

眼光学の基礎

魚里 博

奈良県立医科大学眼科学教室
〒634 奈良県橿原市四条町840

1989年冬期視覚研究会でのレクチャー「眼光学の基礎」(Vision Vol.1 No.1 20-31)の図表を追加します。

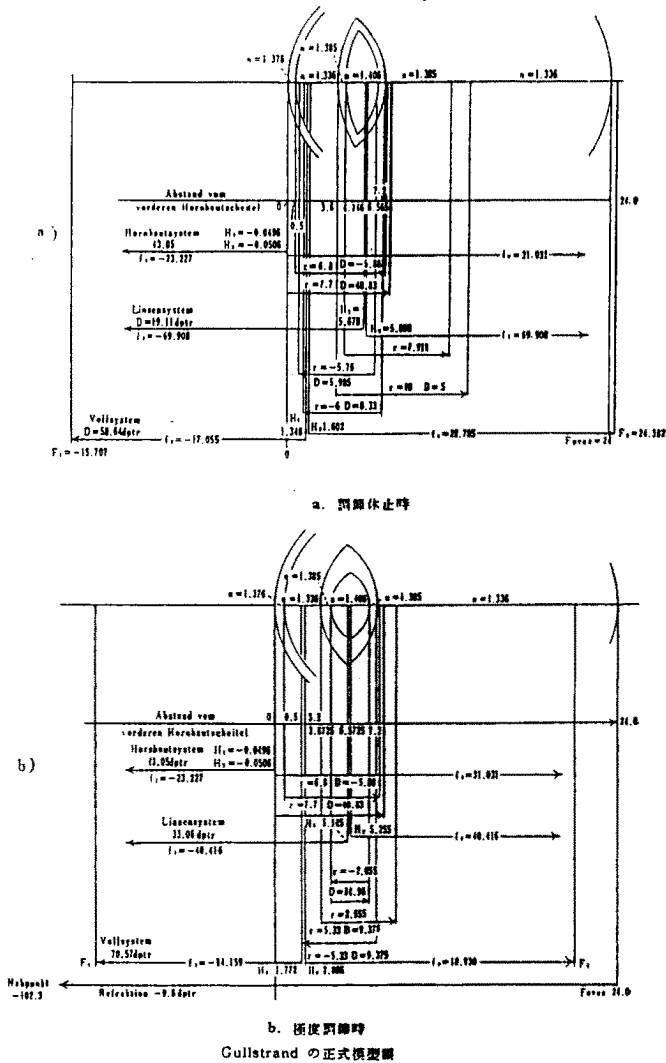
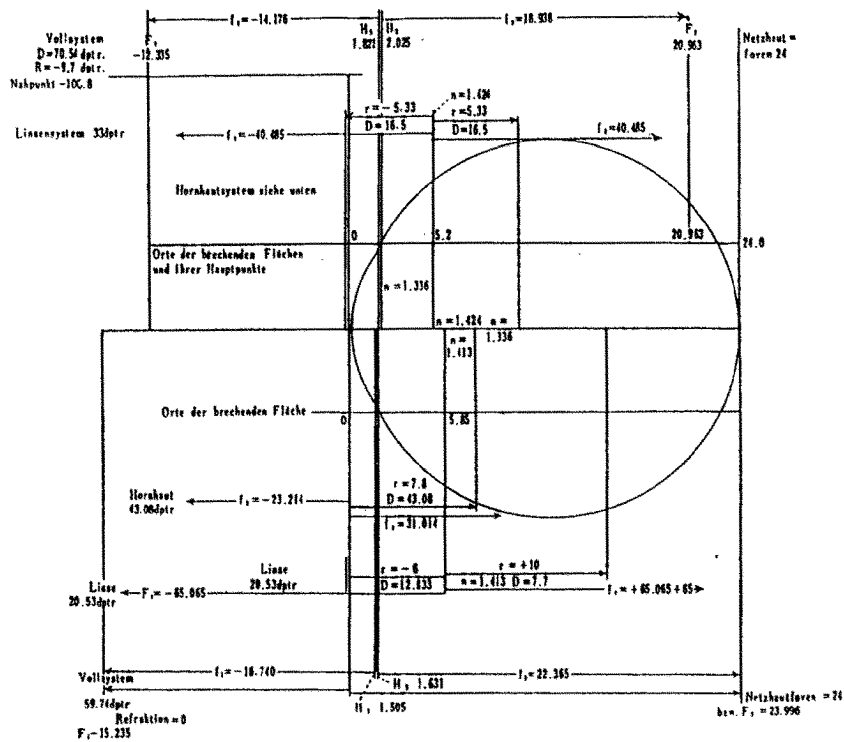
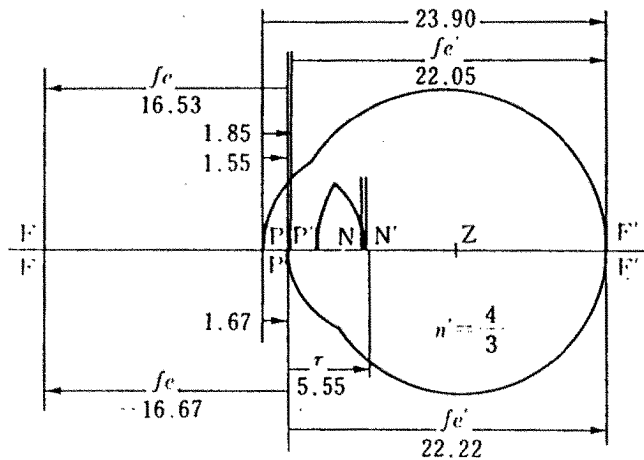


