

第98回 日本眼科学会総会 宿題報告

屈折・調節の基礎と臨床

眼球光学系の特性

西 信 元 嗣

奈良県立医科大学眼科学教室

共同研究者

神谷 貞義, 中尾 圭一, 峯 克彰, 原 嘉昭, 魚里 博, 牧野 弘之, 福原 潤
 原 徳子, 平井 宏明, 植村佐知子, 森岡 藤光, 釜本 哲幸, 森本 絹子, 西野 純子
 名和 良晃, 渡辺 千博, 須藤 健, 門田 光裕, 小南 雅也, 辻 英之, 中島 隆介
 松浦 豊明, 大倉 久和, 大須賀 達, 志水 敏夫, 塚本 光雄, 筒井 一夫, 松浦 純子
 森下 仁子, 桜井 寿也, 中尾 浩, 藤本竜太郎, 桜井 一郎, 竹谷 太, 山本 公弘*

(*奈良女子大学保健管理センター)

要 約

眼球光学系の特性は非共軸光学系に由来する。屈折状態は生涯を通じて変化する。10年間追跡調査できた屈折異常のみの患者データ(3~58歳から追跡, 128人256眼)および2年間追跡調査した健常3歳児データ(27人54眼)から結論づけられた。変化を制御する統一的な要因は特定できなかった。環境による屈折状態の変動を、固視目標の大小, 形, 方向性, および検査場の明暗を変化させて調べた。固視目標が小さくなったときに、乱視

軸の変動が、縮瞳を伴いながら大きくなった。固視目標を5mから50cmまで動かしながら、屈折度を測定すると、不同視眼の網膜共役点が固視目標に近い方の眼が、非不同視眼よりも、忠実に固視目標を追従する傾向が認められた。(日眼会誌 98:1201-1212, 1994)

キーワード: 眼球光学系, 非共軸光学系, 追跡調査, 屈折状態, 不同視

Optical Characteristics of the Human Eye

Mototsugu Saishin

Department of Ophthalmology, Nara Medical University

Abstract

The optical characteristics of the eyeball are caused by its non-coaxial system. We show that the refraction changes throughout an individual's life. Results were obtained by a longitudinal study for ten years on patients (from 3-year-old to 58-year-old, 254 eyes of 127 persons) with only ametropia. We also did a longitudinal study for two years of healthy 3-year-old children (54 eyes of 27). How-

ever, we could not define the factors which control the refraction change. We examined the alteration of refraction induced by examination circumstances such as the size, shape, direction of fixation targets, and brightness of the room. Only minimizing size caused an increase of deviation range of astigmatism axis with miosis. Concerning a moving target from 5 m to 0.5 m, anisometric eyes with the

別刷請求先: 634 奈良県橿原市四条町 840 奈良県立医科大学眼科学教室 西信 元嗣
 (平成6年10月11日受付, 平成6年10月17日受理)

Reprint requests to: Mototsugu Saishin, M.D. Department of Ophthalmology Nara Medical University, 840 shijo-cho Kashihara-shi, Nara-ken, 634, Japan

(Received October 11, 1994 and accepted October 17, 1994)

retinal conjugate point nearer to the target tended to track the target more closely than isometric eyes. (J Jpn Ophthalmol Soc 98:1201-1212, 1994)

Key words: Optical system, Non-coaxial system, Longitudinal study, Refraction, Anisometropia

I 緒 言

眼球光学系は非共軸光学系である。個体の発育、老化の過程で、この光学系が変化するの否か、および日常視で、視覚系がどのような外界の物の捕え方をするのかを明らかにするのが、本論文の目的である。日常視とは、純粋な実験条件を具現するための人工的な物を見る環境ではなく、日常の生活の中で物を見る状態をいうことにする。

II 実験方法

1. 追跡調査

1) 10年間追跡調査 (longitudinal study) できた患者群 127 名 254 眼。調査開始は 3.1~58.0 歳。

奈良県立医科大学眼科学教室の関連施設である屈折専門クリニックの外来患者のうち、屈折異常、通常に加齢変化以外に特別の事項がなく、1~2年の間隔で来院し、他覚・自覚屈折検査データが欠落せず、各期の検査において異常な突出値の認められない者を抽出した。表1に等価球面值で分類した眼数を示す。

解析に用いたデータは、他覚検査では手動ケラトメータによる角膜前面曲率半径、オートレフラクトメータによる屈折度、自覚検査では放射線乱視標と視力表によるレンズ交換法に、必要に応じてクロスシリンダー法およびレッドグリーン2色テストを行った、完全矯正の値である。

2) 2年間追跡調査できた健常幼児群 27 名 54 眼。調査開始は 3.1~4.2 歳。

某保育所で得たデータである。Canon オートレフ・ケラトメータ RK-2[®] で角膜前面曲率半径、屈折度を得た。

2. 日常視の実態

某女子大学生 (18~20 歳) 679 名を約 50 名の群に分け、以下の調査をした。

屈折度は、Canon オートレフ R-1[®] (キャノン) で得た。同機のモニター画面は RS 232 C を介して、測定状況はビデオカメラで撮影し、両者を同時に、同一画面上でビデオレコーダに記録した (図1)。後述する固視目標追尾試験には、オートレフラクトメータ R-1 を連続記録 (約 1 秒間隔、被験眼の屈折度によって変動) できるように改良した。

ランドルト環は、興和字ひとつ視力検査装置[®]、方向性のない、および方向性のある固視目標 (図1) は自作した。ペンライトは 0.5 m の距離で、500~1,000 cd/m² になるよう減光して用いた。

固視目標が静止している試験では、被験者の状態を監視しながら、視線動揺、瞬目を避け、3回以上測定し、解析にあたってはビデオレコーダ記録から安定した測定状態の3回を選び用いた。

固視目標追尾試験ではビデオレコーダの記録から固視目標の位置、移動時間、定性的な瞳孔の状態を求めた。検査室の明るさは、明るさを断らない場合および明所と

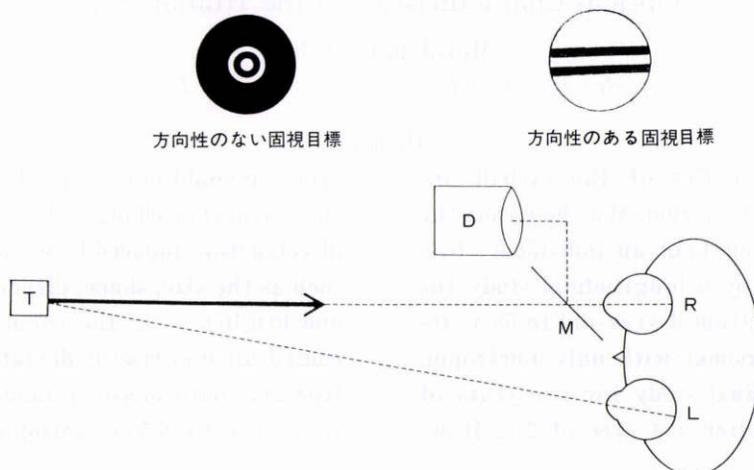


図1 固視目標と測定装置概略。

方向性のない固視目標の外径は、遠方用が被験眼からの距離 5 m で、近方用が 13.5 cm で、それぞれ 0.05 のランドルト環の外径に相当する。方向性のある固視目標は、線の幅および間隔が、遠方用が 5 m で、近方用が 13.5 cm で、それぞれ 0.1 のランドルト環の切れ目の幅に相当する。

