

# 角膜の屈折率分布と波長分散に関する研究

奈良県立医科大学眼科学教室

渡 邊 千 博

## DISTRIBUTION OF REFRACTIVE INDEX AND CHROMATIC DISPERSION OF THE CORNEA

CHIHIRO WATANABE

*Department of Ophthalmology, Nara Medical University*

Received April 16, 1999

**Abstract:** Many refractive surgeries of the cornea (radial keratotomy RK, photorefractive keratectomy PRK, laser in situ keratomileusis LASIK) are done routinely in an increasing number of patients in many countries. However, few analyses of the cornea related to the corneal configuration change and refractive index distribution, which affect the postoperative visual outcomes, have been reported. We have analyzed the refractive index and chromatic dispersion of the cornea as a function of the temperature of pig eyes in vitro. Refractive index of various depth of the cornea was measured with a multi-wavelength Abbe refractometer at various temperatures. Experimental results show that refractive index and Abbe number are different at the corneal position (epithelium, stroma, endothelium). As the corneal temperature changes, the refractive index and Abbe number also changed significantly. It is concluded that the refractive index is depending on the axial position and the temperature. We need a further consideration of the optical properties such as refractive index and chromatic dispersion of the cornea for obtaining good visual outcomes after various kinds of recent refractive surgeries.

(奈医誌. J. Nara Med. Ass. 50, 241~251, 1999)

**Key words:** distribution of refractive index, Abbe number, pig cornea, refractive surgery

### 緒 言

近年、近視、遠視および乱視などの屈折異常を角膜の形状を変える手術によって矯正しようという試みが盛んになり、また実際広く行なわれるようになってきた。その手術手技そのものに関しては多数研究されており進歩してきたが、肝心な角膜そのものの屈折要素に関する基礎的文献や資料はほとんどないのが現状である。

畑・赤木<sup>1)</sup>は角膜組織の屈折率は人及び家畜においてはおおむね同一で平均1.376から1.378とあり、神谷・梶浦<sup>2)</sup>によると角膜の屈折率はヒトが1.33から1.3935で、ブタが1.370あるいは1.3721である、またSivak・Mandelman<sup>3)</sup>はヒト角膜の屈折率は波長486 nmで

1.3756、ブタが波長486 nmで1.3803、波長590 nmで1.3756、波長650 nmで1.3739であると報告している。

角膜は上皮、実質および内皮とそれぞれの境界をなす膜より構成されているが、これらの文献では角膜の測定部位にまでは言及していない。唯一Sudi P.<sup>4)</sup>らのみが角膜10眼での平均屈折率を実測しヒトでは角膜上皮で $1.401 \pm 0.005$ 、角膜実質前面で $1.380 \pm 0.005$ 、角膜実質後面で $1.373 \pm 0.001$ であり、ブタでは角膜実質前面で $1.373 \pm 0.004$ 、角膜実質後面で $1.362 \pm 0.005$ であったと報告している。一般的に屈折率は摂氏20℃においてナトリウムのD線の波長である589.29 nmを用いて計測されるが生体眼では角膜温度は約35℃付近で気温などの影響を受け一定していない。

そこで今回著者は角膜の上皮、実質および内皮における屈折率とそれらの屈折率の温度変化について測定を行ない検討した。

またこれらの角膜組織のうち角膜実質は約 800 μm の厚みがあるため、角膜実質においてはその深さの部位による差についても屈折率を測定し検討を行なった。

### 材 料 と 方 法

1. 予備実験として HORIBA 社製放射温度計 IT-540 S を用い室温 25℃における生理的な状態での角膜表面温度を角膜疾患のない正常ヒト 6 人 12 眼において測定した。
2. ATAGO 社製多波長アッベ屈折計 DR-M 2(Fig. 1) を用い豚眼における角膜上皮、角膜実質および角膜内皮の屈折率(波長 589 nm(D線), 486 nm(F線)および 656 nm(C線)), 平均分散およびアッベ数をそれぞれ摂氏 20℃と 35℃において計測した。

屈折計 DR-M 2 は Fig. 1 のごとく恒温槽を備えており摂氏 5℃から 60℃までの任意の温度条件のもとでの屈折率を測定でき、波長 589 nm, 486 nm および 656 nm のフィルターを順次使用することによってアッベ数も自動的に求めることができる。

角膜実質の屈折率測定においては測定する位置の条件

をそろえるため、米国 CHIRON VISION 社製ケラトーム(automatic corneal shaper)(Fig. 2)を用いて角膜表面より 400 μm の位置で角膜実質を切除し、得られたサンプルの実質面を測定し、角膜上皮の屈折率はそのサンプルの上皮面を測定した。

また、角膜内皮の屈折率測定には角膜を全層切除したものを標本として使用した。

3. 角膜実質においては、その深さによって屈折率に違いがあるかどうかを調べるため前述の automatic corneal shaper を用い角膜表面より 240, 300, 350, 400 および 450 μm の厚さで角膜を切除しそれぞれの深さでの角膜実質の標本を作成し、上記アッベ多波長屈折計を用いて摂氏 35℃の条件で屈折率とアッベ数を測定した。
4. 温度による屈折率の変化を角膜上皮、角膜実質および角膜内皮についてそれぞれ上記 2 と同じ方法で得られた標本と屈折計 DR-M 2 を用いて 20, 25, 30, 35, 40 および 45℃の温度条件で屈折率とアッベ数を測定した。