図2-1



Gullstrandの略式模型眼

図2-1(c)



Emsleyの模型眼(上半分)と省略眼(下半分)

図2-2

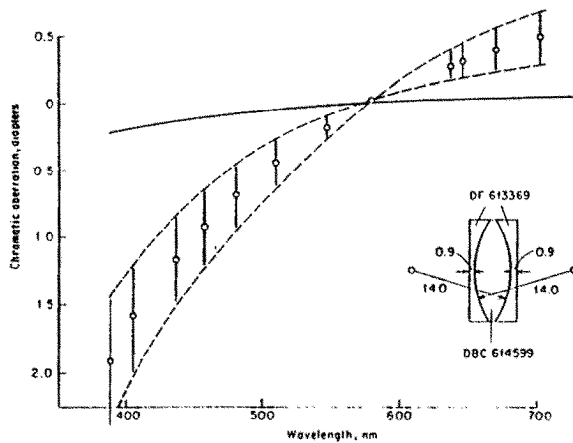
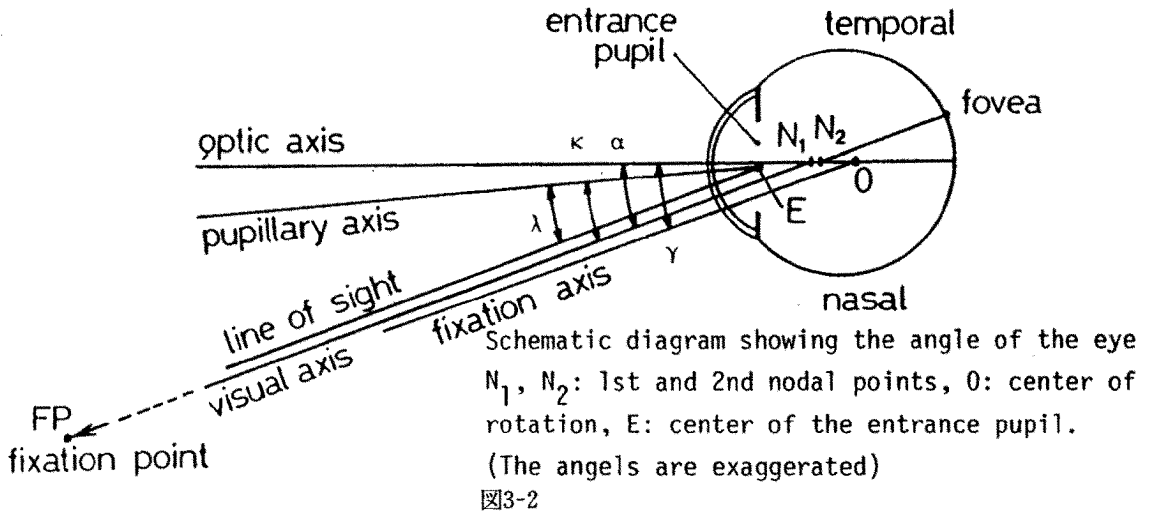
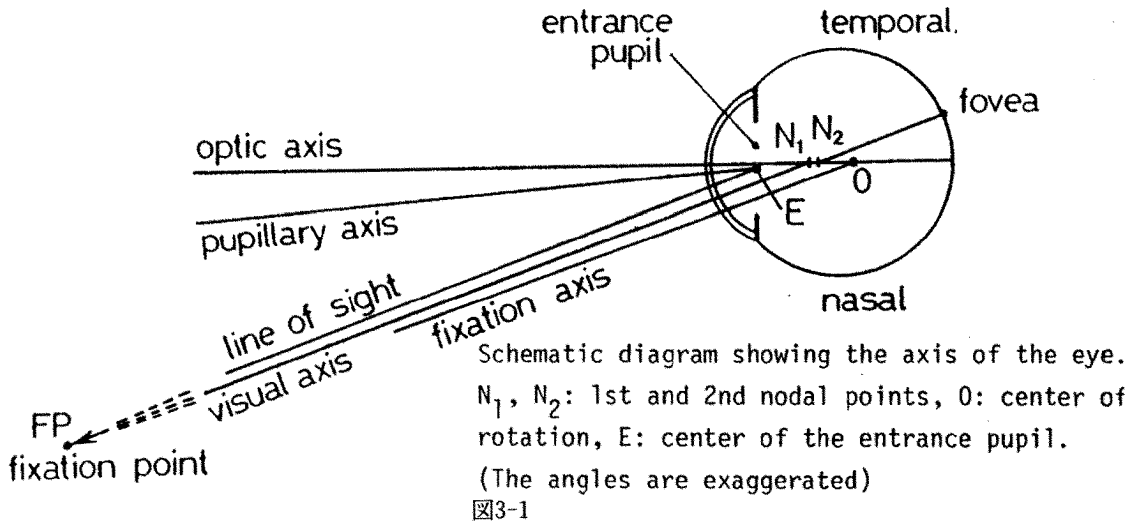