T: 固視目標 M: レフラクトメータの半透鏡 D: レフラクトメータの計測・演算・記録部

記載の場合は約 50 ルクス，暗所では約 2 ルクスである。なお，屈折度の定義は，調節弛緩を前提とするが，本論文ではその前提条件を満たさない場合にも用いている。

1) 遠方に呈示する固視目標の大小

被検者の右眼前 5 m の位置に，0.1 のランドルト環を示し，次いで，予め測定してある被検眼の視力値に等しい (0.1 と同方向) ランドルト環を示して，それぞれ屈折度を測定した。

2) 近方に呈示する固視目標の大小

被検者の右眼前 0.5 m の位置に，5 m 用ランドルト環の同一方向の，0.6, 1.0, 1.5 の値のランドルト環を示し，それぞれ屈折度を測定した。

3) 遠方にランドルト環を呈示し，検査室の明暗

被検者の右眼前 5 m の位置に予め測定してある被検眼の視力値に等しいランドルト環を示したまま，室内照度 50 ルクスで，次いで，2 ルクスに変え，屈折度を測定した。

4) 近方にランドルト環を呈示し，検査室の明暗

被検者の右眼前 0.5 m の位置に 5 m 用ランドルト環の 1.0 を示したまま，室内照度を 50 ルクス，次いで，2 ルクスに変え屈折度を測定した。

5) 遠方にペンライトを呈示し，検査室の明暗

3) のランドルト環の代わりに，ペンライトを用い，同様の測定をした。

6) 近方にペンライトを呈示し，検査場の明暗

4) のランドルト環の代わりに，ペンライトを用い，同様の測定をした。

7) 遠方で方向性のない固視目標を呈示し，両眼開放と片眼遮閉

被検者の右眼前 5 m に方向性のない固視目標を示し，他眼を開放した状態と遮閉した状態で屈折度を測定した。

8) 遠方で，方向性のある固視目標を呈示し，両眼開放と片眼遮閉

被検者の右眼前 5 m に方向性のある固視目標を示し，

両眼開放と片眼遮閉の各々において被検者の乱視軸に平行，次いで直角に示し，屈折度を測定した。

9) 近方で方向性のある固視目標を示す

被検者の右眼前 0.16 m に方向性のある固視目標を示し，被検眼の乱視軸に平行，次いで直角に示し，屈折度を測定した。他眼は遮閉した。

10) 明所での固視目標追尾試験

被検者の右眼前に長さ 6 m の線路を敷き，その上を台車に乗せた固視目標のペンライトを人力で 5~0.5 m まで 10 ± 2 秒の速さで移動。その間，屈折度を連続測定した。

11) 暗所での固視目標追尾試験

10) とは明所が暗所に代わる以外は同様である。

III 結 果

1. 追跡調査

1) 患者群 10 年間追跡調査

群の追跡開始時の特徴は表 1 に示す。10 年後に角膜前面曲率半径が大きくなった，不変であった，小さくなった比率は図 2 に示す。大きくなる群，小さくなる群それぞれの変化の平均量は図 3 に示す。

屈折度は自覚屈折度を採用し，遠視側へ寄る。不変，近視側へ寄る比率を図 4 に，それぞれの変化の平均量を

表 1 10 年間追跡調査群

年齢	遠視	正視	近視
3~5 歳	23	4	13
6~8 歳	34	3	33
9~11 歳	4	0	28
12~14 歳	2	1	9
15~17 歳	0	0	20
18~20 歳	0	0	14
20 代	1	0	13
30 代	3	2	19
40 代	11	0	11
50 代	3	0	3

