

人工硝子体の屈折率，波長分散の術後視機能におよぼす影響

奈良県立医科大学眼科学教室

志水敏夫

THE INFLUENCE OF REFRACTIVE INDEX AND CHROMATIC DISPERSION OF THE ARTIFICIAL VITREOUS ON POSTOPERATIVE VISUAL FUNCTION

TOSHIO SHIMIZU

Department of Ophthalmology, Nara Medical University

Received April 16, 1999

Abstract : In order to make ideal artificial vitreous, it is important to have knowledge of the optical properties of actual vitreous and vitreous replacement substance. The measurement of the refractive index, chromatic dispersion and its thermal alteration of the pig vitreous, silicone oil, and perfluorodecalin were made by using Abbe refractometer. The mean refractive index of pig vitreous was 1.3351, silicone oil 1.4053, and perfluorodecalin 1.3152 at 20°C using wavelength of 589 nm. The longer the measured wavelength the smaller the refractive index. The refractive index tends to be small as the temperature of measurement rises. The difference of the refractive index between 42°C to 20°C was very small (The pig vitreous 0.003, silicone oil 0.009, perfluorodecalin 0.009) so that variation of refractive index according to the thermal alteration of measurement was demonstrated to be very small. Postoperative refraction was calculated by ray tracing method based on Gullstrand's schematic eye. When the vitreous cavity of a phakic eye is filled with silicone oil, 8 D hyperopic shift was predicted and with perfluorodecalin 2.5 D myopic shift was predicted. Chromatic dispersion of pig eye was 0.8 D, with silicone oil, 0.88 D, with perfluorodecalin 0.53 D so that the chromatic aberration may be unaffected by these materials, and variation of chromatic aberration according to the thermal alteration was demonstrated to be very small.

(奈医誌. J. Nara Med. Ass. 50, 233~240, 1999)

Key words : vitreous, silicone oil, perfluorodecalin, refractive index, chromatic aberration

緒言

硝子体は、眼球容積のほぼ4/5をしめ、眼球の形態維持、眼球各組織の保護のほか光学的に重要な屈折要素である。昨今の手術器具の改良ならびに手術術式の進歩により硝子体手術の手術成績は飛躍的に向上している。現在は網膜の解剖学的復位や、眼球癆の予防など形態面での評価が主であるが、将来は術後屈折や色収差など視機能面での評価が重要になってくるものと考えられる。

現在、手術材料として用いられているシリコンオイル、

液体パーフルオロカーボン、滅菌空気などのいわゆる人工硝子体はタンポナーデ効果のみを期待する解剖学的復位を目的とするものであり、視機能的効果はほとんど顧みられていない。

硝子体屈折率はヒトでは1.3357(広瀬金之助), 1.334(Richard, O. W.)などで、平均1.3382(Duke-Elder, S. S.)といわれ、また房水とほぼ同じか、あるいはわずかに低いといわれている^{1,2)} これらの報告では、室温でのみ測定され、眼の波長分散すなわち測定波長による眼球組織の屈折率の変化はすくなく、測定温度による

変化に対する検討もなされていない。

ヒト硝子体の光学特性の測定は資料入手の面で現状では不可能である。今回我々は硝子体の屈折率および波長分散とその測定温度による変化を豚眼球硝子体を用いて検討した。また、望ましい人工硝子体の開発の一環として、現行の各種硝子体置換物質(人工硝子体)についても同様に屈折率および波長分散とその測定温度による変化を測定し、眼視機能への影響について検討した。

材 料 と 方 法

豚眼硝子体 30 例および現在硝子体手術後のタンポナーデ物質として利用されているシリコンオイル、液体パーフルオロカーボンのうち硝子体手術中に一時的置換物質として主に使用されている Perfluorodecaline(C₁₀F₁₈, 以後 PFD と略記する)を対象に, ATAGO 社製多波長アッベ屈折計 DR-M2 を用いて屈折率を測定した (Fig. 1)。

