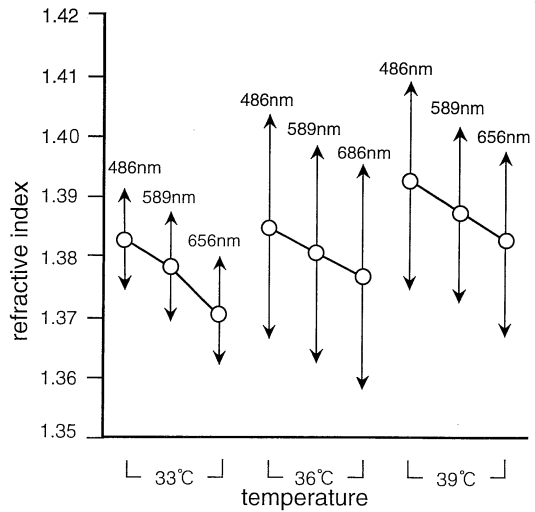


Fig. 3. Refractive indices and standard deviation of posterior lens cortex of pig on each temperature

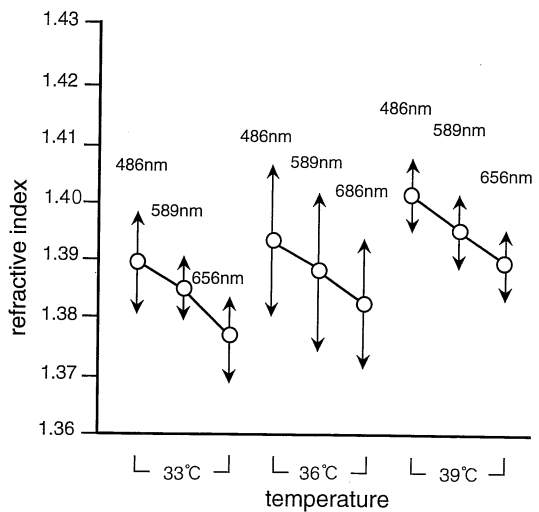


Fig. 4. Refractive indices and standard deviation of peripheral lens cortex of pig on each temperature

折率を n_c とすれば、アッペ数 n_D は $(n_D - 1) / (n_F - n_C)$ の式で与えられる。36℃の資料温度では従来の報告¹⁵⁾と同程度の 28 から 43 の値であったが標準偏差は 5~11 と大きかった(Table 2)(Fig. 5, Fig. 6)。中心部と周辺部のアッペ数には有意差を認めなかった。(t 検定, $P = 0.0803$)

3) 屈折率への温度の影響

水晶体各部位の温度による屈折率の変化は従来の報告には見あたらないが、今回温度による屈折率変動が認められた。中心部では 36℃において屈折率が高い傾向を示したが、温度変化に伴う屈折率変動の明らかな有意差を認めなかった(t 検定, $P = 0.9404$)。

周辺部では温度上昇に伴い屈折率も 0.0081~0.0112 程度増加し、統計学的な有意差を認めた(t 検定, $P =$

0.0107)(Fig. 7)。この傾向は前部および後部の水晶体皮質においても同様であった。

4) 波長分散とアッペ数への温度の影響

波長分散は中心部で 36℃で有意に小さく(t 検定, $P = 0.0461$)、周辺部において温度が上昇するほど有意に減少していた(t 検定, $P = 0.0281$)。波長分散の逆数であるアッペ数の温度による影響は、中心部 36℃のアッペ数が有意に大きかったが(t 検定, $P = 0.0181$)、周辺部では温度が上昇するほど有意に増加していた(t 検定, $P = 0.0141$)(Fig. 5, Fig. 6)。

前部、後部については明らかな変化は認められなかった(t 検定, $P = 0.0678$, $P = 0.2631$)。

Table 2. Abbe number (Upper) and chromatic dispersion (Lower) of pig lens parts on each temperature (Standard deviation)

	33℃	36℃	39℃
Anterior cortex	28 (11)	38 (9)	32 (6)
Core	35 (5)	43 (10)	35 (8)
	0.012	0.010	0.012
Posterior cortex	34 (9)	41 (5)	38 (11)
	0.011	0.009	0.010
Peripheral cortex	32 (6)	35 (7)	42 (7)
	0.012	0.011	0.009