### 結 果

1. 生体人眼における角膜表面温度  
人眼角膜表面温度の測定結果を Table 1 に示す。  
人眼角膜表面温度は  $34.3 \pm 0.7^\circ\text{C}$  であった。この結果、人眼角膜表面温度を 35℃とし、20℃および 35℃における

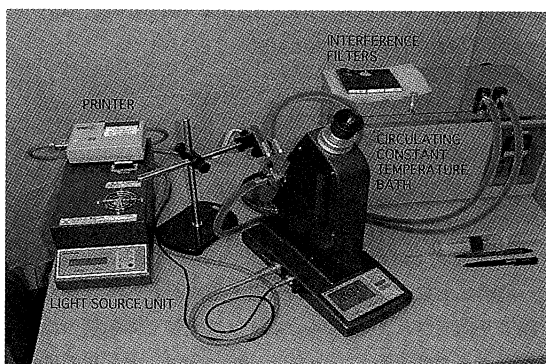


Fig. 1. Multi-wavelength Abbe refractometer DR -M2 (ATAGO)

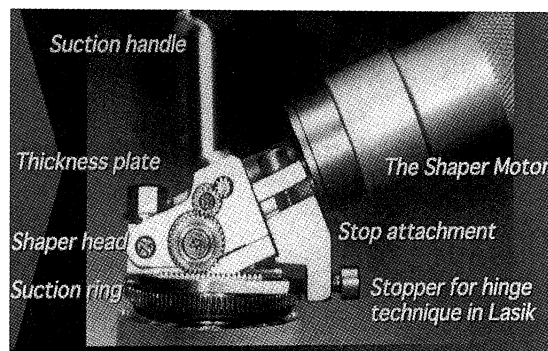


Fig. 2. Automatic corneal shaper (Chiron Vision)

Table 1. Temperature of corneal surface

	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6
Temperature of Right Cornea (°C)	35	33	35	34	34	35
Temperature of Left Cornea (°C)	35	33	34	34	34	35

角膜各部位の屈折率を計測した。

2. 角膜各部位における屈折率

2-1. 20℃における角膜各部位での屈折率

角膜上皮, 角膜実質, 角膜内皮をそれぞれ17眼ずつ測定した。結果をTable 2及びFig. 3に示す。

20℃における角膜上皮, 角膜実質および角膜内皮の屈

折率は波長589 nmでそれぞれ1.37131±0.00525, 1.36634±0.00471 および1.37288±0.00259であった。

また, 20℃の状態では角膜の全ての部位において測定する波長が長くなれば屈折率は低下した。

角膜の部位と測定波長とをともに母数因子と考え分散分析したところ(繰り返しのある二元配置)危険率1%で

Table 2. Refractive index of each position of cornea at 20℃

Position of Cornea	486 nm (F)	589 nm (D)	656 nm (C)	Abbe number	mean dispersion	n
Corneal Epithelium	1.37976±0.00566	1.37131±0.00525	1.36629±0.00674	31.82± 9.57	0.01347±0.00421	17
Corneal Stroma	1.37262±0.00529	1.36634±0.00471	1.36156±0.00725	40.01±15.80	0.01106±0.00787	17
Corneal Endothelium	1.37773±0.00427	1.37288±0.00259	1.36943±0.00452	48.27± 6.55	0.00787±0.00114	17

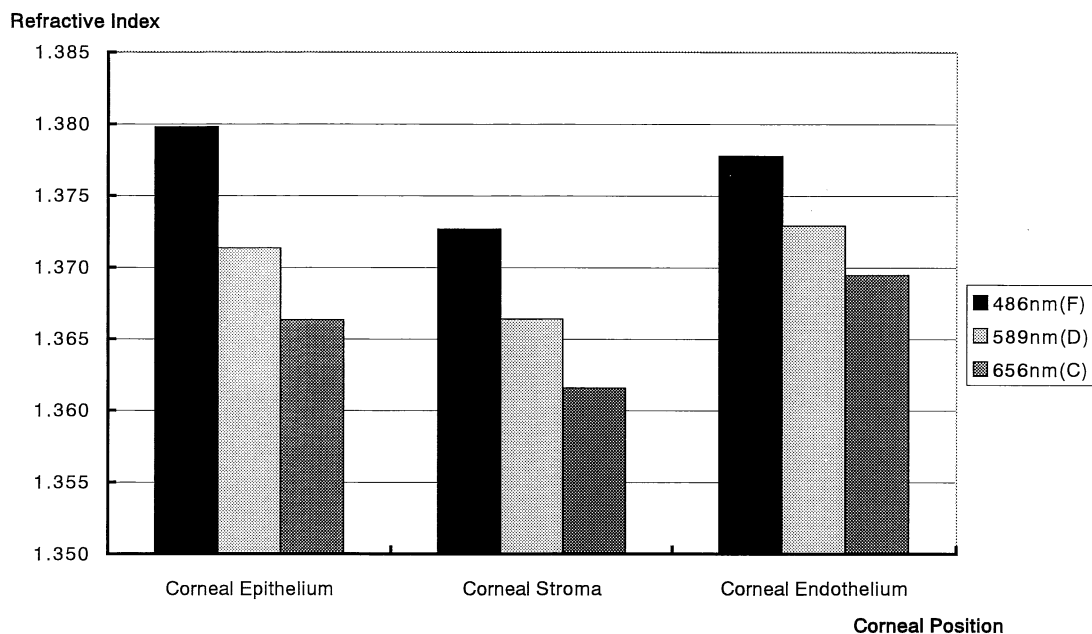


Fig. 3. Refractive index of each position of cornea at 20℃

Table 3. The analysis of variance for fig. 3.