図4-1. 眼の色収差

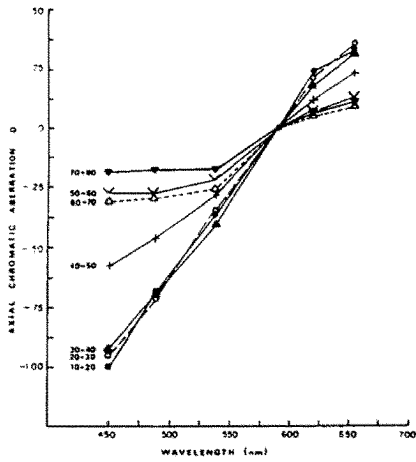


図4-2. 色収差への加齢の影響

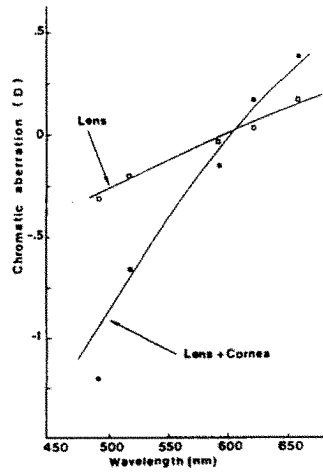


図4-3. 色収差への各屈折要素 (水晶体と角膜) の寄与

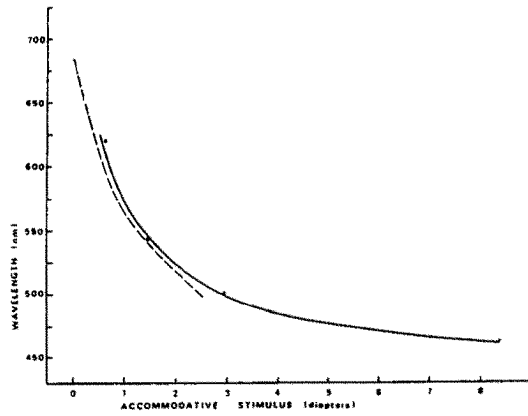


図4-4. 色収差と調節

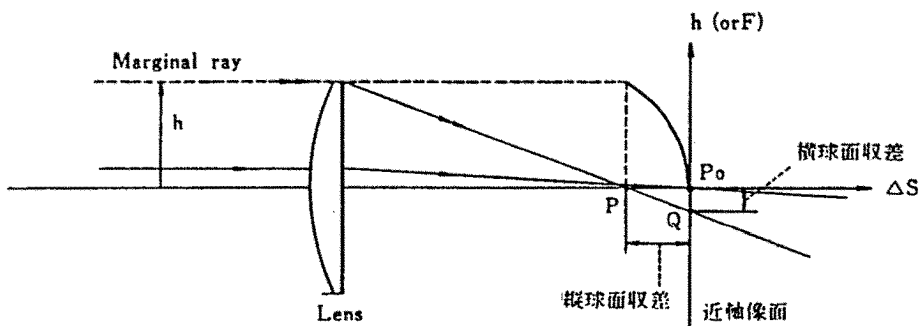


図4-5. 球面収差の説明

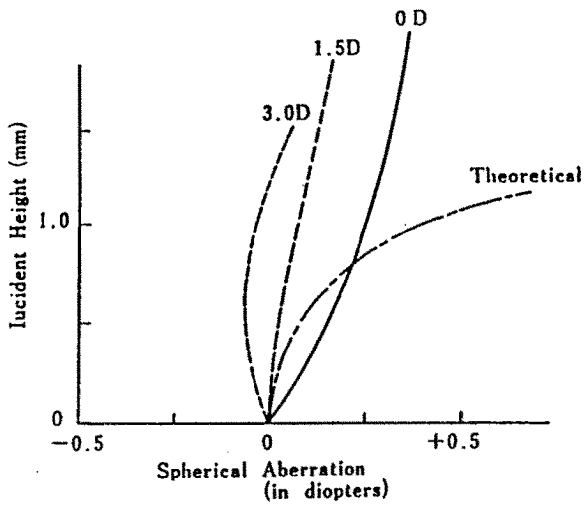


図4-6. 眼の球面収差

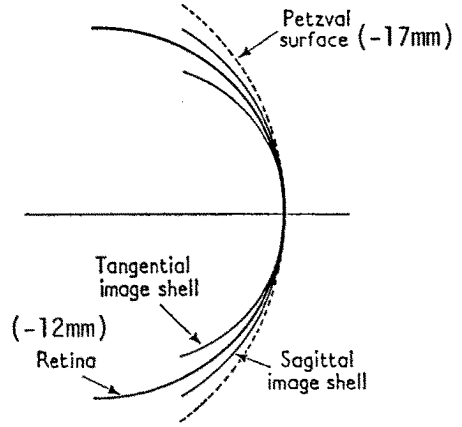