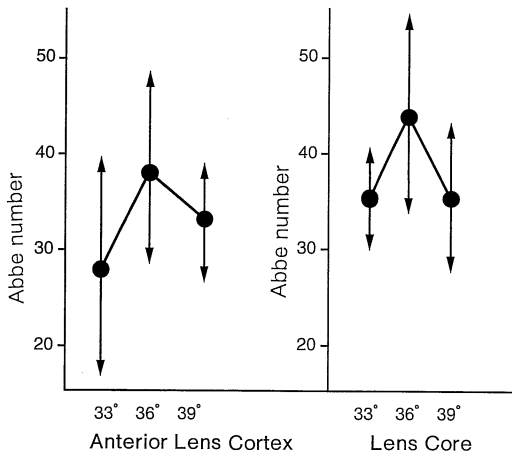


Fig. 5. Abbe number of pig lens on each temperature

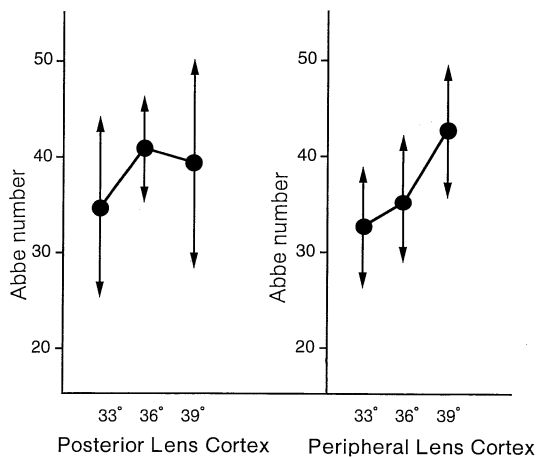


Fig. 6. Abbe number of pig lens on each temperature

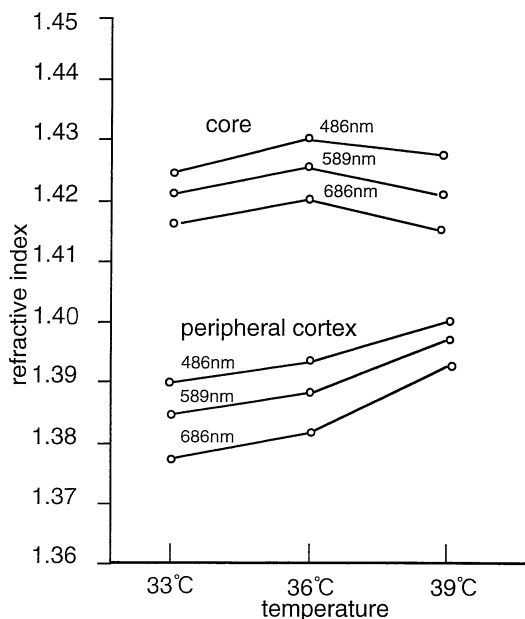


Fig. 7. Three wavelength refractive indices of pig lens core and peripheral cortex (temperature variation)

考 察

1) 屈折率

屈折率分布：水晶体の屈折率分布があることは既に報告されているが^{6,7,15)}、今回測定した豚眼水晶体の36°CでのD線586nmによる屈折率平均値は中心部で $n_{36}^D = 1.4236$ 、周辺部で $n_{36}^D = 1.3881$ であり中央部の核質部分と皮質周辺部の屈折率は明らかに差違が認められ中央部の屈折率が有意に高かった。

今回の測定実験では測定試料がアップ屈折計では大きな試料を必要とするため局所的な屈折率分布は測定できなかった。中央部と周辺部に屈折率の相違が認められたが、その相違は大きさが数mm径の試料平均での屈折率測定より生じる相違であると考えられる。特に周辺部の測定に関しては、標準偏差が中心核質部分の0.0026~0.0080に比べ0.0050~0.0145と大きく、プリズム面に接して測定されている部分が皮質の中央核付近の部分であったり、水晶体囊の近くの部分であったりしたことが標準偏差が大きくなった原因であると考えられた。

人眼との比較：近年はほとんどの白内障手術が超音波乳化吸引にておこなわれるため人眼の水晶体を検体として得ることは困難である。しかし過去の報告では、人水

晶体内においても屈折率勾配が存在し中心部の屈折率が高い構造となっていることが示されている²⁰⁾。また屈折率としては中心部で1.3983~1.4160、周辺部で1.3716~1.3860、全屈折率(水晶体を均質屈折率と考えた場合の平均屈折率)に換算すると1.3771~1.4367との報告がある^{2,6,15,16)}。