Factors	SS	$\phi$	V	F <sub>0</sub>	p	F (0.01)
Position of Cornea	0.00123129	2	0.00061565	20.39769006	1.5861E-08	4.75563411
Wave Length	0.00301143	2	0.00150571	49.88760072	3.4582E-17	4.75563411
Interaction	0.00014306	4	3.5766E-05	1.185003684	0.31995089	3.45218609
Error	0.00434623	144	3.0182E-05			
Total	0.00873201	152				

有意差を認め(Table 3)屈折率の大きい順に角膜内皮, 角膜上皮, 角膜実質であった。

また 20℃における角膜上皮, 角膜実質および角膜内皮のアッペ数はそれぞれ  $31.82 \pm 9.57$ ,  $40.01 \pm 15.90$  および  $48.27 \pm 6.55$  で一元配置による分散分析で危険率 1% での有意差を認め, アッペ数は角膜内層にいくにしたがって有意に増加した。

さらに 20℃における角膜上皮, 角膜実質および角膜内皮の平均分散はそれぞれ  $0.01347 \pm 0.00421$ ,  $0.01106 \pm$

$0.00787$  および  $0.00787 \pm 0.00114$  で一元配置による分散分析で危険率 1% での有意差を認め角膜内層にいくに従って有意に減少した。

#### 2-2. 35℃における角膜各部位での屈折率

角膜上皮, 角膜実質及び角膜内皮の屈折率をそれぞれ 12 眼ずつ測定した。

結果を Table 4 及び Fig. 4 に示す。

35℃における角膜上皮, 角膜実質および角膜内皮の屈折率は波長 589 nm でそれぞれ  $1.40703 \pm 0.00540$ ,

Table 4. Refractive index of each position of cornea at 35℃

Position of Cornea	486 nm (F)	589 nm (D)	656 nm (C)	Abbe number	mean dispersion	n
Corneal Epithelium	$1.42463 \pm 0.00683$	$1.40703 \pm 0.00540$	$1.39921 \pm 0.00667$	$16.24 \pm 1.41$	$0.02542 \pm 0.00222$	12
Corneal Stroma	$1.42498 \pm 0.01103$	$1.40713 \pm 0.00752$	$1.39703 \pm 0.01147$	$15.12 \pm 2.47$	$0.07950 \pm 0.00628$	12
Corneal Endothelium	$1.37588 \pm 0.00160$	$1.37073 \pm 0.00143$	$1.36832 \pm 0.00180$	$51.58 \pm 8.68$	$0.00757 \pm 0.00119$	12

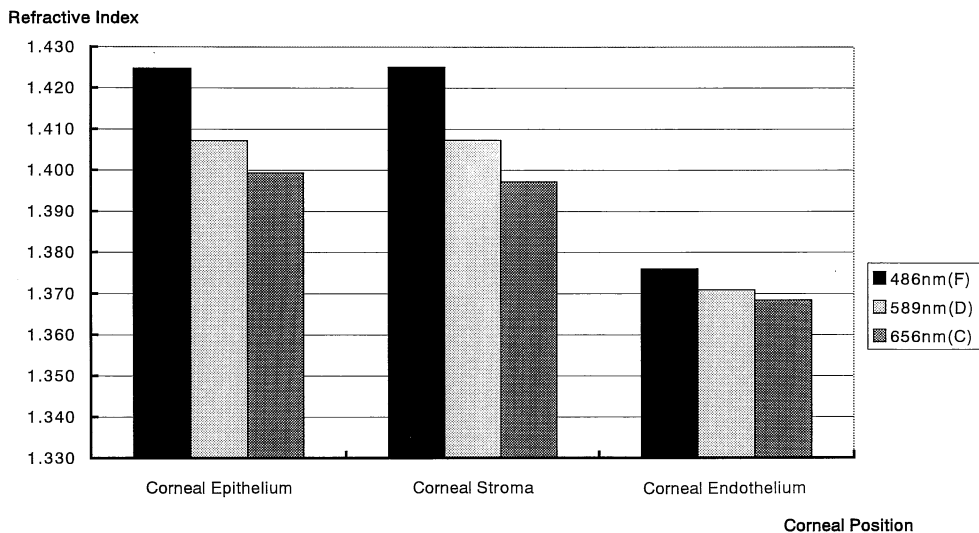


Fig. 4. Refractive index of each position of cornea at 35℃

Table 5. The analysis of variance for fig. 4.