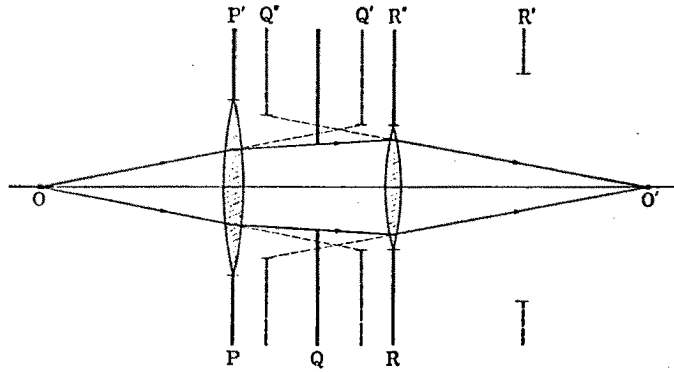
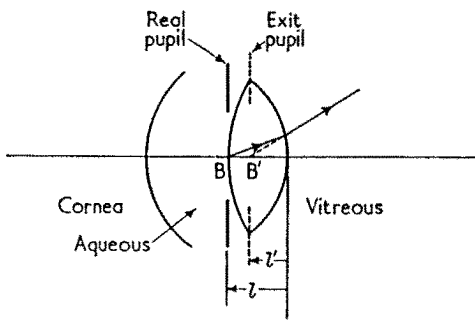


図4-7. 眼の非点収差と Petzval 面



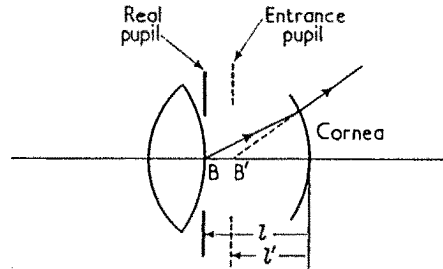
入射瞳、開口絞りの決定法

図5-1



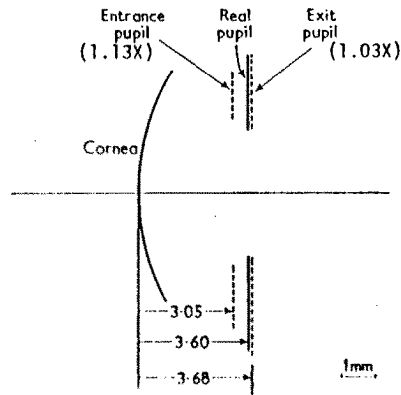
Position of exit-pupil of eye.

図5-2



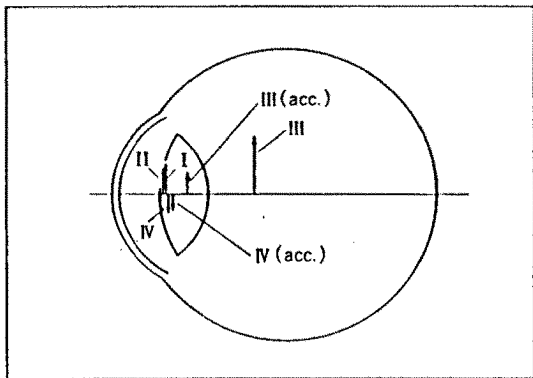
Position of entrance-pupil of eye.