今回の豚眼における測定値は、人眼における測定値より全体にやや高値を示したが、中心部が周辺部に比べ0.02~0.03高い屈折率勾配を持つことは同様であった。

加齢による変化について：中心部と周辺部及び前後部の屈折率差と全屈折率との間には直線関係が見られ、同一中心屈折率の場合でも、屈折率差が大きいほど全屈折率の増加、したがって水晶体屈折力の増加が認められる^{17,18,19,20)}。人水晶体の前後径は加齢にともない増加し続ける^{21,22,23)}。また加齢に伴い蛋白質の粒子密度は増加し、水晶体核は増大し、不溶性蛋白質の含有量が増加する^{19,20)}。水晶体厚が加齢にともない増すのであれば加齢にともない近視化が起こるはずであるが実際は遠視となる。また同じ近い距離にある物体を見るとき、成人では若年者より水晶体が強く湾曲するというブラウンのパラドックス現象も存在する²⁰⁾。

水晶体の総蛋白質量は年齢とともに増加するが40歳を過ぎた頃より水溶性蛋白質の含有量は減少し、不溶性蛋白質の含有量が増加する^{22,23)}。増加率は周辺部では20%→44%であるが、中心部では20%→55%と増加する。

可溶性蛋白質と不溶性蛋白質を量子光学より比較すると可溶性蛋白質は分極率が高いため可溶性蛋白質が減少すると分極率が低下し屈折率は低下することになる⁹⁾。

また水晶体中心部においてより可溶性蛋白質が減少するので中心部の屈折率低下により全体の屈折率が低下するのみならず、周辺部と中心部との屈折率差が減少するため水晶体全体の屈折率(全屈折率)が低下すると考えられる。以上の事より水晶体厚の増加に反して遠視化の起こること、およびブラウンのパラドックス現象を説明することができる。

収差補正：眼の光学系において重要なものは球面収差と色収差であるが、実際の球面収差は水晶体屈折率が均一な模型眼に比べ小さい¹⁷⁾。その原因は主に角膜の屈折力が周辺部でより小さくなっている事と、水晶体に屈折率分布が存在するためである¹⁷⁾。

中尾らの非等質分布模型眼においては、水晶体屈折面が球面である場合と非球面である場合では球面収差の補正はほとんど行われませんが、中心部に高い屈折率分布を持つ水晶体であれば水晶体周辺部を通過する光線の屈折

が小さいため収差の補正に関し著しい効果を持つことが報告されている¹⁸⁾。

2) アッペ数と色収差

豚眼水晶体のアッペ数は従来の報告は少なく、中心部で48(±1)、周辺部で57(±1)との報告があるが^{2,15)}、今回の測定においても中心部の平均が36℃において45(±10)、周辺部の平均が36℃において36(±7)であった。水晶体の屈折率は模型眼において無調節時19.11 D²⁴⁾であるから、水晶体の軸上色収差は理論値として約19.11/36~45=0.42~0.53 Dと考えられる。人においては眼球全体の軸上色収差は1.37~1.82 Dであり、水晶体の色収差は眼球光学系の28.5%であるので0.38~0.53 Dとなり^{17,25,26)}、それに近い数値であった。

また温度によるアッペ数の変化は各部位において10前後であり色収差に対する影響は約0.10 Dの変化となるので軸上色収差に対する影響はきわめて少ないと考えられる。

3) 屈折率の温度による変化

今回の測定において水晶体各部位の屈折率は、33℃~39℃の設定温度内でも変化が認められた。D線589 nmにおいて水晶体前部の屈折率の変化がもっとも大きく0.014であり、中心部は0.002ともっとも変化は小さく、周辺部及び後部は0.010程度であった。その他の波長においても同様の変化を認めた。水晶体全体の屈折率が0.01増加した場合模型眼において全屈折力は2 D程度増加する^{2,6)}。もし水晶体全体の屈折率が0.014変化するのであれば、計算上全屈折力は2 D以上変化する事になり臨床で大きな問題を生ずると考えられる。しかし(1)中心部の屈折率の変化は0.002と小さいこと、(2)実際に生体内では33℃~39℃の大きな体温変化が生じることは考えにくく、発熱により体温が数度程度上昇する以外は温度変化を生じないこと、(3)温度が上昇することにより、中心部より屈折率の低い皮質(前部、後部、周辺部)の屈折率が高くなり、中心部との屈折率の差(屈折率分布)が減少することになり水晶体全体の屈折率の増加を小さくしていると考えられる。