Factors	SS	$\phi$	V	$F_0$	p	F (0.01)
Position of Cornea	0.03531596	2	0.01765798	332.6151405	1.1597 E-44	4.82617679
Wave Length	0.00445087	2	0.00222543	41.91945606	6.4796 E-14	4.82617679
Interaction	0.00478241	4	0.00119560	22.52100805	3.0211 E-13	3.51471385
Error	0.00525574	99	5.3088 E-05			
Total	0.04980498	107				

1.40713±0.00752 および 1.37073±0.00143 であった。

また、35℃の状態でも 20℃の時と同様角膜の全ての部位において測定する波長が長くなれば屈折率は低下した。

角膜の部位と測定波長とをともに母数因子と考え分散分析したところ(繰り返しのある二元配置)危険率 1%で有意差を認め(Table 5)屈折率の大きい順に角膜実質、角膜上皮、角膜内皮であり、20℃の時と逆転していた。

35℃における角膜上皮、角膜実質および角膜内皮のアーベ数はそれぞれ 16.24±1.41, 15.12±2.47 および 51.58±8.61 であり、角膜上皮と角膜実質の値との間には t 検定で有意差を認めなかった、しかし、これらの値に

比べ角膜内皮の値は有意に高かった。

また 35℃における角膜上皮、角膜実質および角膜内皮の平均分散はそれぞれ 0.02542±0.00222, 0.07950±0.00628 および 0.00757±0.00119 であり、角膜上皮と角膜実質の値との間には t 検定で有意差を認めなかった、しかし、これらの値に比べ角膜内皮の値は有意に低かった。

3. 角膜実質の異なる部位での屈折率

角膜表面より 240, 300, 350, 400 および 450 μm の部位での角膜実質の 35℃における屈折率をそれぞれ 12 眼ずつ測定した。

Table 6. Refractive index of each position of corneal stroma at 35℃

Position of Corneal Stroma(μm)	486 nm (F)	589 nm (D)	656 nm (C)	Abbe number	mean dispersion	n
240	1.41440±0.00988	1.40511±0.00654	1.38439±0.00889	14.54±4.12	0.03001±0.00965	12
300	1.42061±0.00790	1.40913±0.00781	1.37902±0.00936	10.71±3.84	0.04159±0.01045	12
350	1.42354±0.00919	1.40606±0.00692	1.38378±0.00560	10.61±2.24	0.03977±0.00753	12
400	1.42498±0.01103	1.40713±0.00752	1.39703±0.01147	15.12±2.47	0.02795±0.00628	12
450	1.42349±0.00900	1.40633±0.00674	1.39599±0.01007	15.35±2.50	0.02750±0.00634	12

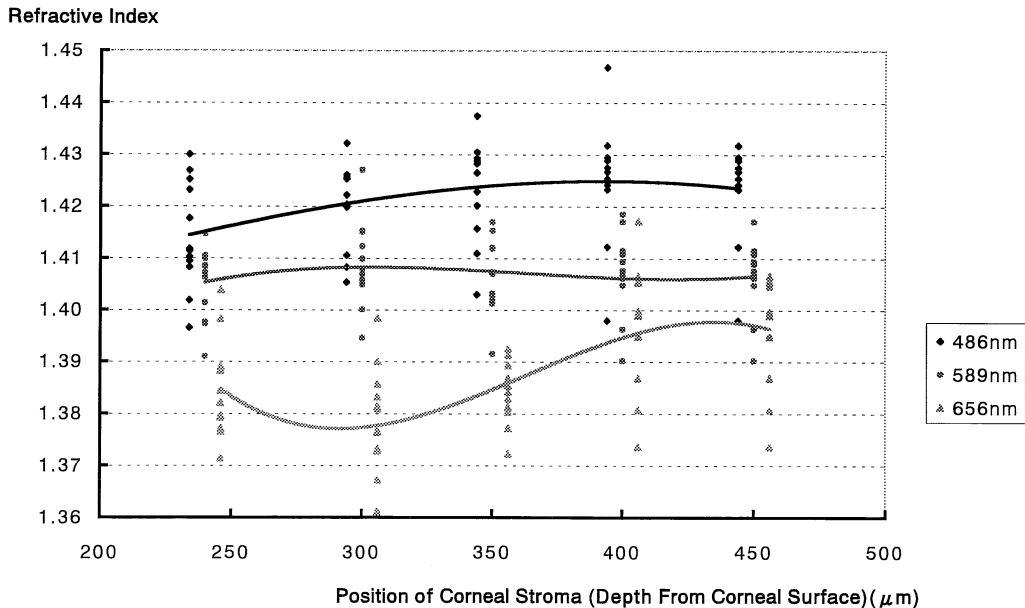


Fig. 5. Relationship between position of corneal stroma and refractive index

その結果 35℃ における波長 589 nm における角膜実質の屈折率は角膜表面より 240, 300, 350, 400 および 450  $\mu\text{m}$  の部位でそれぞれ  $1.40511 \pm 0.00654$ ,  $1.40913 \pm 0.00781$ ,  $1.40606 \pm 0.00692$ ,  $1.40713 \pm 0.00752$  および  $1.40633 \pm 0.00674$  であった。結果を Table 6 に示す。また、測定結果をグラフ化したものが Fig. 5 である。

波長 486 nm および波長 589 nm においては屈折率と実質の部位との間には有意差を認めず(一元配置による分散分析)、それぞれ約 1.42 および約 1.405 ではほぼ一定であった。