図5-3



Relative positions and sizes of the actual pupil and the entrance- and exit-pupils of the eye

図5-4



有水晶体眼におけるブルキニエ像

図6-1

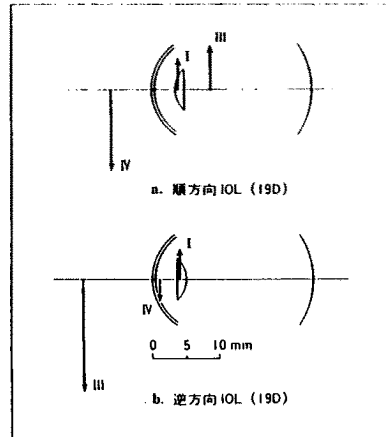


図6-2. 眼内レンズ移植眼におけるブルキニエ像. 第2像は有水晶体眼と同様, 第1像の近くに出来るが, 省略してある.

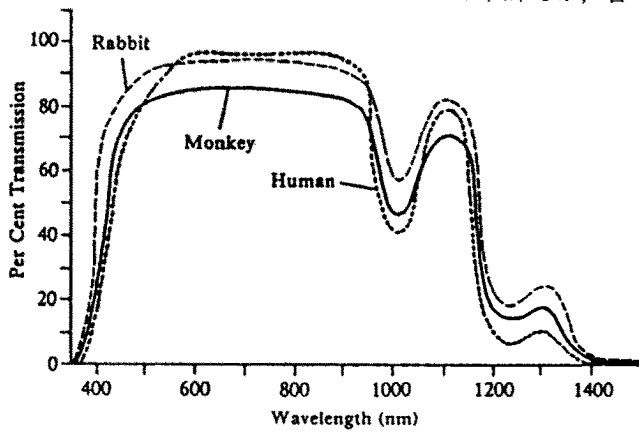
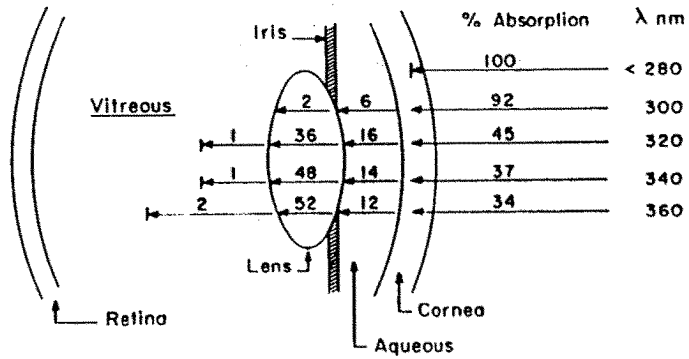


図7-1. 眼の分光透過率分布.



Schematic of absorption of ultraviolet radiation in the ocular media.

図7-2. 人眼の角膜における紫外線の吸収特性.

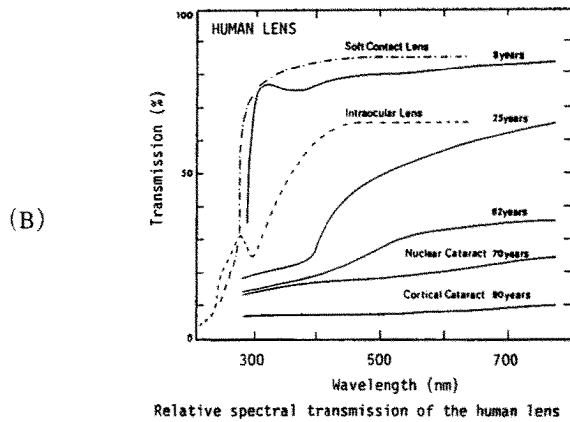
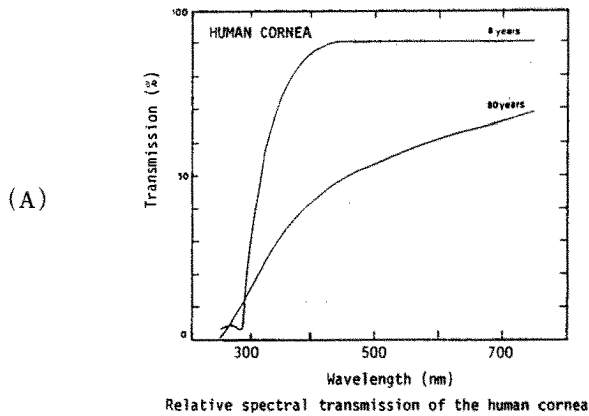
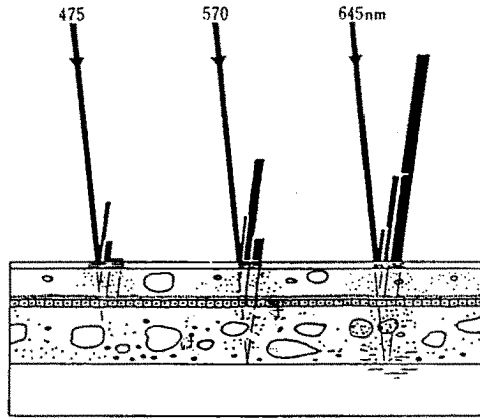


図7-3. 人眼の角膜(A) および水晶体(B) における分光透過率の加齢による影響.

