

## 屈折異常眼の調節

—乱視眼における視標の影響—

百野 伊恵\*, 奥山 文雄\*, 所 敬\*, 秋澤 尉子\*\*

\*東京医科歯科大学医学部眼科学教室, \*\*都立豊島病院眼科

### 要 約

放射線チャートと線チャートを視標に用い、調節時の乱視眼の屈折状態の変化をオートレフラクトメータで測定し、強弱主経線方向の値について検討した。対象は19~32歳の22名28眼の乱視眼で、乱視量により1.25D未満と1.25D以上の2群に分けて検討した。1) 調節反応量：乱視量1.25D以上の症例群では、強主経線方向黒線チャート、放射線チャート、弱主経線方向黒線チャート注視時の順に減少した。乱視量1.25D未満の症例群においても同様の傾向がみられた。2) 調節反応曲線の傾き：乱視量1.25D以上の症例群では、強主経線方向黒線チャート、放射線チャート、弱主経線方向黒線チャート注視時の順に小さくなり、統計学的に有意差を認めた( $p < 0.01$ )。1.25D未満の症例群では有意差は認めなかった。以上の結果より、視標の形状及び被験者の乱視量の大きさは、調節反応量と調節反応曲線の傾きに影響を与えることが判明した。(日眼会誌 94: 286-293, 1990)

キーワード：乱視，調節，視標，オートレフラクトメータ

## Accommodation in Ametropia and The Effect of Targets on Astigmatism

Ie Byakuno\*, Fumio Okuyama\*, Takashi Tokoro\* and Yasuko Akizawa\*\*

\*Department of Ophthalmology, Tokyo Med. and Dental Univ. School of Med.

\*\*Eye Clinic, Tokyo Metropolitan Toshima General Hospital

### Abstract

Measurements of accommodative responses in 28 astigmatic eyes (22 patients, 19~32years of age) were made with an objective Auto Refkeratometer (Canon, RK-1). We constructed an actual target representative instrument with a star burst chart and a fine line chart, and attached this instrument to the Auto Refkeratometer. The fine line chart was turned around the sight line of the eye at a fixed distance. The amount of mean accommodative responses decreased in the following order; the fine line chart parallel to the first principal meridian of subjects, the star burst chart, the fine line chart parallel to the second principal one. This tendency was also shown in cases of subjects with astigmatism less than 1.25 diopters. The slopes of mean accommodative response curves reduced in the similar order as above, significantly in the cases of astigmatism over 1.25 diopters. These results suggest that target charts for accommodation and the degree of astigmatism have influence on the amount of accommodative response and the slope of its curve. (Acta Soc Ophthalmol Jpn 94: 286-293, 1990)

Key words: Astigmatism, Accommodation, Target, Auto refractometer

別刷請求先：113 東京都文京区湯島1-5-45 東京医科歯科大学医学部眼科学教室 百野 伊恵  
(平成元年8月14日受付, 平成元年9月26日改訂受理)

Reprint requests to: Ie Byakuno, M.D. Dept. of Ophthalmol., Tokyo Med. and Dental Univ. School of Med.  
1-5-45 Yushima, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan

(Received August 14, 1989 and accepted in revised form September 26, 1989)

## I 緒 言

近年、調節時の屈折状態の変化を他覚的に測定することが容易となり広く施行されるようになってきた。従来、調節刺激用視標として多くは放射線図形が使用されているが、この視標が乱視眼の調節にどのような影響を及ぼしているのかは明確ではない。また、乱視眼がこの視標のどの経線方向を手掛かりとして調節しているかは興味深い点である。最近では、乱視眼の調節にともなう乱視量および乱視軸の変化<sup>1)2)</sup>、視標の形状の違いによる調節量の差<sup>3)</sup>などが報告されているが、調節による経線上の屈折値の変化についての検討は十分とはいえない。そこで今回我々は、調節負荷を一定とし、視標を視軸のまわりに連続的に回転させる視標呈示装置を作製し、これをオートレフRACTメータに取り付け、放射線チャートと線チャートを用いて、調節時の乱視眼の屈折状態の変化を強弱主経線方向にて検討したので報告する。