この屈折計は干渉フィルターとして A セット 589 nm (D), 486 nm (F), 656 nm (C), 546 nm (e) の 4 枚, B セット 589 nm (D), 546 nm (e), 480 nm (F'), 644 nm (C') の 4 枚の一種類があり (D, F, C, などはフラウンホーファによるスペクトル線を意味する.), そのうちの 486 nm, 589 nm, 656 nm を用いて波長分散を測定した。ナトリウムの D 線を基準にして測定し, 平均分散を $n_F - n_C$, n_F : 486 nm (F 線) の屈折率, n_C : 656 nm (C 線) の屈折率, アッベ数 $v_D = n_D - 1 / n_F - n_C$, n_D : 588 nm (D 線) の屈折率として計算した³⁾。測定範囲は, 屈折率 1.3000 ~ 1.7100, 測定精度は屈折率 ± 0.0002 である。循環式恒温水槽を接続することにより 5.0 ~ 60°C まで測定温度をを変えることが可能で, 今回は 20°C, 30°C, 36°C, 42°C と測定温度を変えて測定した。

サンプルの採取方法は豚眼では強膜, 脈絡膜, 網膜を剪刀にて切除し, 硝子体を露出し硝子体ゲルを採取して

測定を行った。採取する部位はとくに限定しなかった。シリコンオイル, PFD は注射器にて適量測定プリズム上に滴下した。結果を繰り返しのない二元配置分散分析により検討した。さらに, 得られた屈折率を Gullstrand の模型眼をもとに光線追跡法を用いて屈折度を計算し, 色収差についても検討した。

結 果

1) 室温での屈折率および屈折度

室温での屈折率および Gullstrand の模型眼において, 硝子体の屈折率が変化すると仮定した場合の屈折度を光線追跡法を用いて計算した値を Table 1 に示す。測定温

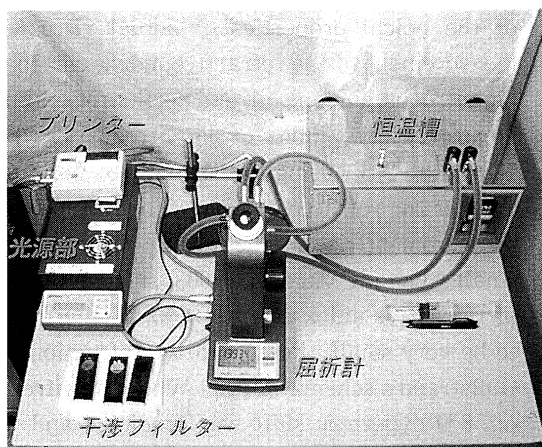


Fig. 1. The gross appearance of Multi-wavelength Abbe refractometer DR-M2. Three kinds of interference filter (589 nm, 486 nm, 656 nm) were used to measure refractive index, chromatic dispersion, and Abbe number. Measurement temperature were able to change with thermoregulator.

Table 1. The refractive index of vitreous according to Gullstrand's schematic eye, 30 pig vitreous, silicone oil, perfluorodecaline and air at 589 nm, room temperature (20°C). Standard deviation is shown as \pm . Refraction is calculated by Ray tracing method

	REFRACTIVE INDEX	REFRACTION
vitreous (Gullstrand)	1.336	+1.01D
vitreous (pig, n=30)	$1.3351 \pm 2 \times 10^{-4}$	+0.89D
silicone oil	$1.4053 \pm 1 \times 10^{-4}$	+9.29D
perfluorodecalin	$1.3152 \pm 1 \times 10^{-4}$	-1.68D
air	1.0003	-59.53D (589 nm 20°C)

度を20℃に設定し、波長589 nm(D線)を用いて測定すると、豚眼硝子体1.3351, シリコンオイル1.4053, PFD 1.3152であった。また、Gullstrandの模型眼の硝子体および空気の屈折率を表記した。眼球全体の屈折度は硝子体屈折率の変化により大きく異なり、シリコンオイルでは+9.29 D, 空気では-59.53 Dであった。

2) 波長分散とアッペ数

測定波長を486 nm, 589 nm, 656 nmと変化した場合の波長分散とアッペ数をTable 2に示す。豚眼硝子体の屈折率は486 nmにて1.3395, 589 nmにて1.3351, 656 nmにて1.3333, アッペ数は53.9であった。シリコンオイルは486 nmにて1.4110, 589 nmにて1.4053, 656 nmにて1.4032, アッペ数は51.7であった。PFDは486 nmにて1.3180, 589 nmにて1.3152, 656 nmにて