一方波長 656 nm においては屈折率と実質の位置との間に危険率 1% で有意差を認め(一元配置による分散分析)、屈折率は深さとともにいったん低下しその後 300  $\mu\text{m}$  あたりから増加する傾向を認めた。

しかしながら、計測した全ての部位において測定波長が長くなれば屈折率は低下した。

角膜実質の部位と測定波長とをともに母数因子と考え分散分析したところ(繰り返しのある二元配置)危険率 1% で有意差を認め(Table 7)波長 486 nm の屈折率と波長 656 nm の屈折率の差が深さとともにいったん増加しその後 300  $\mu\text{m}$  あたりから減少した。

アッペ数は深さ 240, 400 および 450  $\mu\text{m}$  の 15 前後の群と深さ 300 および 350  $\mu\text{m}$  の 10.0 台の 2 群に分かれ、この 2 群間には危険率 1% で有意差を認めた。

平均分散もアッペ数と同様深さ 240, 400 および 450  $\mu\text{m}$  の約 0.03 の群と深さ 300 および 350  $\mu\text{m}$  の約 0.04 の 2 群に分かれ、この 2 群間にも危険率 1% で有意差を認めた。

#### 4. 角膜各部位における屈折率の温度変化

##### 4-1 角膜上皮における屈折率の温度変化

角膜上皮の屈折率を 20, 25, 30, 35, 40 および 45℃ の各温度でそれぞれ 12 眼ずつ測定した。

その結果を表 Table 8 に示す。これをグラフ化したものが Fig. 6 である。

角膜上皮における屈折率は波長 486 nm では約 37℃

で 1.428, 波長 589 nm では約 38℃ で 1.412, 波長 656 nm では約 40℃ で 1.401 のピークをそれぞれ認め、任意の温度で測定波長が長くなれば屈折率は低下した。

角膜上皮の温度と測定波長とをともに母数因子と考え分散分析したところ(繰り返しのある二元配置)危険率 1% で有意差を認め(Table 9)それぞれの屈折率は約 38℃ 付近までは温度とともに増加し、波長 589 nm では 20℃ の値に比べ約 0.04 程増加した。

アッペ数と平均分散はどちらも危険率 1% で温度に対して有意差を認めた(一元配置の分散分析)。アッペ数は 30℃ で最低値 12.4 を、また平均分散は 30℃ で最高値 0.035 を呈した。

##### 4-2 角膜実質における屈折率の温度変化

角膜上皮より 400  $\mu\text{m}$  の位置での角膜実質の屈折率を 20, 25, 30, 35, 40 および 45℃ の各温度でそれぞれ 12 眼ずつ測定した。

その結果を Table 10 に示す。これをグラフ化したものが Fig. 7 である。

角膜実質における屈折率は波長 486 nm では約 36℃ で 1.427, 波長 589 nm では約 39℃ で 1.412, 波長 656 nm では約 40℃ で 1.400 のピークをそれぞれ呈し、角膜上皮と同様任意の温度において測定波長が長くなるに従って屈折率の値は低下した。

角膜実質の温度と測定波長とをともに母数因子と考え分散分析したところ(繰り返しのある二元配置)危険率 1% で有意差を認め(Table 11)それぞれの屈折率は約 38℃ 付近までは増加し、波長 589 nm では 20℃ の値に比べ約 0.045 程増加した。

アッペ数は 20℃ で約 43 であったが、25℃ から 45℃ までの間では約 14 から 15 で有意差を認めなかった。

平均分散も 20℃ では約 0.01 であったが、25℃ から 45℃ までの間では約 0.03 前後で有意差を認めなかった。

##### 4-3 角膜内皮における屈折率の温度変化

角膜内皮における屈折率を 20, 25, 30, 35, 40 および 45℃ の各温度でそれぞれ 12 眼ずつ測定した。

Table 7. The analysis of variance for fig. 5.

Factors	SS	$\phi$	V	$F_0$	p	F (0.01)
Position of Stroma	0.00189982	4	0.00047496	5.744472867	0.00023623	3.43490569
Wave Length	0.03355793	2	0.01677896	202.937366	3.3714 E-45	4.73613682
Interaction	0.0021513	8	0.00026891	3.252426677	0.00182176	2.62070898
Error	0.01364228	165	8.2681 E-05			
Total	0.05125133	179				

Table 8. Relationship between refractive index of corneal epithelium and temperature

Temperature(°C)	486 nm (F)	589 nm (D)	656 nm (C)	Abbe number	mean dispersion	Temperature	n
20	1.37897±0.00491	1.37043±0.00435	1.36427±0.00433	29.04±7.69	0.01470±0.00424	20.05±0.07	12
25	1.40277±0.01335	1.37647±0.01453	1.37353±0.01462	13.33±3.11	0.02923±0.00437	24.82±0.11	12
30	1.41213±0.00781	1.39693±0.00692	1.37754±0.01196	12.38±3.11	0.03459±0.01041	30.17±0.13	12
35	1.42463±0.00683	1.40703±0.00540	1.39921±0.00667	16.13±1.41	0.02542±0.00222	34.48±0.21	12
40	1.42973±0.00555	1.41053±0.00616	1.39997±0.00673	14.11±2.02	0.02976±0.00504	39.98±0.13	12
45	1.41233±0.00793	1.39792±0.00701	1.38799±0.00841	17.83±5.32	0.02434±0.00714	44.89±0.21	12