## II 実験方法

### 1. 測定装置

測定装置には、市販のオートレフRACTメータ(キャンノン製, RK-1)を使用した。この対物レンズと被験眼との間に45度の傾きをもつ赤外線ダイクロイックミラーを取り付け、これにより屈折測定用の赤外光と視標からの可視光を分離した。試作した視標呈示装置の上方に設置された視標は回転台に取り付けられ、0度から360度まで自由に回転できるとともに、眼前10cmから50cmまで移動可能になっている。この視標からの光はミラーにより反射され、被験眼がこれを注視した時の屈折測定ができるようにした(図1)。

### 2. 測定方法

今回の実験では、輻湊による眼位ずれなどの影響を除くため片眼測定とし、裸眼にて測定を行った。視標には、放射線チャート(一本の放射線の長さ20mm)と一本の黒線チャート(長さ20mm, 幅0.8mm)の2種類を使用した(図2)。黒線チャートの場合、視標距離位置を一定にした状態で、はじめに被験者の乱視の弱主経線方向にチャートの長軸を合わせて屈折値を測定し、直ちに視標を90度回転し強主経線方向と一致させ、再度屈折値を測定するという操作を繰り返した。本実験では、乱視軸の分類を90度±22.5度以内の範囲に強主経線が位置するものを直乱視、0度から22.5度以下及び167.5度以上180度の範囲にあるものを倒乱

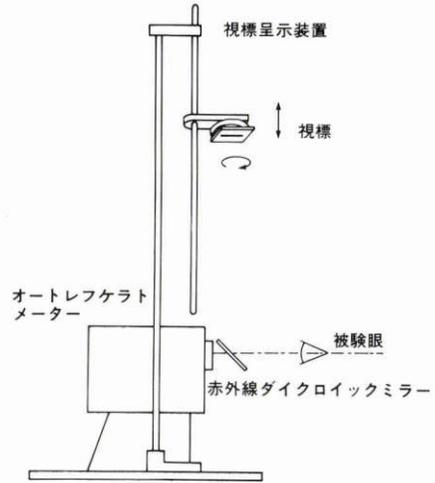


図1 測定装置。

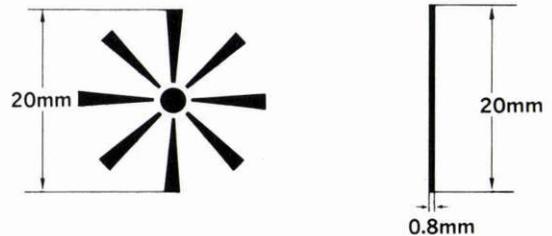


図2 放射線視標と線視標。

視、それ以外を斜乱視とした。直乱視の症例においては、黒線チャートの長軸を180°→90°→180°→90°→180°の順に回転し、各々の屈折状態を測定した。これを1セットの測定とし、順次調節負荷を増加させ測定した。倒乱視の症例については、黒線チャートの長軸を90°→180°→90°→180°→90°の順に回転させ同様に屈折測定を行った。調節負荷は、放射線チャートおよび黒線チャートの両方において弱主経線を基準にして2Dから6Dとした。測定回数は3回から5回とし、視標位置は全て遠点側から近点側に順次移動させて測定した。尚、屈折値は、全てオートレフRACTメータで内部処理された後の屈折値を使用し、角膜頂点を基準にして表示した。

### 3. 対象者

対象は、屈折異常以外の眼疾患を持たない22名28眼(19~32歳)である。このうち近視性乱視は14名17眼、遠視性乱視は1名1眼、雑性乱視は7名10眼であった。弱主経線の屈折値の範囲は+1.25D~-5.0Dであり、強主経線の屈折値は+0.5D~-7.25Dであった。乱視

表1 対象者の乱視の種類と乱視量の分布

乱視量	1D未満	1D以上 2D未満	2D以上 3D未満	3D以上 4D未満	4D以上
近視性乱視	4	8	3	0	2
雑性乱視	1	3	3	2	1
遠視性乱視	1	0	0	0	0

(眼数)

量は、0.5D~5.12Dであり、乱視量1.25D以上は15眼(平均乱視量2.75D)、乱視量1.25D未満は13眼(平均乱視量0.86D)であった。乱視軸については直乱視23眼、倒乱視5眼で斜乱視の症例は含まれていない(表1)。