1.3140, アッペ数は80.8であった。測定波長が長波長になる程屈折率は小さくなる傾向がみられ、繰り返しのない二元配置分析にて有意差が認められた($P < 0.001$)。

3) 屈折率, 波長分散の温度変化による影響豚眼硝子体, シリコンオイル, PFDの屈折率, 波長分散の温度変化による影響およびGullstrandの模型眼において硝子体の屈折率が変化したと仮定した場合の屈折度を光線追跡法を用いて計算した値をTables 3~5に示す。豚眼硝子体は486 nm, 589 nm, 656 nmの各波長で, 20℃, 30℃, 36℃, 42℃と測定温度が上昇するにつれて屈折率が低下する傾向がみられ、繰り返しのない二元配置分析にて有意差が認められた($P < 0.001$)。眼球全体の屈折度は、硝子体の屈折率が低下すると減少した。シリコンオイルも同様に、測定温度が上昇するにつれて屈折率が

Table 2. The chromatic dispersion of 486 nm, 589 nm, 656 nm at room temperature. Abbe number $\nu_D = n_D - 1/n_F - n_C$

	486 nm	589 nm	656 nm	ν_D
vitreous (pig, n=30)	$1.3395 \pm 2 \times 10^{-4}$	$1.3351 \pm 2 \times 10^{-4}$	$1.3333 \pm 1 \times 10^{-4}$	53.9 ± 1.63
silicone oil	$1.4110 \pm 1 \times 10^{-4}$	$1.4053 \pm 1 \times 10^{-4}$	$1.4032 \pm 2 \times 10^{-4}$	51.7 ± 0.737
perfluorodecalin	$1.3180 \pm 1 \times 10^{-4}$	$1.3152 \pm 2 \times 10^{-4}$	$1.3140 \pm 2 \times 10^{-4}$	80.8 ± 3.174 (20℃)

Table 3. Influence of thermal change on the refractive index and chromatic dispersion of the pig vitreous at 20℃, 30℃, 36℃, 42℃. Refraction of whole eye is calculated when vitreous refractive index is changed

	20℃	30℃	36℃	42℃
486 nm	$1.3395 \pm 2 \times 10^{-4}$ (1.45D)	$1.3383 \pm 1 \times 10^{-4}$ (1.30D)	$1.3374 \pm 2 \times 10^{-4}$ (1.18D)	$1.3364 \pm 2 \times 10^{-4}$ (1.06D)
589 nm	$1.3351 \pm 2 \times 10^{-4}$ (0.89D)	$1.3339 \pm 2 \times 10^{-4}$ (0.74D)	$1.3332 \pm 2 \times 10^{-4}$ (0.65D)	$1.3322 \pm 2 \times 10^{-4}$ (0.52D)
656 nm	$1.3333 \pm 1 \times 10^{-4}$ (0.66D)	$1.3320 \pm 2 \times 10^{-4}$ (0.50D)	$1.3311 \pm 3 \times 10^{-4}$ (0.38D)	$1.3301 \pm 2 \times 10^{-4}$ (0.25D)

Table 4. Influence of thermal change on the refractive index and chromatic dispersion of silicone oil at 20℃, 30℃, 36℃, 42℃. Refraction of whole eye is calculated when vitreous refractive index is changed

	20℃	30℃	36℃	42℃
486 nm	$1.4110 \pm 1 \times 10^{-4}$ (9.93D)	$1.4070 \pm 7 \times 10^{-5}$ (9.49D)	$1.4046 \pm 1 \times 10^{-4}$ (9.22D)	$1.4020 \pm 4 \times 10^{-5}$ (8.92D)
589 nm	$1.4053 \pm 1 \times 10^{-4}$ (9.29D)	$1.4015 \pm 4 \times 10^{-5}$ (8.87D)	$1.3991 \pm 5 \times 10^{-5}$ (8.59D)	$1.3966 \pm 1 \times 10^{-4}$ (8.31D)
656 nm	$1.4032 \pm 2 \times 10^{-4}$ (9.06D)	$1.3992 \pm 7 \times 10^{-5}$ (8.60D)	$1.3968 \pm 8 \times 10^{-5}$ (8.33D)	1.3944 ± 0 (8.06D)

低下する傾向がみられ、繰り返しのない二元配置分析にて有意差が認められた($P < 0.001$)。眼球全体の屈折度は、シリコンオイルの屈折率が低下すると減少した。PFDの屈折率は486 nmでは測定限界を越えていたた

Table 5. Influence of thermal change on the refractive index and chromatic dispersion of perfluorodecaline at 20°C, 30°C, 36°C, 42°C. Because of measurement limitation, refractive index at 30°C, 36°C, 42°C of 486 nm were unable to obtain. Mean dispersion and Abbe number can only obtain at 20°C. Mean dispersion = $n_F - n_C$.