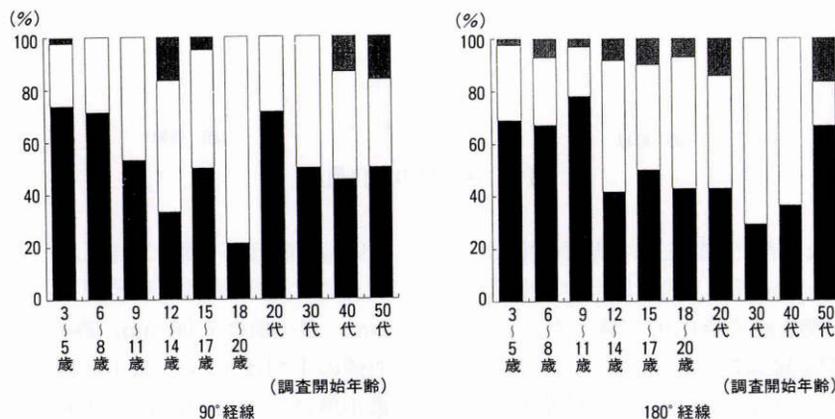


図 2 角膜前面曲率半径の推移。

網目：不変 白角：小さくなる 黒角：大きくなる

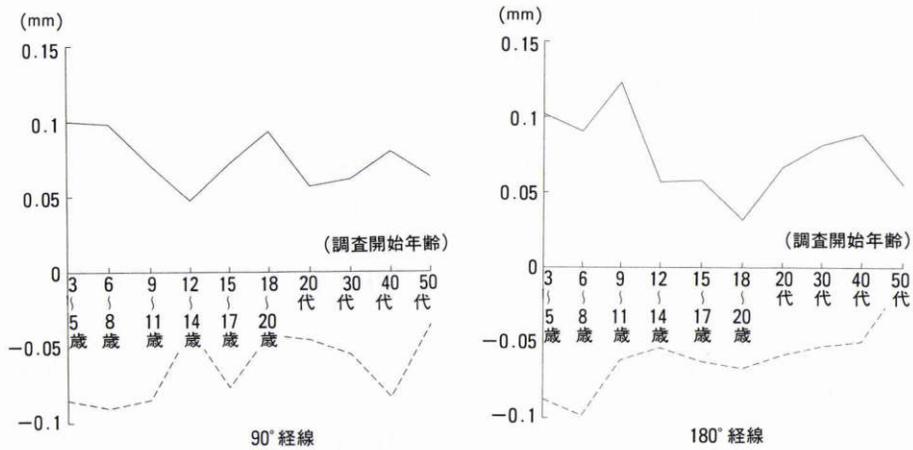


図3 角膜前面曲率半径の変化量。
実線：大きくなる群 点線：小さくなる群

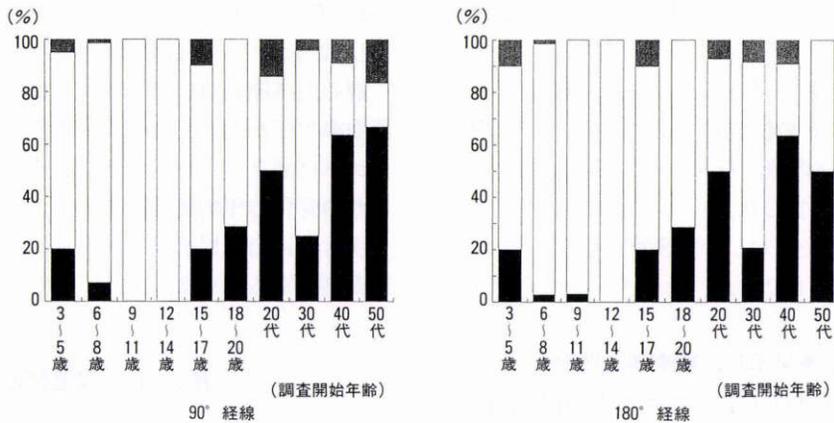


図4 屈折度の推移。
網目：不変 白角：近視側へ 黒角：遠視側へ

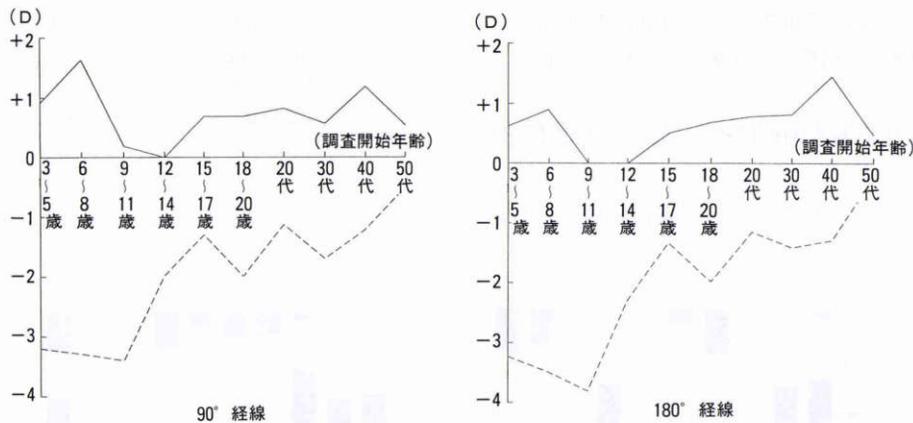


図5 屈折度の変化量。

図5に示す。標本の特徴を表す指標として両眼の相関係数を表2～4に示す。他覚屈折度と自覚屈折度の相関係数は、初調査時0.92、調査終了時0.97であった。

2) 健常幼児群2年間追跡調査

この群は初調査時、1年後、2年後の測定値が得られている。個々の眼の初調査時、1年後、2年後の期間1か年の移動平均を求めて集計した。

90°経線、180°経線に換算した平均値を図6に示す。初調査時の角膜前面曲率半径の90°経線の最大値は8.07 mm、最小値は7.06 mm、群の平均値に対する偏差の絶対値の平均は0.24 mm、180°経線の最大値は8.28 mm、最小値は7.14 mm、上記同様の偏差は0.25 mmであった。同時期の屈折度の90°経線の最大値は+1.00 D、最小値は-1.00 D、偏差は+0.46 D、180°経線の最大値は+

表 2 調査開始時の両眼の相関係数

調査開始年齢	角膜前面曲率半径		屈折度	
	90°経線	180°経線	90°経線	180°経線
3～5 歳	0.94	0.97	0.88	0.80
6～8 歳	0.97	0.95	0.91	0.90
9～11 歳	0.95	0.98	0.96	0.96
12～14 歳	0.97	0.99	0.91	0.88
15～17 歳	0.98	0.99	0.96	0.94
18～20 歳	0.99	0.94	0.98	0.97
20 代	1.00	0.98	0.63	0.24
30 代	0.91	0.93	0.95	0.97
40 代	0.97	0.96	0.72	0.65
50 代	0.98	0.73	0.91	0.94

表 3 10 年間の変化量の両眼の相関係数

調査開始年齢	角膜前面曲率半径		屈折度	
	90°経線	180°経線	90°経線	180°経線
3～5 歳	0.71	0.44	0.84	0.86
6～8 歳	0.81	0.65	0.86	0.82
9～11 歳	-0.03	0.45	0.95	0.96
12～14 歳	0.18	0.63	0.70	0.57
15～17 歳	0.78	0.81	0.86	0.89
18～20 歳	0.91	0.71	0.67	0.80
20 代	0.61	0.86	0.68	0.69
30 代	0.24	-0.44	0.66	0.87
40 代	0.33	0.76	0.64	0.48
50 代	0.74	0.64	0.84	0.20

0.87 D, 最小値は-1.13 D, 偏差は+0.50 Dであった。

角膜乱視は, 95%が直乱視, 2.5%がそれぞれ斜乱視, 倒乱視であった。全乱視は, 20%が直乱視, 7%が斜乱視, 55%が倒乱視, 18%が乱視なしであった。

この群は, 2年後には, 角膜前面曲率半径の90°経線の最大値は7.95 mm, 最小値は7.03 mm, 群の平均値に対する偏差の絶対値の平均は0.24 mm, 180°経線の最大値は8.23 mm, 最小値は7.14 mm, 上記同様の偏差は0.24 mmであった。同時期の屈折度の90°経線の最大値は+1.00 D, 最小値は-1.00 D, 偏差は+0.46 D, 180°経線の最大値は+1.00 D, 最小値は-1.19 D, 偏差は+0.45

表 4 10 年後の両眼の相関係数

調査開始年齢	角膜前面曲率半径		屈折度	
	90°経線	180°経線	90°経線	180°経線
3～5 歳	0.93	0.92	0.96	0.94
6～8 歳	0.97	0.96	0.93	0.91
9～11 歳	0.80	0.81	0.97	0.97
12～14 歳	0.99	0.99	0.94	0.93
15～17 歳	0.99	0.98	0.92	0.94
18～20 歳	0.98	0.98	1.00	1.00
20 代	0.98	0.97	0.57	0.43
30 代	0.91	0.87	0.86	0.83
40 代	0.92	0.98	0.65	0.58
50 代	1.00	0.75	0.90	0.82

Dであった。

角膜乱視は, 93%が直乱視, 7%が斜乱視, 倒乱視はなしになっていた。全乱視は, 36%が直乱視, 27%が斜乱視, 23%が倒乱視, 14%が乱視なしになっていた。

初調査時からの変化の傾向は図7に示す。

どのような症例が遠視側または近視側へ動くのか, それを制御する因子として角膜前面曲率半径の大きさ, 面屈折力と全屈折度の関係, 主経線上の値の差などを検討したが, いずれも有意な結果は得られなかった。

移動平均値をもとに調査期間中の両眼の相関係数を求めると図8のようになる。

2. 日常視

静止固視目標での検査1)～9)の結果は表5～13に示す。各条件における3回の測定値の球面屈折度, 乱視屈折度の平均値と, その平均値に対する3回の値の偏差の絶対値を求めた。乱視軸は3回の測定値の平均値に対する個々の値の偏差の絶対値を求めた。それぞれの表の球面屈折度, 乱視屈折度の平均と偏差の欄は, それぞれ上記の平均値の群内平均値と偏差の絶対値の群内平均値を示す。乱視軸の変動は, 上記の偏差の絶対値の平均値のうち, 個々のサンプルの乱視屈折度が0.5 Dを越えるもののみを集計対象とした群内平均値を示す。