### III 結 果

#### 1. 乱視量と乱視軸の変化(遠見時との比較)

調節負荷時(2D~6D)において、28眼中17眼については乱視の変化量は±0.25Dの範囲にとどまったが、11眼は乱視が0.37D以上変化した。この11眼のうち、乱視量が減少したものは10眼、増加したものは1眼であった。乱視が減少した症例において、その減少量が0.37D以上0.5D未満のものが4眼、0.5D以上1.0D未満のものが6眼であった。乱視が増加した1眼の増加量は0.37Dであった。これらの乱視量の変化は調節負荷が増えるとともに大きくなり、この傾向は直乱視及び倒乱視においても同様に認められた。調節に伴う乱視軸の変化は、±10度以内の変動を認めたものが22眼、±20度の範囲の及ぶものが6眼であった。この6眼は全て乱視量が1.25D未満の症例であった。

#### 2. 調節反応量

最初に典型例について示す。図3は被験者T.Y. 年齢19歳、乱視量4.0Dの雑性乱視で直乱視の症例である。黒線チャートを水平から垂直に回転させると調節量が増加し、垂直から水平にもどすと調節量が減少することがわかる。この傾向は調節負荷が増すにつれて明瞭となった。グラフの中の横の実線は、同じ調節負荷位置における放射線チャート注視時の調節反応量を示している。

図4は、同症例について、黒線チャートを垂直及び水平にした時の各々の屈折値を平均し、放射線チャート注視時の屈折値と同時に表したものである。本症例では調節負荷が増しても、乱視量と乱視軸に変化がないため、強主経線上及び弱主経線上とも同様の結果が得られた。屈折値は、両主経線上とも、垂直方向黒線チャート、放射線チャート、水平方向黒線チャートの

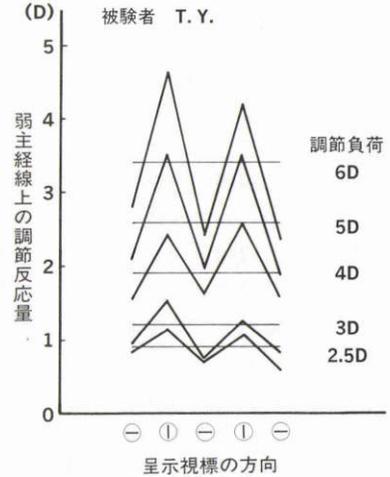


図3 線視標回転時の調節反応の変化。被験者 T.Y. 19歳, Vd=0.4 (1.0×+0.5D ⊙ cyl-4.0DAx5°)

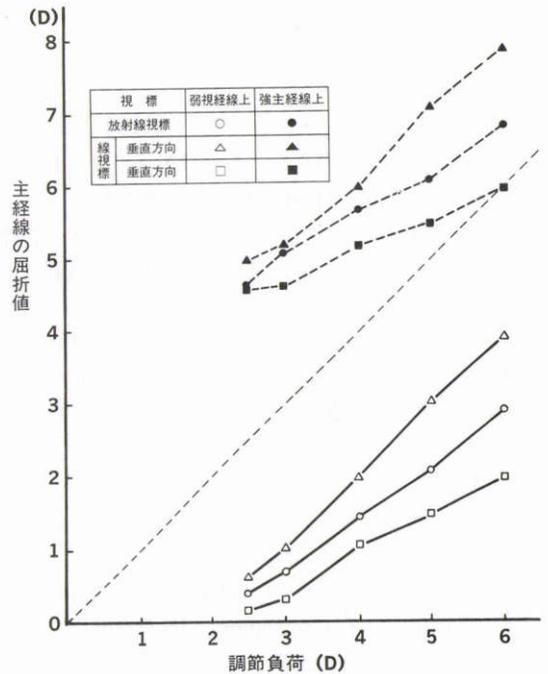


図4 調節反応刺激曲線(被験者T.Y.).