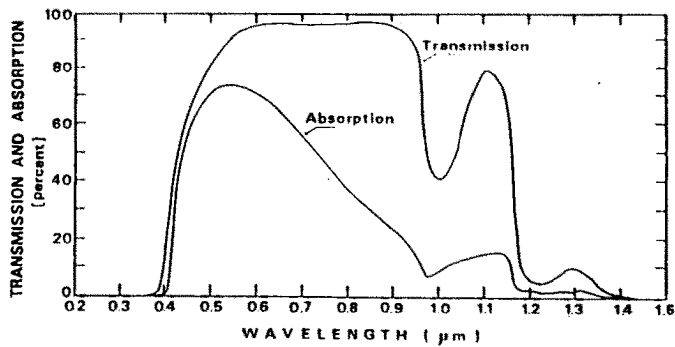


眼底組織の反射特性

Structures	Wavelength (nm)				
	450	500	550	600	650
Physiological cupping	450-650	450-650	450-650	450-650	450-650
Macular pigmentation	450-650	450-650	450-650	450-650	450-650
Surface reflections	450-650	450-650	450-650	450-650	450-650
Arcuate fiber bundles	450-650	450-650	450-650	450-650	450-650
Papillo-macular bundle	450-650	450-650	450-650	450-650	450-650
Small vessels in macula	450-650	450-650	450-650	450-650	450-650
Small vessels on disk	450-650	450-650	450-650	450-650	450-650
Large retinal arteries	450-650	450-650	450-650	450-650	450-650
Large retinal veins	450-650	450-650	450-650	450-650	450-650
Chor. vessels (Albinotic)	450-650	450-650	450-650	450-650	450-650
RPE granularity: macula	450-650	450-650	450-650	450-650	450-650
RPE gran: nasal to disk	450-650	450-650	450-650	450-650	450-650
Chor. vessels (pigmented)	450-650	450-650	450-650	450-650	450-650

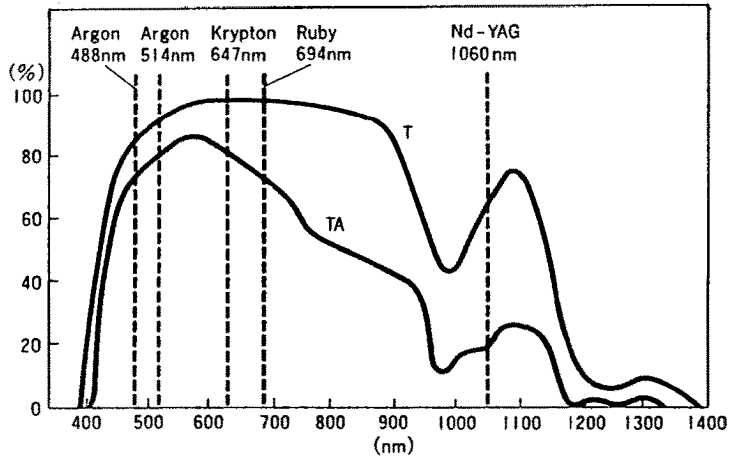
正常眼底の各組織での最適可視度を得る波長域

図7-4. 眼底の反射特性



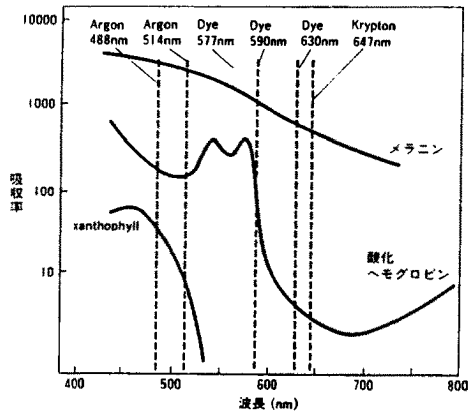
Optical spectral transmission of the human eye and absorption of light energy in the retina and choroid as a function of equal corneal irradiance.

図7-5. 人眼の網膜色素上皮および脈絡膜における光の吸収と透過特性.