4) 眼内レンズ移植時の問題点

現在は白内障手術においてほとんどの症例で眼内レンズの移植が行われるが、現在使用されている眼内レンズは回折型や多焦点型を除きほとんどが球面レンズであり、その屈折率は均一である。眼内レンズにおいても非球面レンズを用いる方が、特に瞳孔径の大きな場合有効である²⁷⁾。今回の測定でも水晶体の屈折率分布が球面収差の補正に対し有利に働いていると考えられるが、白内障手術が水晶体囊の再充填の術式に発達した場合、均一屈折

率物質では収差補正の面でも問題を生ずる可能性がある。

アッペ数に関しては現在用いられている眼内レンズの素材のアッペ数はPMMAが58程度、シリコンが41~48、アクリルが37~38である^{30,31)}。これは眼内レンズの度数が+20 Dと仮定すれば、F線とC線間で生じる眼内レンズ単体での軸上色収差は、PMMAが0.33 D、シリコンが0.50 D、アクリルが0.55 Dとなる^{30,31)}。

今回測定したアッペ数の平均値は36℃において36~45であり、シリコンやアクリルのアッペ数と大きな差はないが、人眼における水晶体のアッペ数が約50であること²⁸⁾、また人眼において色収差は年齢とともに減少すること²⁹⁾より、白内障手術を受ける年齢における水晶体のアッペ数はもっと高い値をとると考えられる。従ってシリコンやアクリルの眼内レンズを移植した場合、術前よりも色収差が増加する可能性がある。以上の事より眼内レンズのアッペ数は大きい程色収差の面で視機能に対し有利であり、アッペ数の小さいアクリルやシリコンの眼内レンズ移植眼では色収差が生理的状态よりも大きくなりQuality of visionの面で問題が生じる可能性がある。アッペ数がアクリルやシリコンより大きなPMMAの眼内レンズを移植した場合、切開創が大きく小切開手術という点では不利であるが、色収差や結像特性などの視機能ではより有利となる。

結 論

豚眼水晶体内部の屈折率およびその波長分散について各種生体温度下で測定した。その結果、以下の結論を得た。

水晶体各部の屈折率は、従来から指摘されているように中心部において高く周辺部で低い分布構造を認めた。しかし、屈折率の波長分散(アッペ数)については水晶体内での場所的な差異を認めなかった。

温度変化による影響については、温度の上昇にともない屈折率は水晶体周辺部で上昇する傾向があり、波長分散とアッペ数も各部位で変化に差を認めアッペ数は周辺部で上昇していた。つまり屈折率やその波長分散には温度依存性が認められ、視機能への影響が考えられた。

水晶体各部位において屈折率や波長分散などの光学特性およびその温度変化による差が明らかとなった。このことは、将来屈折矯正精度をさらに向上させる上で重要であるばかりか、今後最適な眼内レンズや人工水晶体置換材料の開発などにも貢献するものと考えられた。

謝 辞

本論文作成にあたり、ご指導とご高聞を頂きました奈

良県立医科大学眼科学教室 西信 元嗣教授に深甚なる謝意を表します。また, 本研究に際して直接ご指導いただき, また論文作成に当たり親身になり貴重なご助言を賜りました同教室魚里 博講師に深く感謝いたします。