順に小さくなっていった。この症例では、放射線チャート注視時の屈折値は垂直及び水平方向黒線チャート注視時の値のほぼ中間値をとっていた。

図5は、被験者N.M. 年齢19歳、乱視量0.75Dの直乱視の症例である。乱視量が小さくても、同じ調節負

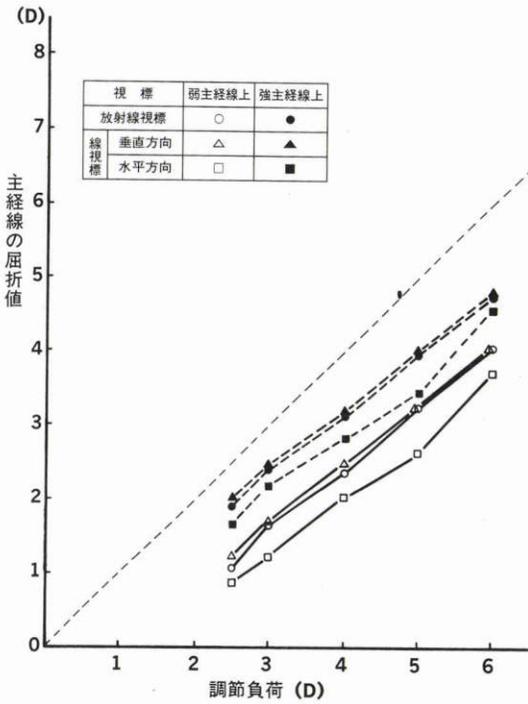


図 5 調節反応刺激曲線.

被験者 N.M. 19歳, Vd=1.0(1.2×+0.25D○cyl-0.75DAx160°)

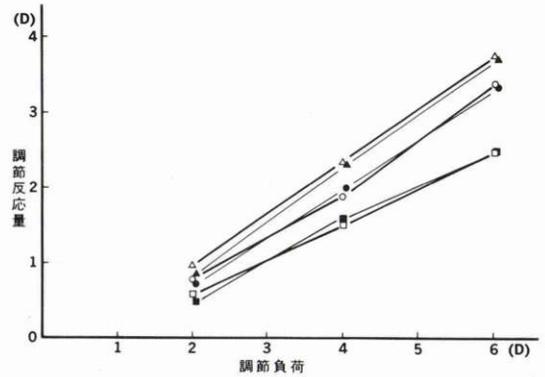


図 7 乱視量1.25D以上の近視性乱視(7眼)の調節反応量の平均.

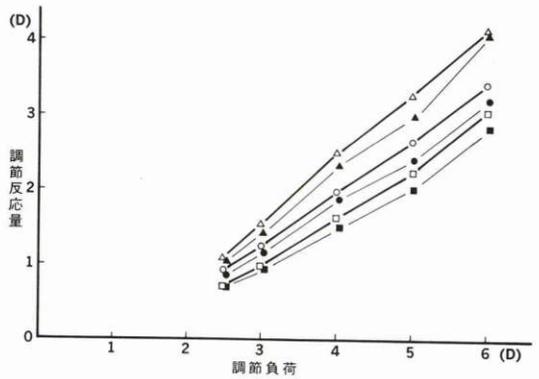


図 8 乱視量1.25D以上の雑性乱視(8眼)の調節反応量の平均.

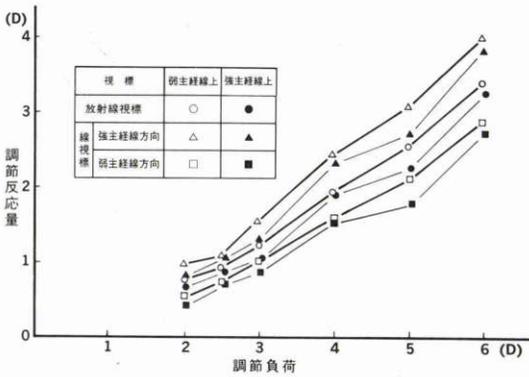


図 6 乱視量1.25D以上(15眼)の調節反応量の平均.

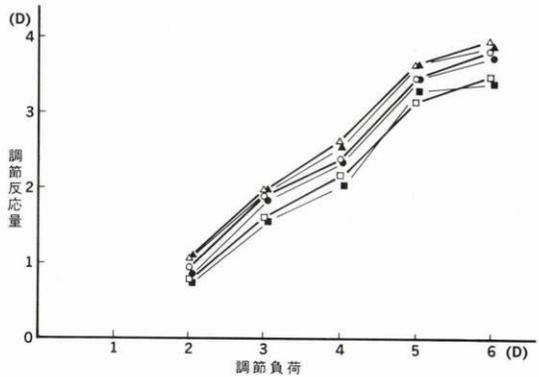


図 9 乱視量1.25D未満(13眼)の調節反応量の平均.