各種レーザー光の波長と透光体透過率(T)および網膜凝固能率との相関

図7-6



レーザー光の波長と xanthophyll, hemoglobin, melanin の吸収率との相関

図7-7

Donders	
角膜曲率	5.0 mm
屈折率	1.333
前焦点	-15.0 mm
全屈折力	66.666
主焦点	0.0 mm
後焦点	20.0 mm

Lawrence	
主物点	2.2 mm
物側焦点	-15.0 mm
像側焦点	20.0 mm
節点	7.2 mm
中心高焦点間距	15.0 mm

Listing	
物側焦点	-16.65 mm
像側焦点	22.22 mm
屈折角半径	5.55 mm
屈折角位距	2.0 mm
屈折率	1.333
屈折力	60.0 D

表2-2. 代表的な略式眼の数値

表2-1

精密模型眼と略式模型眼の数値を示す。屈折力の単位は Diopter (D と略記する) で、屈折面位置は角膜頂点を原点にとり、それより後方を正、前方を負にとつてある。表中休は調節弛緩時を、調は最大調節時をそれぞれ示す

			精密模型眼		略式模型眼	
			休	調	休	調
曲率半径 (mm)	角膜	前面	7.7	(7.7)	—	—
		後面	6.8	(6.8)	—	—
	角膜	後面	—	—	7.8	(7.8)
	水晶体	前面	10.0	5.33	10.0	5.33
	等質核	後面	-6.0	-5.33	-6.0	-5.33
		後面	7.911	2.655	—	—
		後面	-5.76	-2.655	—	—
屈折面位置 (mm)	角膜	前面	0	(0)	0	(0)
		後面	0.5	(0.5)	—	—
	水晶体	前面	3.6	3.2	—	—
	等質核	前面	4.146	3.8725	—	—
	水晶体	後面	6.565	6.5275	—	—
水晶体	後面	7.2	7.2	—	—	
水晶体	光学中心	—	—	5.85	5.2	
屈折率	角膜		1.376	(1.376)	—	—
	房水		1.336	(1.336)	1.336	(1.336)
	水晶体		1.386	(1.386)	1.413	(1.413)
	等質核		1.406	(1.406)	—	—
同格水晶体		1.4085	1.426	1.413	1.424	
屈折力 (D)	角膜	前面	48.83	(48.83)	—	—
		後面	-5.88	(-5.88)	—	—
	角膜	後面	—	—	43.08	(43.08)
	水晶体	前面	5.0	9.375	7.7	16.5
	等質核	後面	5.985	14.96	—	—
水晶体	後面	8.33	9.375	12.833	16.5	
角膜系	屈折力点		43.05	(*)	43.08	(*) D
	物側主点		-0.0496	(*)	0	(*) mm
	像側主点		-0.0506	(*)	0	(*) mm
	物側焦点		-23.227	(*)	-23.214	(*) mm
像側焦点		31.031	(*)	31.014	(*) mm	
水晶体系	屈折力点		19.11	33.06	20.53	33.0 D
	物側主点		5.678	5.145	5.85	5.2 mm
	像側主点		5.808	5.255	5.85	5.2 mm
	焦点距離		69.908	40.416	65.065	40.485 mm
全眼系	屈折力点		58.64	70.57	59.74	70.54 D
	物側主点		1.348	1.772	1.505	1.821 mm
	像側主点		1.602	2.086	1.631	2.025 mm
	物側焦点		-15.707	-12.397	-15.235	-12.355 mm
	像側焦点		24.387	21.016	23.996	20.963 mm
	物側調節点		7.078	6.533	7.130	6.583 mm
	像側調節点		7.332	6.847	7.256	6.783 mm
	物側焦点距離		-17.055	-14.169	-16.740	-14.176 mm
	像側焦点距離		22.785	18.930	22.365	18.938 mm
	黄斑部位置		24.0	(*)	(*)	(*) mm
	主点位置		+1.0	-9.6	0	-9.7 D
近入射点		—	-102.3	—	-100.8 mm	
出射点		3.047	2.688	—	— mm	
瞳距		3.667	3.312	—	— mm	
回旋点		13.0	(*)	—	— mm	

表2-3. LeGrand の模型眼 (精密眼と略式眼)