検査1)～9)を通じて球面屈折度, 乱視屈折度ともに平

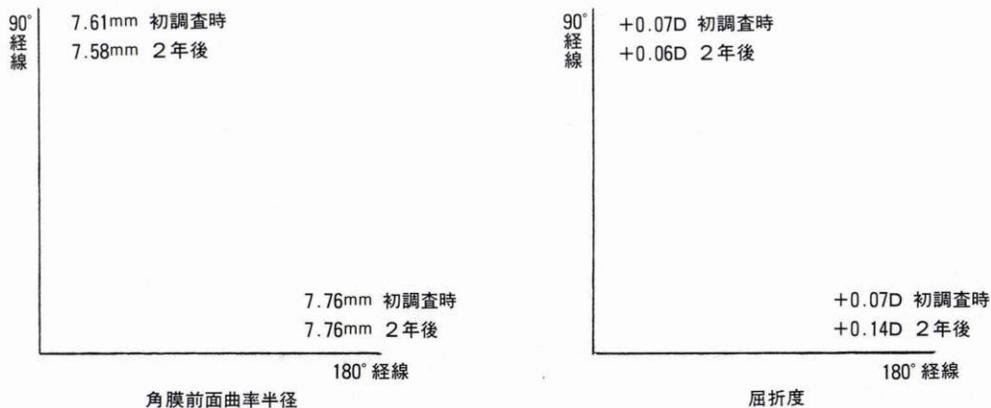


図 6 健常幼児群の初調査時。

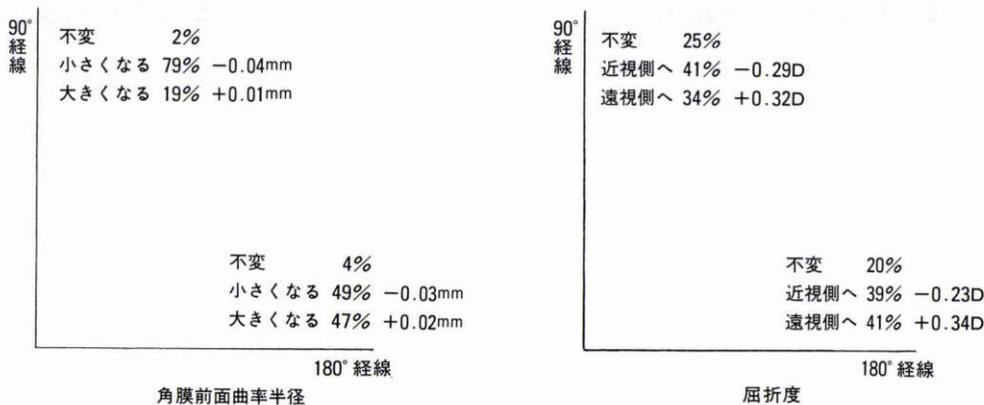


図7 健常幼児群の推移と変化量。

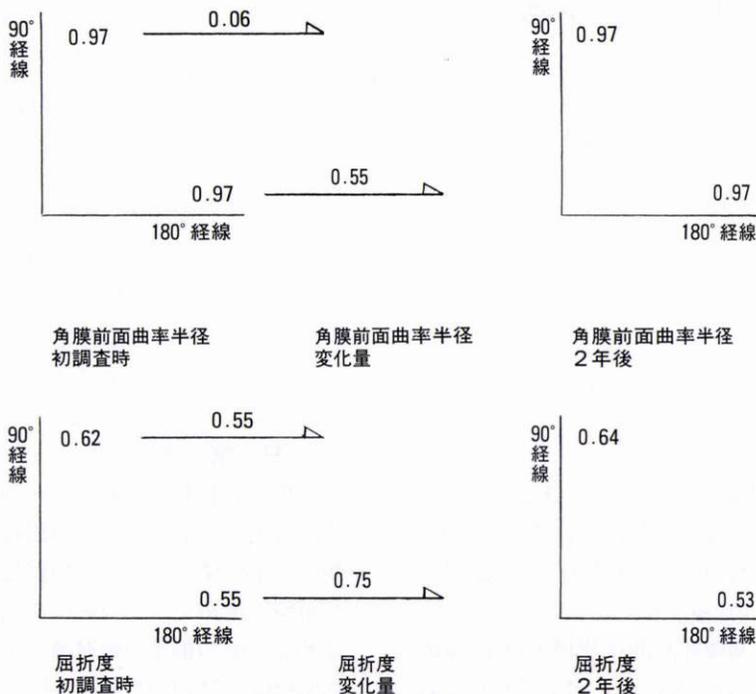


図8 健常幼児群の両眼の相関係数。

均、偏差とも有意な差は認められない。ただ、検査1)~4)において、縮瞳が起こったときに、乱視軸の変動が大きくなる傾向を示した。

検査7)~9)において、乱視軸そのものの変動の有無を検するため、繰り返し数3の分散分析を行ったが、いずれも有意差は認めなかった。

検査10), 11)の同視目標追尾試験の結果は図10~16に示す。図中、縦軸はジオプリー (D: diopter) 表示の外界の固視目標の位置を表す。固視目標は5mの距離から出発し、0.5mの位置まで近づく。すなわち、-0.2Dから出発して-2Dまで動く。屈折度は網膜共役点位置で表す。網膜共役点位置は弱主経線上の共役点位置(図中、後焦線と略記)、最小錯乱円の位置(図中、等価球面と略記)、強主経線上の共役点位置(図中、前焦線と略記)で表される。横軸は時間軸である。各データの間隔は約1秒である。厳密には、屈折度に応じて、器械内部の結

像系の移動量が異なるので、測定間隔も異なる。

被検者は常時に裸眼あるいは矯正装具着用(眼鏡、ハードコンタクトレンズ、ソフトコンタクトレンズ)で、当該検査時に裸眼あるいは矯正装具着用であったことが(常時・検査時)の形で、(裸眼・裸眼)、(ハードコンタクトレンズ・ハードコンタクトレンズ)、(眼鏡:裸眼)などと表示されている。

両眼の屈折状態がほぼ等しい症例(図9~11)では、固視目標を懸命に追わない。固視目標がゴールに到達すると調節をやや寛解したり(図9)、到着を確認してから再度寛解したり(図10)、さらに調節を増したり(図11)、その態度は一定しない。半数以上の症例において、この3例のように、固視目標が近くに向かって動きだした直後、負の調節¹⁾が働くようにみえる。これら3例は、ともに、測定眼の強主経線上共役点が、他眼よりも近くに寄るが、他眼が近くに寄る症例(図12)でも同じ傾向を示