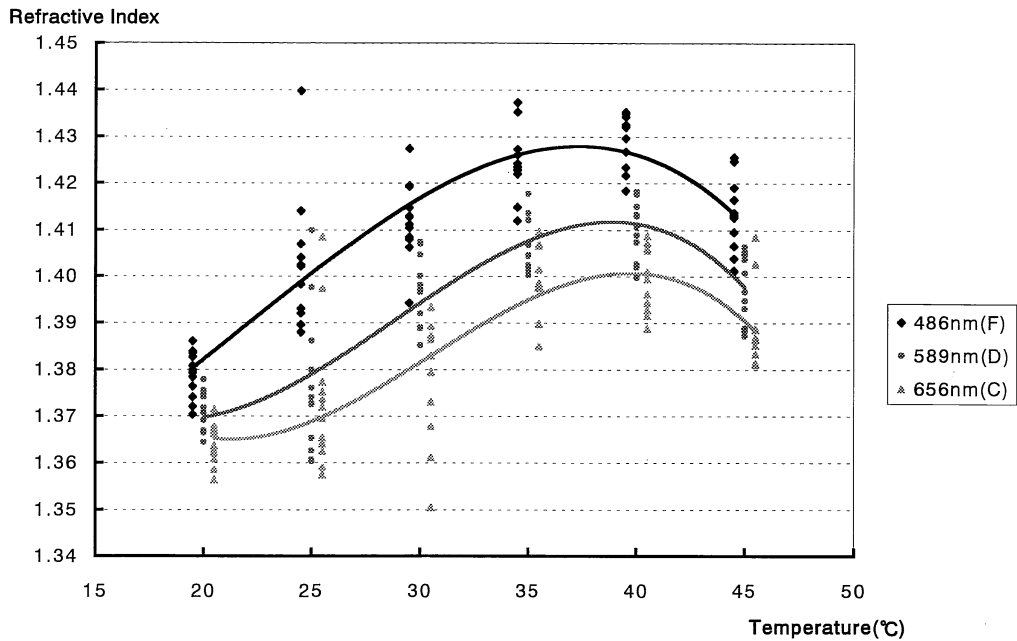


Fig. 6. Relationship between refractive index of corneal epithelium and temperature

Table 9. The analysis of variance for fig. 6.

Factors	SS	$\phi$	V	F <sub>0</sub>	p	F (0.01)
Temperature	0.04572709	5	0.00914542	113.5659231	3.3586 E-56	3.11092663
Wave Length	0.02563602	2	0.01281801	159.1713864	6.1515 E-42	4.71396788
Interaction	0.00223152	10	0.00022315	2.771058251	0.00317874	2.41155362
Error	0.01594486	198	8.053 E-05			
Total	0.08953949	215				

Table 10. Relationship between refractive index of corneal stroma and temperature

Temperature(°C)	486 nm (F)	589 nm (D)	656 nm (C)	Abbe number	mean dispersion	Temperature	n
20	1.37123±0.00476	1.36575±0.00459	1.36156±0.00555	42.73±14.82	0.00967±0.00329	20.01±0.08	12
25	1.40476±0.01211	1.38011±0.00658	1.37718±0.01027	13.95±1.65	0.02758±0.00292	24.83±0.06	12
30	1.41751±0.00567	1.40154±0.00913	1.38478±0.01311	14.17±6.73	0.03273±0.01019	30.16±0.11	12
35	1.42498±0.01103	1.40713±0.00752	1.39703±0.01147	15.12±2.47	0.02795±0.00628	34.56±0.21	12
40	1.42736±0.00634	1.40997±0.00626	1.40061±0.00624	15.43±1.20	0.02675±0.00201	39.99±0.09	12
45	1.41632±0.00817	1.40218±0.00750	1.39282±0.01168	18.12±4.20	0.02350±0.00584	44.93±0.18	12