	20°C	30°C	36°C	42°C
486 nm	1.3180 (-1.31D)			
589 nm	1.3152 (-1.68D)	1.3113	1.3092	1.3068
656 nm	1.3140 (-1.84D)	1.3102	1.3081	1.3056
νD	80.08			
mean dispersion	$0.004 \pm 1 \times 10^{-4}$			

Table 6. The chromatic aberration of pig, silicone oil, perfluorodecaline at 20°C, 30°C, 36°C, 42°C

	20°C	30°C	36°C	42°C
vitreous (pig, n=30)	0.79D	0.80D	0.80D	0.81D
silicone oil	0.88D	0.88D	0.89D	0.86D
perfluorodecalin	0.53D			

め30°C, 36°C, 42°Cでは測定結果を得られず20°Cでのみ測定可能で589 nm, 656 nmでは測定温度が上昇するにつれて屈折率が低下する傾向がみられ、繰り返しのない二元配置分散分析にて有意差が認められた。 $(P < 0.001)$ 。

4) 色収差の温度変化による影響

豚眼硝子体, シリコンオイル, PFDの色収差およびその温度変化による影響をTable 6に示す。色収差は20°Cで豚眼硝子体0.79 D, シリコンオイル0.88 D, PFD 0.53 Dで測定温度が上昇してもほとんど変化がなかった。

5) アッペ数, 平均分散の温度変化による影響

豚眼硝子体, シリコンオイルのアッペ数, 平均分散の温度変化による影響をTable 7~8に示す。豚眼硝子体のアッペ数は20°Cで53.90, 30°Cで52.83, 36°Cで53.09, 42°Cで52.58。平均分散は20°Cで0.062, 30°Cで0.063, 36°Cで0.063, 42°Cで0.063であった。アッペ数は繰り返しのない二元配置分散分析にて有意差が認められたが($P < 0.01$), 平均分散は有意差が認められなかった($P = 0.07$)。シリコンオイルのアッペ数は20°Cで51.70, 30°Cで51.48, 36°Cで51.31, 42°Cで52.33であった。平均分散は20°Cで0.078, 30°Cで0.078, 36°Cで0.078, 42°Cで0.076であった。アッペ数, 平均分散とも、繰り返しのない二元配置分散分析にて有意差がめられた(アッペ数 $P < 0.05$, 平均分散 $P < 0.001$)。

5) 屈折率温度特性

豚眼硝子体, シリコンオイル, PFDの屈折率温度特性をFigs. 2, 3, 4に示す。各温度での屈折率の平均値およびそれらに対する近似曲線を表示した。標準偏差は各

Table 7. Influence of thermal change on the mean dispersion and Abbe number of the pig vitreous at 20°C, 30°C, 36°C, 42°C. In spite of thermal change, both mean dispersion and Abbe number were almost unchanged

	20°C	30°C	36°C	42°C
νD	53.90 \pm 1.63	52.83 \pm 1.49	53.09 \pm 1.44	52.58 \pm 1.64
mean dispersion	$0.0062 \pm 2 \times 10^{-4}$ $0.0063 \pm 2 \times 10^{-4}$ $0.0063 \pm 2 \times 10^{-4}$ $0.0063 \pm 2 \times 10^{-4}$			

Table 8. Influence of thermal change on the mean dispersion and Abbe number of silicone oil at 20°C, 30°C, 36°C, 42°C. In spite of thermal change, both mean dispersion and Abbe number were almost unchanged

	20°C	30°C	36°C	42°C
νD	51.70 \pm 0.74	51.47 \pm 0.46	51.312 \pm 0.97	52.33 \pm 0.30
mean dispersion	$0.0078 \pm 1 \times 10^{-4}$ $0.0078 \pm 7 \times 10^{-7}$ $0.0078 \pm 1 \times 10^{-4}$ $0.0076 \pm 4 \times 10^{-5}$			