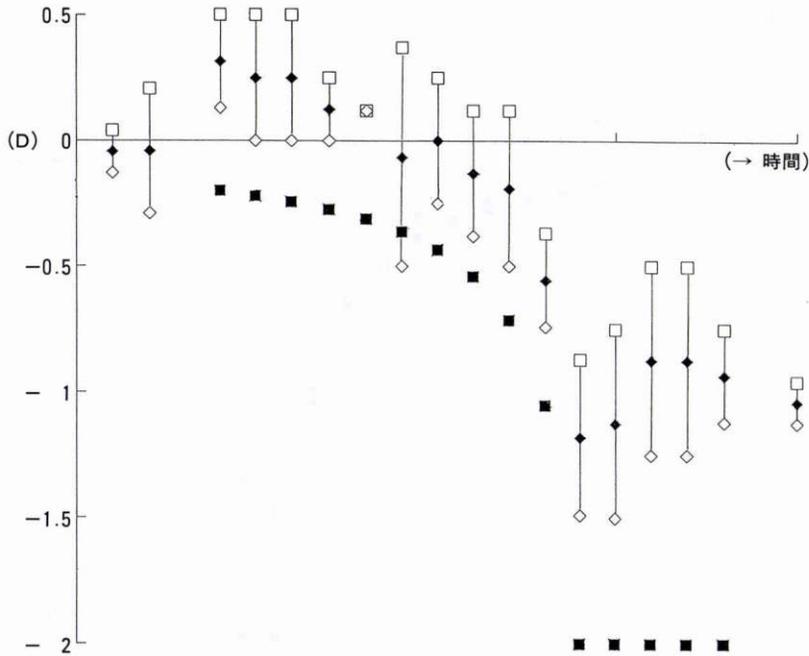


図9 固視目標追尾試験 (例1. 裸眼：裸眼).

最左端のデータは検査眼の傍眼である左眼の静止固視目標に対する屈折度、左端から2番目のデータは検査眼である右眼の静止固視目標に対する屈折度である。横軸上に固視目標が点描されているデータから、追尾時の結果である。固視目標が-2Dの位置（実空間で0.5mの位置）に到着してからなお、-2Dの位置に横並びになっているデータは、固視目標が移動を終了してからも、約1秒間隔で連続測定されていることを示す。その右側に固視目標が点描されていないデータは、-2Dの位置に静止固視目標を改めて示したときの屈折度である。以下の例においても同様である。瞳孔は、固視目標の移動開始とともに、やや散瞳し、上眼瞼もやや開大した。その間約5秒で、移動前の状態に復した。

黒四角：固視目標 白四角：後焦線 黒菱形：等価球面 白菱形：前焦線

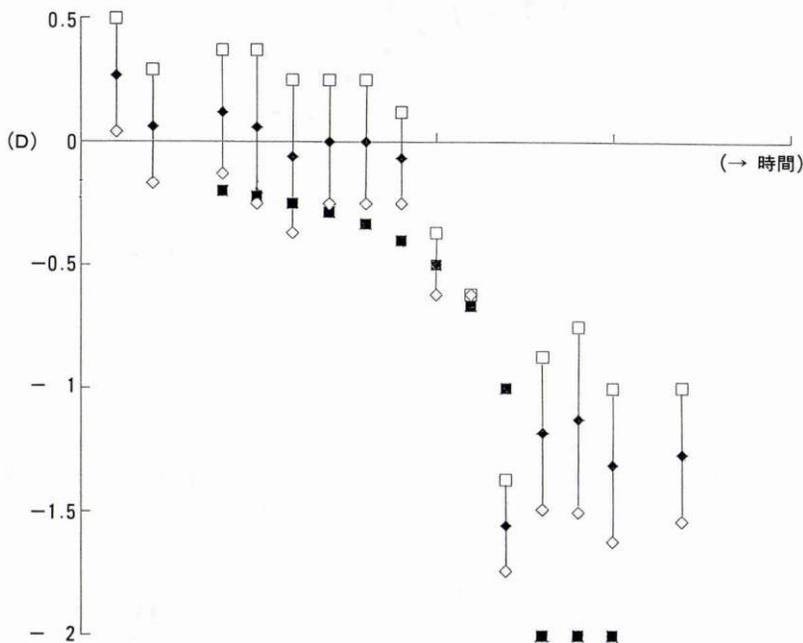


図10 固視目標追尾試験 (例2. 裸眼：裸眼).

例1で認めたような、散瞳、眼瞼開大は全く認めなかった。黒四角：固視目標 白四角：後焦線 黒菱形：等価球面 白菱形：前焦線

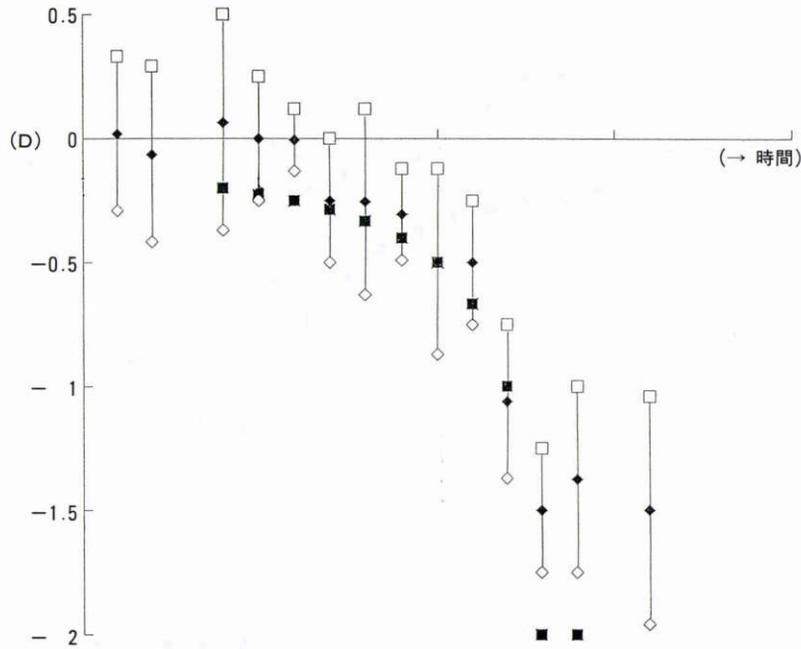


図 11 固視目標追尾試験 (例 3. 裸眼: 裸眼).

固視目標の移動開始とともに、やや散瞳するも、約 2 秒で元に復する。上眼瞼開大は認めなかった。
黒四角: 固視目標 白四角: 後焦線 黒菱形: 等価球面 白菱形: 前焦線

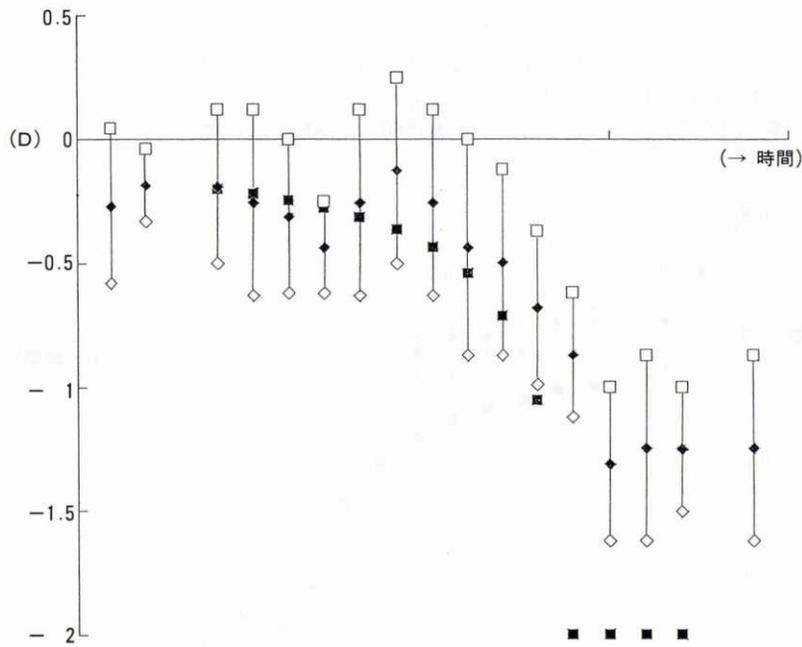


図 12 固視目標追尾試験 (例 4. ハードコンタクトレンズ: ハードコンタクトレンズ).