	Full theoretical eye		Simplified eye	
	Unaccommodated	Accommodated	Unaccommodated	Accommodated
<i>Refractive index</i>				
Cornea	1.3771	1.3771	1.336	1.336
Aqueous humor	1.3374	1.3374	1.336	1.336
Crystalline lens (total index)	1.42	1.427	1.4208	1.4260
Vitreous humor	1.336	1.336	1.336	1.336
<i>Distance along axis from corneal pole (mm)</i>				
Posterior surface of the cornea	0.55	0.55	—	—
Anterior surface of the lens	3.6	3.2	6.3740	5.7763
Posterior surface of the lens	7.6	7.7	6.3740	5.7763
<i>Radius of curvature (mm)</i>				
Anterior surface of the cornea	7.8	7.8	8	8
Posterior surface of the cornea	6.5	6.5	—	—
Anterior surface of the lens	10.2	6.0	10.2	6
Posterior surface of the lens	-6	-5.5	-6	-5.5
<i>Dioptric power</i>				
Anterior surface of the cornea	48.3462	48.3462	42	42
Posterior surface of the cornea	-6.1077	-6.1077	—	—
Anterior surface of the lens	8.0980	14.9333	8.3097	15.0049
Posterior surface of the lens	14	16.5455	14.1265	16.3690
<i>Cornea</i>				
Power	42.3564	42.3564	42	42
Position of principal points : object	-0.0576	-0.0576	0	0
: image	-0.0597	-0.0597	0	0
Focal length: object	-23.6092	-23.6092	-23.8095	-23.8095
: image	31.5749	31.5749	31.8095	31.8095
<i>Crystalline lens</i>				
Power	21.7787	30.6996	22.4362	31.3739
Position of principal points : object	6.0218	5.4730	6.3740	5.7763
: image	6.2007	5.6506	6.3740	5.7763
Focal length: object	-61.4087	-43.5641	-59.5466	-42.5832
: image	61.3444	43.5185	59.5466	42.5832
<i>Complete eye</i>				
Power	59.9404	67.6767	59.9404	67.6767
Position of principal points : object	1.5946	1.8190	1.7858	2.0043
: image	1.9078	2.1915	1.9078	2.1915
Position of focal points : object	-15.0887	-12.9571	-14.8974	-12.7718
: image	24.1965	21.9325	24.1965	21.9325
Focal length: object	-16.6832	-14.7761	-16.6832	-14.7761
: image	22.2888	19.7409	22.2888	19.7409
Position of nodal points : object	7.2001	6.7838	7.3914	6.9691
: image	7.5133	7.1563	7.5133	7.1563
Accommodation (diopters)	0	6.9633	0	6.9633
Distance along axis : image nodal point to image focal point (at retina), (mm)	16.6832	14.7762	16.6832	14.7762

表3-1

眼の軸の各種の定義

出典	視軸	注視線	照準線	光軸	瞳孔中心線
Lancaster(1)	visual axis	fixation axis	line of sight	optic axis	pupillary axis
Cline 他(9)	"	"	"	"	"
Duke-Elder(2)	"	"	principal line of vision	"	central pupil- lary line
von Noorden(3)	"	"	line of sight	optical axis	"
Le Grand(4)	"	-----	principal line of sight	optic axis	pupillary axis
Campbell(5)	"	fixation axis	principal line of vision	"	pupillary line
Solomons(6)	"	"	line of sight	optical axis	pupillary axis
Bennett(7)	nodal axis	-----	visual axis	"	"
弓削(8)	視線	注視線	-----	眼軸	瞳孔中心線

表3-2

眼の角度の各種の定義

出典	α (alpha)角	γ (gamma)角	κ (kappa)角	λ (lambda)角
Lancaster (1)	Optic axis Visual axis	Optic axis Fixation axis	Pupillary axis Visual axis	Pupillary axis Line of sight
Cline他 (9)	"	"	"	"
Duke-Elder (2)	"	"	• Central pupillary line • Principal line of vision	• Pupillary axis • Sighting line
von Noorden (3)	"	"	• Central pupillary line • Visual axis	• Pupillary axis • Line of sight
Le Grand (4)	"	-----	• Pupillary axis • Principal line of sight	同左
Campbell (5)	"	• Optic axis • Fixation axis	• Pupillary line • Visual axis	同左
Solomons (6)	• Optical axis • Visual axis	• Optical axis • Fixation axis	• Optical axis • Line of sight	• Pupillary axis • Line of sight
Bennett (7)	"	-----	• Pupillary axis • Visual axis	同左
弓削 (8)	• 光軸 • 視線	• 光軸 • 注視線	• 瞳孔中心線 • 視線	-----

表6-1

有水晶体眼におけるブルキニエ像の光学特性 (魚里ほか:眼光学, 1987)

ブルキニエ像	相対強度	遠方光源(5m)		近方光源(0.33m)	
		像の位置*(mm)	像の相対的大きさ**	像の位置*(mm)	像の相対的大きさ**
I	1.00	3.84	1.00	3.80	1.00
II	0.01	3.76	0.88	3.72	0.88
III	0.008	10.61	1.96	10.46	1.93
IV	0.008	3.96	-0.75	3.94	-0.76

*:角膜頂点からの距離。

**:負号(-)は倒立像を表わす。

表6-2

偽水晶体眼におけるブルキニエ像の光学特性 (魚里ほか:眼光学, 1987)

ブルキニエ像	相対強度	遠方光源(5m)		近方光源(0.33m)	
		像の位置*(mm)	像の相対的大きさ**	像の位置*(mm)	像の相対的大きさ**
I	1.00	3.84	1.0	3.80	1.0
II	0.01	3.76	0.88	3.72	0.88
III	0.12	8.58	1.44	8.50	1.42
IV	0.12	-5.96	-2.58	-6.24	-2.66

*:角膜頂点からの距離。

**:負号(-)は倒立像を表わす。