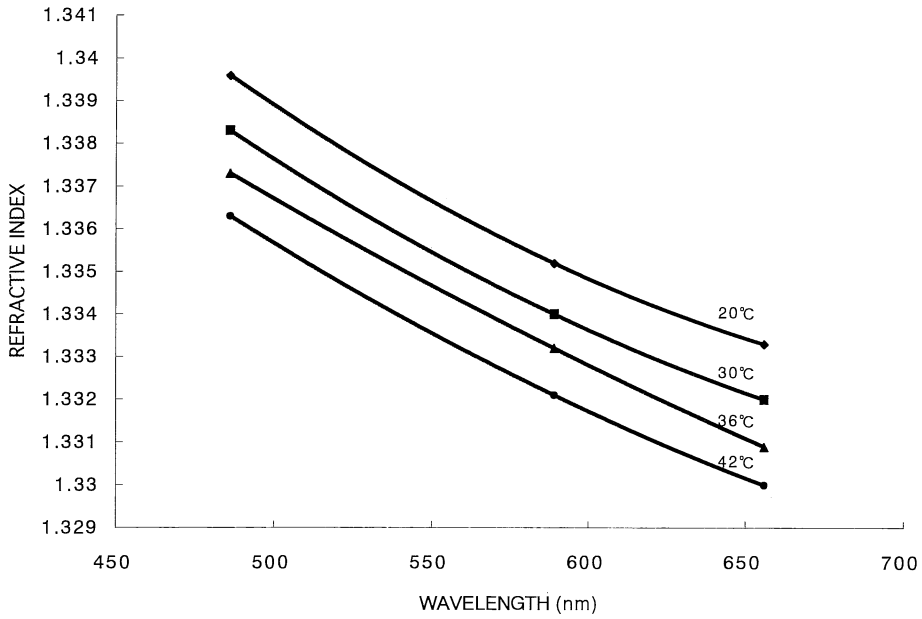


Fig. 2. Influence of thermal change on the refractive index and chromatic dispersion of the pig vitreous at 20°C, 30°C, 36°C, 42°C.

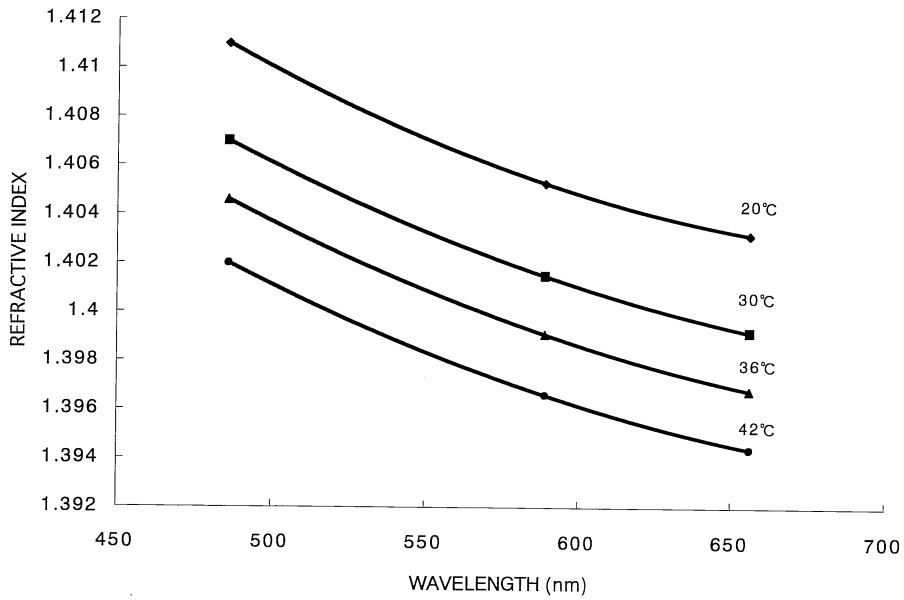


Fig. 3. Influence of thermal change on the refractive index and chromatic dispersion of silicone oil at 20°C, 30°C, 36°C, 42°C.