瞳孔に変化を認めなかった。黒四角: 固視目標 白四角: 後焦線 黒菱形: 等価球面 白菱形: 前焦線

す。コンタクトレンズ装用の人工的正視眼が、自然の正視眼と比べて特別な態度を示さなかった。明室、暗室も特別な差はなかった。

不同視眼は、固視目標に近い方の眼が、懸命に固視目標を追跡する (図 13, 14) 傾向が強い。

近視でいまさら調節をする必要がないにもかかわらず、調節する例 (図 15) や、負の調節のみられる例 (図 16) もあった。

IV 考 按

眼球は、巨視的形態としては、生下時 18 mm 径が、3 歳時に 23 mm 径となり、14 歳で成人の 24 mm に達する²⁾。屈折状態に関しては、従来からも、断面調査 cross-sectional study の重ね合わせや、追跡調査 longitudinal study によってその推移が推測されてきた。すなわち、幼少時には遠視が多く、加齢とともに近視が増すとされて

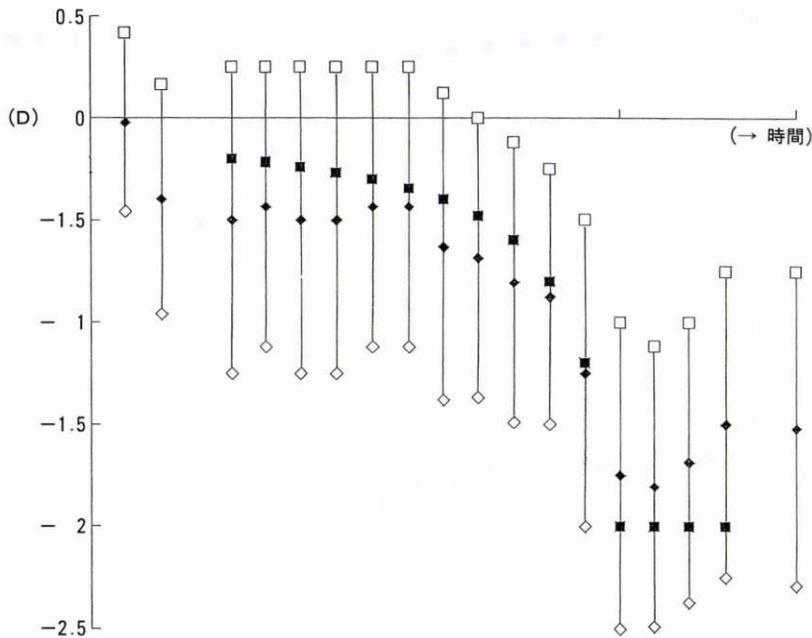


図 13 固視目標追尾試験 (例 5. 裸眼：裸眼).

移動全経過中やや散瞳を認めた。黒四角：固視目標 白四角：後焦線 黒菱形：等価球面 白菱形：前焦線

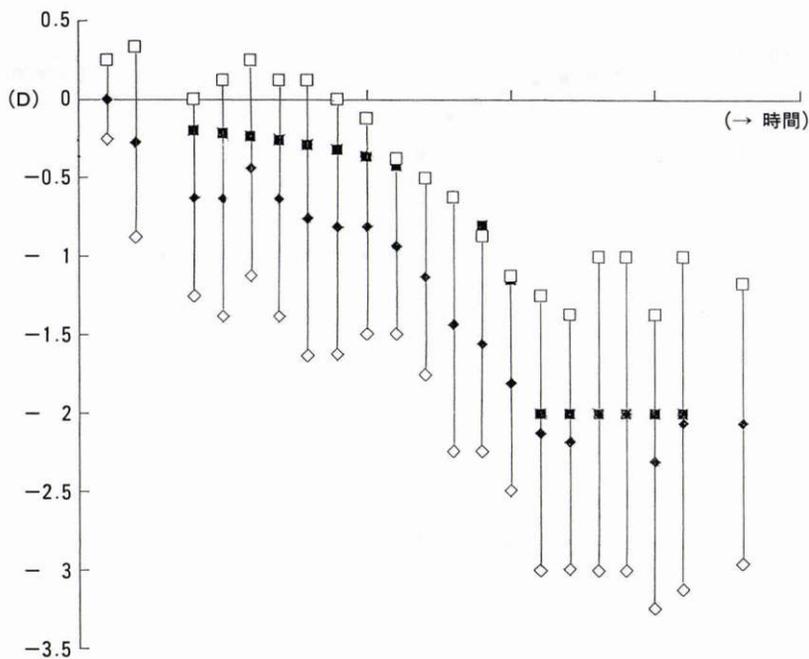


図 14 固視目標追尾試験 (例 6. 裸眼：裸眼).

瞳孔に変化を認めなかった。黒四角：固視目標 白四角：後焦線 黒菱形：等価球面 白菱形：前焦線

きた^{3)~6)}。しかし、断面調査は、同一母集団に属する標本の証が乏しく、追跡調査は人口の流動化とともにその困難さを増す。検査機器の発達、社会の複雑化、高齢化社会という新しい局面で、さらに、両眼の推移の傾向観察の目的を加えて、我々も追跡調査を行った。図 2~5 から明らかなように、屈折状態は、生涯にわたって変動すると結論づけるのが妥当と考える。

本追跡調査の各年齢群の標本は、同一母集団に属するとは考え難い。たとえば図 2~5、表 2~4 において、

初調査時 9~11 歳の群は、10 年経過すれば、19~21 歳に達し、初調査時 18~20 歳の群と同じ年齢帯に達する。両者の社会的環境因子に 10 年の差があるとはいえ、これらデータを勘案する限り、別の母集団に属する標本として取り扱う方が合理的であろうと考える。したがって、群間の移動平均を採る解析は行わなかった。

3~5 歳群から 18~20 歳群までは、調査開始時の両眼の相関係数も、それぞれ 10 年後の両眼の相関係数もともに高い。この中で注目すべきは、9~11 歳、12~14 歳群