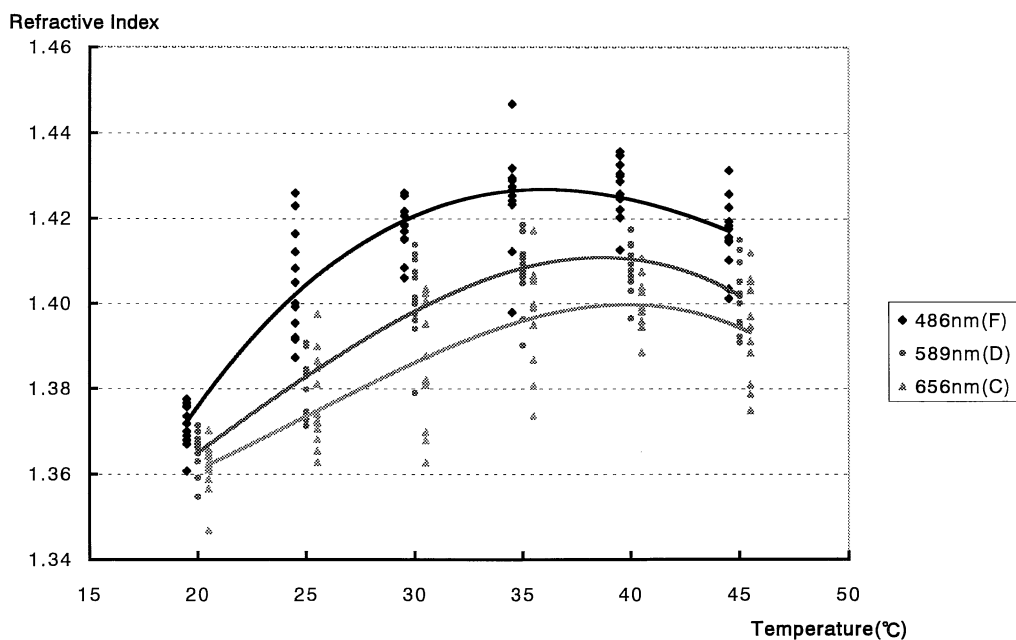


Fig. 7. Relationship between refractive index of corneal stroma and temperature

Table 11. The analysis of variance for fig. 7.

Factors	SS	$\phi$	V	$F_0$	p	F (0.01)
Temperature	0.05448096	5	0.01089619	133.675175	1.7693 E -61	2.25969643
Wave Length	0.02256621	2	0.01128310	138.421824	2.4623 E -38	3.04152081
Interaction	0.00252085	10	0.00025209	3.09259601	0.00111123	1.87876736
Error	0.01613947	198	8.1512 E -05			
Total	0.09570748	215				



その結果を Table 12 に示す。これをグラフ化したものが Fig. 8 である。

なり波長 486 nm, 589 nm および 656 nm のすべてで温度上昇とともに低下した。

角膜内皮における屈折率は角膜上皮や角膜実質とは異

しかし、屈折率そのものの値は角膜上皮や角膜実質と

Table 12. Relationship between refractive index of corneal endothelium and temperature

Temperature(°C)	486 nm (F)	589 nm (D)	656 nm (C)	Abbe number	mean dispersion	Temperature	n
20	1.37859±0.00240	1.37329±0.00229	1.37097±0.00216	49.13±2.86	0.00763±0.00048	19.98±0.06	12
25	1.37696±0.00086	1.37183±0.00103	1.36974±0.00087	51.72±3.40	0.00722±0.00041	24.99±0.05	12
30	1.37640±0.00062	1.37112±0.00065	1.36893±0.00065	49.72±1.41	0.00747±0.00021	29.99±0.14	12
35	1.37588±0.00167	1.37073±0.00149	1.36832±0.00188	51.58±9.07	0.00757±0.00125	35.03±0.14	12
40	1.37608±0.00100	1.37078±0.00099	1.36862±0.00101	49.74±1.39	0.00746±0.00021	40.00±0.16	12
45	1.37476±0.00073	1.36967±0.00074	1.36749±0.00064	50.94±1.80	0.00727±0.00027	44.96±0.28	12

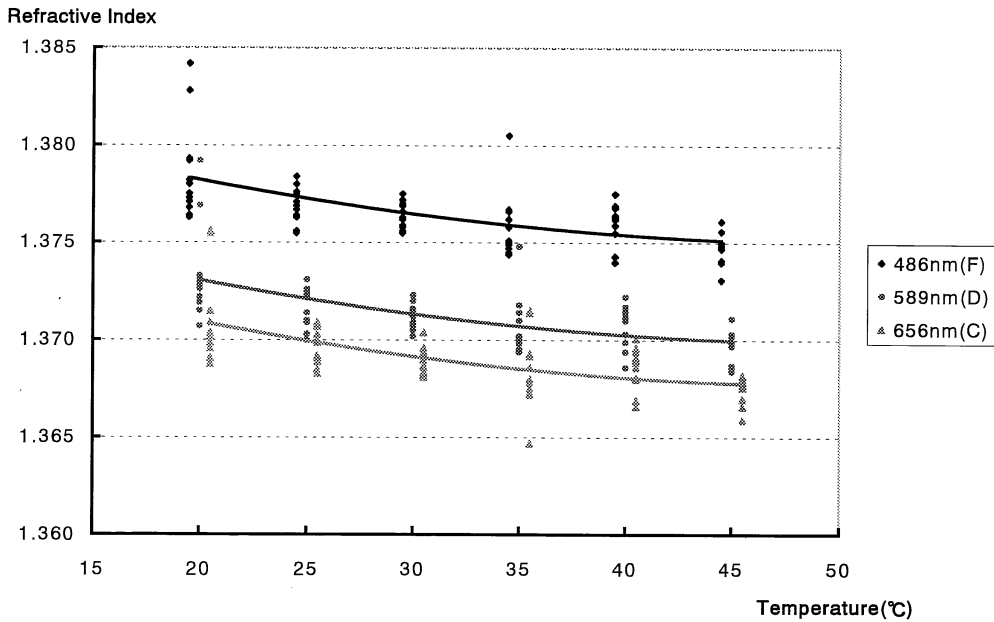


Fig. 8. Relationship between refractive index of corneal endothelium and temperature

Table 13. The analysis of variance for fig. 8.