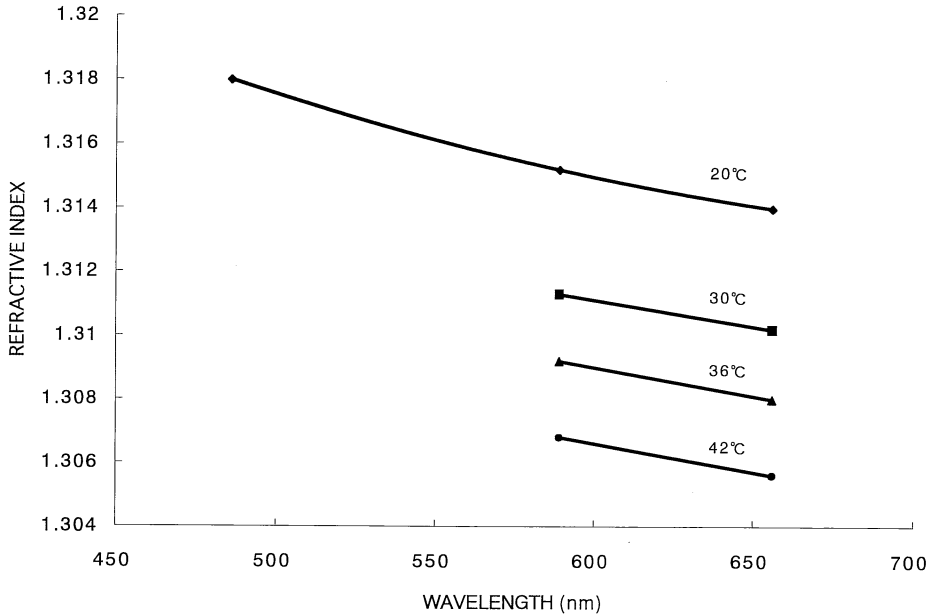


Fig. 4. Influence of thermal change on the refractive index and chromatic dispersion of perfluorodecaline at 20°C, 30°C, 36°C, 42°C. Because of measurement limitation, refractive index at 30°C, 36°C, 42°C, of 486 nm were unable to obtain.

々小数点以下4~5桁のためグラフ上には表示しなかった。温度が上昇すると屈折率は低下する傾向がみられた ($P < 0.001$)。

考 察

硝子体手術はその手術器具特に眼内操作に用いられる soft instrument の進歩ならびに後部硝子体剝離の確実な作成, 最周辺部までの硝子体切除, 眼内光凝固など手術術式の改良によりここ数年急速に発展し, 手術成績が向上し, 従来の糖尿病網膜症や増殖性硝子体網膜症はもとより特発性黄斑円孔, 加齢黄斑変性症, 黄斑浮腫など手術適応が拡大されるにしたがって, 術後の形態面のみならず, 現在白内障手術後に求められているような視機能すなわち quality of vision の評価が要求されるようになってきた。

硝子体手術後は現在おもに SF_6 (sulfur hexafluoride) や C_3F_8 (perfluoropropane) などの長期滞留ガスや, シリコンオイルがタンポナーデ物質として使用されている。

これらの物質が眼内に置換されているあいだは屈折が著明に変化しているために満足な視力が得られていないのが現状である。

理想的な硝子体置換物質を得るためには透明性や, 生体適合性, 強力なタンポナーデ効果はもちろんのこと術後の屈折変化を最小限にするために屈折率や色収差など光学的にも生来の硝子体と同様なものが求められる。さらには屈折力を変化させることにより屈折矯正の意味合いももたらすことができればなお有用である。

将来の理想的な人工的硝子体置換物質作成のために, 現在ある人工硝子体および生体の硝子体の光学特性を知ることが重要である。人間および他のほ乳類の眼球組織の屈折率の報告は古くからあり, 角膜屈折率 1.3763, 要(略)式眼では 1.3376 (Gullstrand), 眼房水屈折率 1.33366~1.33700, 水晶体皮質から核質に向かう等屈折率面の実測値では 1.3771, 1.3867, 1.3892, 1.4047, 要(略)式眼 (Gullstrand) では, 皮質 1.386, 核質 1.406, 硝子体屈折率はヒトでは 1.3357 (広瀬金之助), 1.334 (Richard,