文 献

- 1) Duke-Elder, S. S. and Abrams, D. : Ophthalmic Optics and Refraction, In : System of Ophthalmology (Ed. by Duke-Elder, S. S.), Vol. V, Henry Kimpton, London, p 93-125, 1970.
- 2) 中尾圭一 : 眼の生理光学, 生理光学と眼鏡による治療(神谷貞義・梶浦陸男 編)第2章, 医学書院, 東京, p 62-66, 1967.
- 3) 宮田和典・清水公也 : 偽水晶体眼における術後乱視. 眼科手術. 2 : 193-205, 1989.
- 4) Gorn, R. A. : Surgically induced corneal astigmatism and its spontaneous regression. Ophthalmic Surg. 16 : 162-164, 1985.
- 5) 三宅謙作 : 白内障手術の現状と将来. 眼科. 32 : 1225-1232, 1990.
- 6) 中尾圭一・大野崇司・永田良・岩田耕一 : 人水晶体屈折率分布. 臨眼. 23 : 903-906, 1969.
- 7) 中島 章・平野果・斉藤幸市 : 水晶体屈折率の部位分布について. 臨眼. 14 : 1666-1669, 1960.
- 8) 中尾圭一 : 眼球光学系の非球面性について. 臨眼. 30 : 1091-1101, 1976.
- 9) 永田豊文・久保田滋之・渡辺郁緒・青島真一 : 眼内レンズ挿入眼における色収差. 日眼会誌. 103 : 237-242, 1999.
- 10) 黒部直樹・馬嶋慶直 : 回折型多焦点後房レンズ. IOL. 6 : 117-119, 1992.
- 11) 魚里 博 : 多焦点 IOL. 臨眼. 47 : 124-127, 1993.
- 12) Duffey, R. J., Zebel, R. W., Lindstrom, R. L. : Multifocal intraocular lenses. J. Cataract Refract. Surg. 16 : 423-429, 1990.
- 13) 市川一夫 : 色視症—術後視機能の異常と評価. 眼科手術. 5 : 249-257, 1992.
- 14) 田中俊一 : 屈折率の測定, 光学技術(桑原五郎 編), 共立出版, 東京, p 303-330, 1984.
- 15) Sivak, J. G. and Mandelman, T. : Chromatic dispersion of the ocular media. Vision Res. 22, 997-1003, 1982.
- 16) 畑 文平・赤城五郎 : 眼屈折, 日眼全書 第8巻, 第1分冊, 金原出版, 東京, p 21, 1955.
- 17) 魚里 博 : 眼球光学, 眼光学の基礎(西信元嗣 編). 金原出版. 東京, p 120-143, 1990.
- 18) 中尾圭一・西信元嗣・峯 克彰・松島省吾・松田俊彦・河野優子 : 水晶体屈折率分布関数の理論的解析. 臨眼. 29 : p 841-844, 1975.
- 19) 神谷貞義・右衛門佐重雄・亀田 清 訳 : 水晶体分子および細胞生物学(ブルメンダール監修), メディカルブックサービス, 名古屋, p 281-327, 1987.
- 20) 神谷貞義・野村 健・浅井輝夫 : 加齢に伴う眼屈折度についての再考(1)Brownのパラドックス現象について. 眼紀. 40 : 1681-1697, 1989.
- 21) 狩野宏成・横山春子・坂本保夫・佐々木一之 : 加齢に伴う水晶体前後径の変化について. 眼紀. 34 : 813-817, 1983.
- 22) 岩田修造 編 : 水晶体とその生化学的機構. メディカル葵出版. 東京. P 229-231, 1986.
- 23) Satoh, K. : Age-related changes in the structural proteins of human lens. Exp. Eye. Res. 14 : 53-57, 1972.
- 24) 白柳守康 : 屈折率分布を考慮した模型眼の設計. 眼光学. 23 : 40-43, 1984.
- 25) Sivak, J. G. and Millodot, M. : Axial chromatic aberration of eye with achromatizing lens. J. Opt. Soc. Am. 64 : 1724-1725, 1974.
- 26) Thibos, L. N., Bradley, A., Still, D. L., Zhang, X. and Howarth, P. A. : Theory and measurement of ocular chromatic aberration. Vision Res. 30 : 33-49, 1990.
- 27) 福村精剛・牧野弘之・魚里 博・西信元嗣 : 球面および非球面眼内レンズ移植眼における術後視機能の比較. IOL. 8 : 240-246, 1994.
- 28) 魚里 博 : 眼のアップ数, 眼の軸上色収差と眼の倍率色収差. 視覚の科学. 15(特集号別冊) : 41, 1994.
- 29) Millodot, M. : The influence of age on the chromatic aberration of the eye. Arch. Ophthalmol. 198 : 235-243, 1976.
- 30) 魚里 博・植村佐知子・八木浩代・森岡藤光 : 眼内レンズの屈折率・アップ数と色収差, 第22回日本眼科手術学会総会(1999年1月29-31日/東京)講演抄録集 p.173
- 31) 魚里 博・西信元嗣 : 眼の色収差とアップ数, 第64回日本中部眼科学会(1998年10月2-4日/四日市市)講演抄録集 p.112