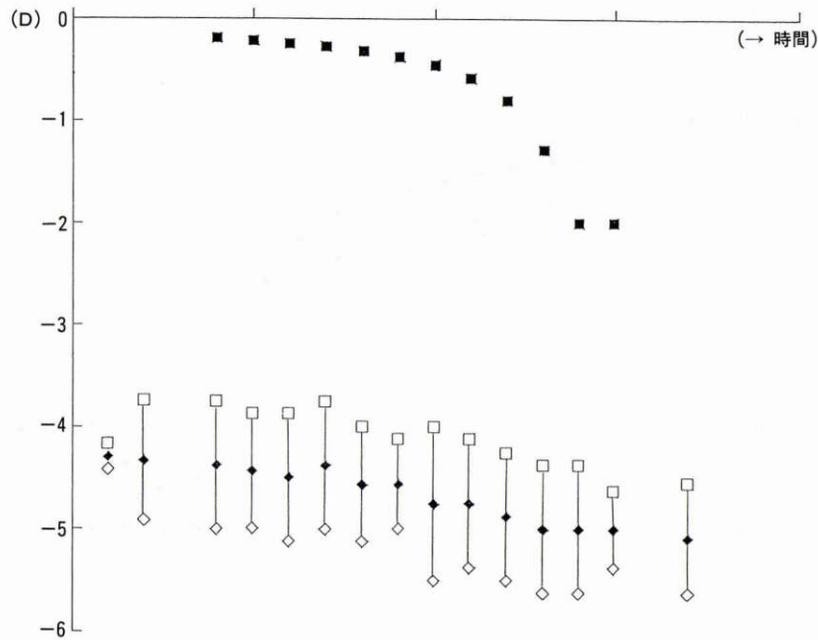


図 15 固視目標追尾試験 (例 7. 眼鏡：裸眼).

移動全経過中、いわゆる生理的瞳孔動揺が消失した。黒四角：固視目標 白四角：後焦線 黒菱形：等価球面 白菱形：前焦線

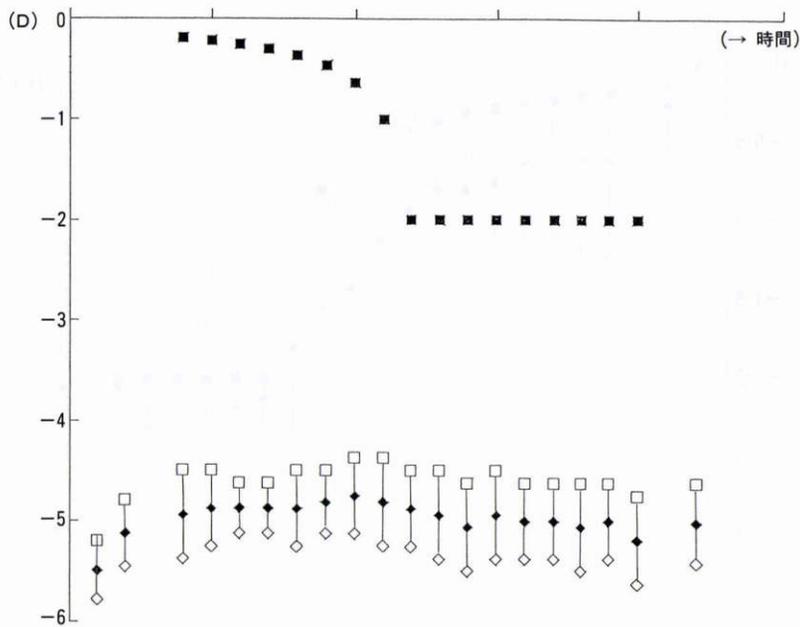


図 16 固視目標追尾試験 (例 8. 眼鏡：裸眼).

移動全経過中、生理的瞳孔動揺を伴いながらやや散瞳を呈した。黒四角：固視目標 白四角：後焦線 黒菱形：等価球面 白菱形：前焦線

である。10年間の変化量、特に90°経線の角膜前面曲率半径の変化量の両眼の相関係数は低い。それにもかかわらず、10年後の両眼の相関係数は高い。周知のごとく、相関係数は45°勾配の直線近傍に並べば1に近づき、原点の周りに均等にかたまれば0に近づく。この時期は、等同視化 isometropization とでも呼ぶべき力が働いているようにも考えられる。

本調査標本の20代群の、調査開始時の屈折度の相関係

数は、際立って低い。20代以降は全般に、両眼の相関係数は低下するようであるが、先述した異なる母集団の標本混入も疑われるので、明確な結論は差し控えたい。

さらに、低年齢層の詳細を知るために、健常幼児の追跡調査結果を解析した。結果の記述に示すようにありふれた集団であり、この年代の一般的な母集団からの標本と考えられる。このデータの欠点は、屈折度は他覚検査値であり、自覚検査値との照合が行われていない。ちな

表5 固視目標(5 m)の大小

	大	小
球面屈折度の平均(D)	-1.72	-1.69
球面屈折度の偏差(D)	0.08	0.07
乱視屈折度の平均(D)	0.89	0.92
乱視屈折度の偏差(D)	0.13	0.12
乱視軸の変動(度)	3.6	9.4

表6 固視目標(0.5 m)の大小

	大	中	小
球面屈折度の平均(D)	-1.52	-1.53	-1.54
球面屈折度の偏差(D)	0.11	0.11	0.09
乱視屈折度の平均(D)	1.08	1.18	1.18
乱視屈折度の偏差(D)	0.18	0.17	0.19
乱視軸の変動(度)	2.1	2.0	1.7

表7 検査室の明暗(5 m)

	明	暗
球面屈折度の平均(D)	-1.57	-1.50
球面屈折度の偏差(D)	0.09	0.08
乱視屈折度の平均(D)	1.14	1.11
乱視屈折度の偏差(D)	0.14	0.12
乱視軸の変動(度)	3.3	2.2

みに、先述の10年間追跡調査でも、初調査時の両者の相関係数は、10年後のそれに比べて劣る。他覚検査値であり、自覚検査値との差は、非共軸光学系と、検者と被検者の質に依存する。自覚屈折検査は、検者と被検者の質を向上させることで、非共軸光学系に起因する特徴を、測定値に反映し得る。

90°経線の角膜前面曲率半径は8割が小さくなるのに、屈折度はその半分の4割が近視側に変化するだけである(図7)。角膜前面曲率半径は、両眼の変化量の相関係数は低いが、曲率半径そのものの相関係数は、初調査時、2年後ともに高い。それに対して、屈折度の相関係数は高くない(図8)。あたかも、両眼の相関係数に関しては、両者が解離しているように見える。そうとすれば、この時期に不同視が起りやすい可能性を示唆する。

この時期、角膜乱視はほとんどが直乱視である。ちなみに、球面の光軸(Fick座標系のY軸)に直角の力を加えると容易に光軸付近に略トーリック画を作りだせる。このことは、眼瞼を含めた眼球周囲の組織が、角膜形状に影響を及ぼしている可能性がある。さらに、トーリック面の主経線以外の方向から光軸に直角の力を加えると、主経線が斜交する。実際の臨床で、手動のケラトメータで角膜を計測すると、主経線の斜交に遭遇するのはそれほど珍しくない。文献上の報告もある。自動のケラトメータを使えば、このような斜交は、器械のアルゴリズムの故に、極端な場合にエラーとして処理される以

表8 検査室の明暗(0.5 m)