O. W.)などで、平均は1.3382(Duke-Elder, S. S.)といわれ、また房水とはほぼ同じか、あるいはわずかに低いといわれている¹⁾。

1) 豚眼硝子体の屈折率

今回の計測では室温での屈折率は豚眼硝子体30例の屈折率平均 $1.3351 \pm 2 \times 10^{-4}$ (589 nm 20°C)であった。また、測定した硝子体の採取部位は特に限定しなかったにもかかわらず、屈折率のばらつきはほとんどなかった(SD=±1~2×10⁻⁴)。このことから硝子体の部位による屈折率の変動は水晶体とは違いほとんど認められず、個体による差も非常に小さい。すなわち光学的には一様に均一な物質であることが認められた。

2) 硝子体屈折率の波長分散とアッペ数

豚眼硝子体波長分散はSIVAK&MANDELMAN⁴⁾によると室温で440 nmにて1.3399, 486 nmにて1.3375, 590 nmにて1.3339, 650 nmにて1.3322と報告されている。今回の計測では、486 nmにて1.3395, 589 nmにて1.3351, 656 nmにて1.3333と測定波長が長波長になるほど屈折率は有意に低下していた(P<0.001)。アッペ数は53.9であった。平均分散($n_{486} - n_{656}$)は0.0062で、Table 6に示すように測定温度を変化させても色収差は約0.8 Dと一定で、温度変化により屈折率が変化しても色収差への影響はほとんどないと思われた。シリコンオイル、PFDも同様に測定波長が長波長になるほど屈折率は有意に低下していた(P<0.001)。シリコンオイルのアッペ数は51.7、平均分散は0.0078で、測定温度を変化させても色収差は約0.88 Dと一定で、温度変化により屈折率が変化しても色収差への影響はほとんどないと思われた。PFDのアッペ数は80.8、平均分散は0.004、20°Cでの色収差は0.53 Dで、手術中に色収差が問題となることはほとんどないと思われた。

3) 硝子体屈折率の波長分散と温度変化

豚眼硝子体の室温(20°C)での屈折率は589 nmで測定すると1.3351, 30°Cで1.3339, 36°Cで1.3332, 42°Cで1.3322であった。測定温度上昇により屈折率は有意に低下していた(P<0.001)。しかしその変化量は屈折度に換算すると大きくない。20°Cで測定した屈折率が体温である36°Cまで温度が変化したとしてGullstrandの模型眼⁵⁾を用いて計算すると約0.24 Dしか屈折度は変化しないことになる。また、486 nm, 656 nmにて測定しても同様に測定温度上昇により屈折率は有意に低下していた(P<0.01)。シリコンオイル、PFDも同様に測定温度上昇により各波長とも屈折率は有意に低下していた(P<0.001)。

4) 硝子体屈折率変化(人工硝子体)の屈折度への影響

硝子体屈折率の変化は臨床的にどのような影響があるであろうか。手術中に各種ガスやシリコンオイル、液体パーフルオロカーボンなど様々な物質が眼内に置換される機会が増加している。空気の屈折率は1.000, シリコンオイルの屈折率は1.405で房水や硝子体の屈折率1.336と大きく異なっているため、これらの物質が眼内に置換された場合眼球の光学系が大きく変化する。網膜硝子体術者は空気置換された眼球の眼底を見るのに物殊な手術用コンタクトレンズを必要とするし、シリコンオイルを注入された患者は眼鏡をあわせなければならない⁶⁾。

今回の計測ではシリコンオイルの屈折率は室温(20°C)で1.4053, PFDは1.3152と諸家の報告(シリコンオイル, 田原1.401~1.403⁷⁾, 前野1.4041⁸⁾, PFD1.31⁹⁾)と同様であった。

シリコンオイルは屈折率が高いため、硝子体内に注入した際に屈折力が大きく変化する。Stefanssonら⁶⁾によると、シリコンオイル注入眼では無水晶体眼では前方に凸になるため+レンズに作用し遠視が減少し、Gullstrandの模型眼に基づき計算すると6.9 D遠視が減少する。有水晶体眼では水晶体の後面にそって凹面になるため、レンズに作用し遠視が増加し、8 D遠視が増加する。

測定温度により、屈折率は減少するため、屈折度も減少するが、20°Cから36°Cに測定温度を変化させると0.7 D屈折度が減少し、臨床的に無視できない変化量である。