Factors	SS	$\phi$	V	F <sub>0</sub>	p	F (0.01)
Temperature	0.00027499	5	5.4998E-05	28.55523323	9.4552E-22	3.11092663
Wave Length	0.00209576	2	0.00104788	544.0629928	3.5546E-81	4.71396788
Interaction	9.9213E-07	10	9.9213E-08	0.051511612	0.99999166	2.41155362
Error	0.00038135	198	1.9260E-06			
Total	0.0027531	215				

同様測定した任意の温度で波長が長くなると低下した。

角膜内皮の温度と測定波長とをともに母数因子と考分散分析したところ(繰り返しのある二元配置)危険率1%で有意差を認め(Table 13), 屈折率は温度とともに低下したが, 波長 589 nm における屈折率は 20°C から 45°C までの間の温度変化で約 0.004 程しか減少しておらず角膜上皮や角膜実質に比べ温度変化に対する影響は少なかった。

角膜内皮のアップ数と平均分散はそれぞれ約 50 と約 0.008 で温度差によって有意差は認められなかった(一元配置の分散分析)。

## 考 察

### 1. 生体人眼における角膜表面温度

生体人眼における角膜表面温度は約 35°C であったが実際の人眼においては眼球内部の温度は体温と同じ約 37°C と考えられるので真の角膜の屈折力を考慮するにあたり角膜の眼軸方向の温度勾配も考慮にいれなくてはならない。

### 2. 角膜各部位における屈折率

角膜屈折率は角膜上皮, 角膜実質および角膜内皮で異なり, また温度変化によっても差異があることがわかったが, 角膜内皮の屈折率が 20°C と 35°C とであまり変化しなかったのに対し角膜上皮と角膜実質の屈折率 20°C の値に比べて 35°C の値はどちらも 0.04 程増加していた。この事は真の角膜屈折力を求めるにあたって, 眼球の軸方向の位置の因子と温度変化の因子の両方を考えに入れてはならない事を示唆する。

### 3. 角膜実質の異なる部位での屈折率

角膜実質においてはその深さによって D 線および F 線における屈折率に有意差を認めなかったが, C 線における屈折率では有意差を認め深さ約 300  $\mu\text{m}$  までは減少しその後約 450  $\mu\text{m}$  までは増加した。そのためにアップ数や平均分散の実質の部位に対する有意差をきたしていると考えられる。

この事は角膜の表面あるいは実質を削ったりまたは角膜実質に角膜組織や人工角膜を移植するような角膜屈折矯正手術において十分に考慮されるべき問題であると考える。

### 4. 屈折率の温度による影響

角膜上皮, 角膜実質および角膜内皮のすべてにおいて屈折率は温度に対して有意差を認め, 角膜上皮と角膜実質とは屈折率は約 38°C 付近まで増加し, 一方角膜内皮では屈折率は温度とともに低下した。

しかしながら生体眼においては角膜表面は外気にさら

されているため気温や湿度の影響を受けやすいが角膜内皮面は体温が一定に保たれているかぎりあまり温度変化はないと考えられる。しかも外気の影響を受けやすい角膜上皮や角膜実質の方が屈折率も角膜内皮に比べて温度変化の影響が大きい, つまり角膜の眼軸方向の温度勾配が真の角膜屈折力を求めるにあたりいっそう問題になると考えられる。

### 5. 屈折率の測定法

今回の実験で使用した屈折計 DR-M 2 ではある程度の面積の試料を必要としたため, 角膜中央部でしか屈折率を計測できなかったが, 角膜中央部と角膜周辺部では屈折率が異なる可能性がある。

ただし生理的な状態では瞳孔径は約 4 mm 前後であるので特殊な状態を除いては角膜周辺部の影響をあまり受けないかもしれない。

また今回の実験では角膜上皮, 角膜実質, 角膜内皮のアップ数および平均分散にはかなりのばらつきを認めたがこの原因には計測したサンプルの個体差が考えられる。

## 結 論

1. 角膜すべての組織において, 測定する波長が長くなれば屈折率は低下するという波長特性を認めた。
2. 角膜上皮, 角膜実質および角膜内皮の屈折率の間には差異を認めた。
3. 角膜実質の屈折率はその深さの部位差によって有意な差を認めなかった。
4. 角膜上皮, 角膜実質および角膜内皮の屈折率はそれぞれ温度変化に伴い変化した。しかし角膜内皮の温度による屈折率変化は角膜上皮や角膜実質の屈折率変化に比べて十分に小さかった。
5. これまで角膜の屈折率は一様なものとして取り扱われてきた, しかし実際の角膜屈折率は眼球の軸方向の位置成分と温度変化との両方の影響を受けている。この事をふまえて角膜屈折矯正手術を行えばより良い手術成績が得られるものと考えられる。

(謝辞: 稿を終わるに臨み, 終始御懇篤なる御指導, 御校閲を賜りました眼科学教室西信元嗣教授に深甚なる謝辞を捧げるとともに, 本研究を御援助くださいました眼科学教室魚里博講師に感謝の意を表します。)

## 文 献

- 1) 畑 文平, 赤木五郎: 日本眼科全書 第 8 巻 眼屈折. 金原出版, 東京, p 12, 1954.
- 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 58, 1967.

- 3) **Sivak J. G.** and **Mandelman T.** : CHROMATIC DISPERSION OF THE CORNEAL MEDIA. Vision Res. **22** : 997-1003, 1982.

- 4) **Sudi P., Marshal J.** and **Frederick W. F.** III : Refractive Index of the Human Corneal Epithelium and Stroma. J. Refract. Surg. **11** : 100-105, 1995.