	明	暗
球面屈折度の平均(D)	-2.32	-2.25
球面屈折度の偏差(D)	0.12	0.10
乱視屈折度の平均(D)	1.05	0.95
乱視屈折度の偏差(D)	0.18	0.13
乱視軸の変動(度)	4.3	2.6

表9 固視目標(5 m)がペンライト：検査室の明暗

	明	暗
球面屈折度の平均(D)	-1.66	-1.61
球面屈折度の偏差(D)	0.08	0.08
乱視屈折度の平均(D)	0.12	0.89
乱視屈折度の偏差(D)	0.11	0.11
乱視軸の変動(度)	2.7	3.2

表10 固視目標(0.5 m)がペンライト：検査室の明暗

	明	暗
球面屈折度の平均(D)	-2.77	-2.26
球面屈折度の偏差(D)	0.09	0.09
乱視屈折度の平均(D)	1.01	0.93
乱視屈折度の偏差(D)	0.13	0.12
乱視軸の変動(度)	3.3	2.2

表11 方向性のない固視目標(5 m)：両眼開放と片眼遮閉

	両眼開放	片眼遮閉
球面屈折度の平均(D)	-0.72	-0.71
球面屈折度の偏差(D)	0.90	0.89
乱視屈折度の平均(D)	0.97	0.96
乱視屈折度の偏差(D)	0.42	0.39
乱視軸の変動(度)	4.0	2.9

外、検出されることはまずなくなる。本調査に自動のケラトメータを使用したことで、測定の見極めを一定化できた利点の反面、個々の微妙な、非共軸、非球面がもたらす貴重な情報を抹殺してしまった可能性が残る。結果で記述した、2年間で斜乱視に移行した症例についても、特別な情報は得られていない。

静止固視目標を呈示する検査では、固視目標を大小の順に呈示しても、屈折状態は変わらない。固視目標位置5 mの場合には乱視軸の変動が大きくなり(表5)、固視目標位置0.5 mの場合には変動が起きていない(表6)。実験条件を検討すると、5 mの場合の小視標は被検眼の視力値のランドルト環であり、0.5 mの場合、被検眼の視力値よりも大きいランドルト環である。記録されたビデオテープで縮瞳を観察すると、5 mの場合の縮瞳は定性的に0.5 mの場合よりも強い。この0.5 mの場合の縮瞳は調節を伴っていない。これら実験は、異なる群で行われた。以上から、この認められた乱視軸の変動は、非

表 12 方向性のある固視目標(5 m) : 乱視軸に直角と平行 : 両眼開放と片眼遮閉

	直角 : 両眼開放	直角 : 片眼遮閉	平行 : 両眼開放	平行 : 片眼遮閉
球面屈折度の平均(D)	-2.23	-2.24	-2.23	-2.22
球面屈折度の偏差(D)	0.08	0.07	0.09	0.09
乱視屈折度の平均(D)	0.83	0.79	0.87	0.81
乱視屈折度の偏差(D)	0.10	0.11	0.11	0.12
乱視軸の変動(度)	2.1	2.2	2.4	2.5

表 13 方向性のある固視目標(0.16 m) : 乱視軸に直角と平行

	直角	平行
球面屈折度の平均(D)	-5.00	-5.01
球面屈折度の偏差(D)	0.48	0.45
乱視屈折度の平均(D)	1.01	1.10
乱視屈折度の偏差(D)	0.46	0.43
乱視軸の変動(度)	4.3	4.4

共軸, 非球面光学系の開口絞りの変動に起因すると考えられる。

検査室の明暗では, 固視目標がなにであっても, 屈折状態はほぼ変わらない(表7~10)。ただ, 固視目標がペンライトの暗環境で乱視屈折度の増加がみられるが, その理由は特定できなかった。

両眼開放と片眼遮閉では, 屈折状態に変動がない(表11, 12)。方向性のある固視目標を, 乱視軸に直角に呈示しても, 平行に呈示しても, 屈折状態は変わらない(表12, 13)。しかし, 個々のデータを調べると, 確かに乱視軸の変動する被検者がある。文献上もある⁹⁾。しかし, 集計すると集団の中に埋没してしまう。今回の調査では, 変動するデータが, 他と異なる要因は見出せなかった。今回の結論から, 屈折検査は, 両眼開放でも片眼遮閉でも, どんな固視目標でも, また, 明室でも暗室でもよいと断ずるのは早計である。

固視目標を追尾する検査では, 全般に, 不同視のない眼は固視目標を忠実に追わず, 不同視眼は懸命に追尾する傾向がある。このことは, 不同視の眼精疲労と関係のある可能性がある。厳密に不同視のない眼は少ない。ここで, 臨床的に不同視でない眼とは, 網膜共役点に関し, どの調節状態においても, 両眼の強および弱主経線上の焦線位置の差が, それぞれ0.5 D未満の場合といえそうである。周知のごとく, 厳密には, ある調節状態において屈折検査の結果が同じ乱視度であっても, その乱視の

発生している眼球光学系の中の位置によって, 調節の変動に伴い, 矯正面で表現される乱視度は異なってくる。これを解決するには, 固視目標位置を任意に変えられる, 両眼同時測定 of 屈折検査器⁹⁾の開発が望まれる。

負の調節に, 交感神経系が関与するか否かは, 今回の結果からは断じ難い。

宿題報告の機会を与えていただいた日眼評議員の皆様, ご鞭撻賜った所 敬学会長, 湖崎克座長, 報告までに議論を重ねさせていただいた共同報告の所・加藤・木下, 湖崎学兄に厚くお礼申し上げます。

本研究会は, 奈良県立医科大学眼科学教室の積年の研究の一端です。教室の諸先輩ならびに教室活動を支えていただいた方々に改めてお礼申し上げます。

文 献

- 1) 加藤桂一郎: 眼の調節に関する用語について. 眼科 33: 1049-1051, 1991.
- 2) Sorsby A: Biology of the eye as an optical system. In: Tasman W, et al (Eds): Duan's Clinical Ophthalmology. JB Lippincott, Philadelphia, Vol 1, Chap 34, 1993.
- 3) Borish IM: Clinical Refraction. Professional Press, Chicago, 5-46, 1975.
- 4) 畑 文平, 赤木五郎: 眼屈折. 日本眼科学会(編): 日本眼科全書, 8巻, 第1分冊, 金原出版, 東京, 46-90, 1954.
- 5) 西信元嗣: 小児と屈折異常. 植村恭夫(編): 新臨床眼科全書, 5巻B, 小児眼科学(2), 金原出版, 東京, 135-191, 1988.
- 6) 若林憲章, 多田桂一, 横谷千晴, 江口甲一郎: 学童の屈折状態の推移とその背景. 眼臨 82: 360-365, 1988.
- 7) 畑 文平, 赤木五郎: 眼屈折. 日本眼科学会(編): 日本眼科全書, 8巻, 第1分冊, 金原出版, 東京, 253-255, 1954.
- 8) 中林正雄, 前田裕子: 調節性乱視変動の研究. 日眼会誌 75: 1483-1494, 1971.
- 9) 初川嘉一, 村井保一, 大本達也, 森真千子, 池淵純子, 大鳥利文: 静視標に対する調節と輻輳の研究1. 正常人での検討. 臨眼 38: 473-478, 1984.