PFDは、現在網膜毒性が指摘されているため¹⁰⁾手術中にのみ使用されているが、屈折率が1.315と低いため硝子体置換材料として用いた場合、Gullstrandの模型眼に基づき計算すると2.67 D近視化することになる。

5) 眼内レンズ移植に伴う屈折変化

白内障手術時に眼内レンズ(IOL)を移植するさいに、通常の計算式でIOLパワーを計算した場合、ほとんどの形状のIOLで非常に大きい術後屈折誤差が生じる。McCartonyら¹¹⁾によるとメニスカスレンズであればBinkhorst SRK式で計算した予測値と術後屈折の差は最も少なく、また硝子体内の置換物質の変化(シリコンオイルを抜去して生理的食塩水に置換した場合など)に伴う屈折力の変化も減少する。と報告している。彼らは基本的なレンズ形状のconvex-plano, plano-convex, biconvex, meniscusの4種類のIOL形状を用いて、角膜屈折力を44 D, 前房深度を4 mm, 硝子体の屈折率を1.336と仮定して計算した。遠視化はIOLパワーが大きいほど大きく、後面がconvexのIOLで大きい。しかし、後面がplanoであっても硝子体との屈折率の違いに

より境界面で光束は屈折するため遠視化がおこる。メニスカスレンズの後面曲率半径がレンズと中心窩との距離と同じであれば、光線のレンズと硝子体およびレンズとシリコンオイルとの境界面での屈折はおこらない。後面曲率半径が20.57で、光学経が7mmのメニスカスレンズでIOLパワーが13~23Dであれば0.75D以下の屈折変化しかおこらない。

結論

今回計測した、豚眼硝子体、シリコンオイル、PFD各々では屈折率は測定波長が長波長になるほど屈折率は低下し、測定温度上昇により屈折率は低下していたが、その変化はきわめて小さく、臨床的には問題とならない程度であった。アッペ数、平均分散の測定温度による変化も小さく、色収差への影響はほとんどないことが判明した。しかし、人工硝子体の材質により屈折率が異なるため、置換後の屈折度は大きく変化する。

今後理想的な人工硝子体を開発するにはこれらの物質と同等かそれ以上の光学特性の安定性が要求され、屈折率も生来の硝子体に近いものが望まれる。

(謝辞：稿を終えるにあたり、ご指導、ご校閲を賜り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とともに、ご指導頂きました眼科学教室魚里博講師に深謝いたします。)

文 献

- 1) 中尾主一, 峯克彰: 新臨床眼科全書 3A 眼光学. 金原出版, 東京, p 8-23, 1989.
- 2) 神谷貞義, 梶浦睦雄: 生理光学と眼鏡による治療. 医学書院, 東京, p 66-68, 1967.
- 3) 魚里博: 眼のアッペ数, 視覚の科学 15: (別冊), p 20-23, 1994.
- 4) Sivak, J. G. and Mondelman, T.: Chromatic dispersion of ocular media. Vision Res. 22: 997-1003, 1982.
- 5) 魚里博: 眼球光学, 眼光学の基礎(西信元嗣編集)第IV章, 金原出版, 東京, p 119-143, 1990.
- 6) Stefansson, E., Anderson, M. M., Landers III, M. B., Tiedeman, J. S. and McCuen II, B. W.: Refractive changes from use of silicone oil in vitreous surgery. Retina. 8: 820-823, 1988.
- 7) 田原弘: 硝子体内シリコンオイル注入の健常家兔眼に及ぼす影響. 日眼会誌. 71: 363-379, 1967.
- 8) 前野貴俊: 網膜・硝子体・ぶどう膜 Q&A, II 網膜・硝子体/Surgical 面. あたらしい眼科 12: 109-112, 1995.
- 9) 柳田和夫: 網膜・硝子体・ぶどう膜 Q&A, II 網膜・硝子体/Surgical 面. あたらしい眼科 12: 106-108, 1995.
- 10) Miyamoto, K., Refojo, M. F., Tolentino, F. I., Fournier, G. A. and Albert, D. M.: Perfluoroether liquid as a long term vitreous substitute. An experimental study. Retina. 4: 264-268, 1984.
- 11) McCarty, D., Miler, K. M., Stark, W. J., Guyton, D. J. and Micheis, R. G.: Intraocular lens style and refraction in eyes treated with silicone oil. Arch. Ophthalmol. 105: 1385-1387, 1987.