荷位置で黒線チャートを水平から垂直へと変化させると、屈折値は、明らかに0.25Dから0.5Dの範囲で増加した。この症例でも、それぞれの視標による屈折値の差は小さくなるが、屈折値の大きさの順は被験者 T.Y. と同じ傾向であった。この症例では放射線チャート注視時の屈折値は、垂直方向黒線チャート注視時の値にかなり近い値を示した。

倒乱視の症例でも、黒線チャートを90°→180°→90°→180°→90°の順に回転させた時の反応は直乱視の症例と同様の反応が得られた。

図 6 は、乱視量1.25D以上の症例15眼について調節

反応量を各主経線上にて平均したものである。各々の症例では調節に伴って乱視量、乱視軸に著明な変化を認めなかったため、強弱主経線上の調節反応は同様の結果が得られた。しかし、乱視量が調節とともに減少する傾向が22眼中11眼に認められたため強主経線上の平均調節反応量が弱主経線上の平均調節反応量より小さくなる結果となった。調節反応量は、強主経線方向に黒線チャートを一致させた時が最も大きく、ついで放射線チャート、弱主経線方向黒線チャートの順であった。放射線チャート注視時の調節反応量は強弱主経線方向黒線チャート注視時の値のほぼ中間値をとっていた。

次に、これら15眼を近視性乱視7眼と雑性乱視8眼に分けて検討した(図7, 図8)。両群とも強主経線方向黒線チャート、放射線チャート、弱主経線方向黒線チャートの順に調節反応量は減少していた。乱視量1.25D未満の症例13眼の平均調節反応量も同様の順に減少した(図9)。

各視標注視時の調節反応量(表2)の有意差をStudent-t検定にて検討した(表3)。これによると乱視量が1.25D未満でも視標により有意差が認められた。

### 3. 調節反応曲線の傾き

各調節反応曲線(図6~9)から最小二乗法により

表2 各視標注視時の調節反応量(D)

調節負荷(D)		2	2.5	3	4	5	6	
乱視量 1.25D以上	近視性乱視	a	0.85±0.35 0.98±0.40		0.99 1.56	2.37±0.42 2.35±0.52	1.93 2.52	3.75±0.34 3.76±0.57
		b	0.74±0.52 0.80±0.53		0.57 1.15	2.01±0.54 1.90±0.61	1.81 2.33	3.36±0.71 3.38±0.76
		c	0.48±0.42 0.58±0.53		0.52 1.11	1.60±0.58 1.51±0.65	1.14 1.79	2.55±0.67 2.49±0.73
			n = 7	n = 0	n = 2	n = 5	n = 2	n = 5
	雑性乱視	a	0.61 1.04	1.05±0.36 1.10±0.29	1.41±0.27 1.56±0.21	2.34±0.33 2.51±0.28	2.99±0.41 3.30±0.34	3.90±0.44 4.17±0.39
		b	0.35 0.47	0.87±0.26 0.92±0.22	1.18±0.33 1.25±0.27	1.89±0.41 1.98±0.31	2.40±0.38 2.65±0.37	3.21±0.39 3.41±0.37
		c	0.02 0.29	0.72±0.21 0.71±0.15	0.95±0.25 0.99±0.19	1.52±0.33 1.67±0.30	2.00±0.35 2.24±0.31	2.84±0.38 3.09±0.45
			n = 1	n = 6	n = 7	n = 8	n = 6	n = 8
	全症例	a	0.82±0.34 0.98±0.37	1.05±0.36 1.10±0.29	1.32±0.32 1.56±0.28	2.35±0.37 2.45±0.40	2.72±0.61 3.10±0.51	3.84±0.49 4.01±0.51
		b	0.69±0.50 0.76±0.50	0.87±0.26 0.92±0.22	1.05±0.42 1.23±0.32	1.94±0.47 1.95±0.45	2.26±0.46 2.57±0.44	3.27±0.54 3.40±0.55
		c	0.42±0.42 0.54±0.50	0.72±0.21 0.71±0.15	0.85±0.31 1.01±0.31	1.55±0.45 1.61±0.47	1.79±0.50 2.13±0.44	2.73±0.53 2.86±0.64
			n = 8	n = 6	n = 9	n = 13	n = 8	n = 13
乱視量1.25D未満の 症例	a	1.10±0.39 1.07±0.27	1.50 1.58	2.00±0.14 1.98±0.03	2.56±0.21 2.62±0.21	3.67±0.20 3.64±0.21	3.89±0.38 3.95±0.37	
	b	0.84±0.31 0.93±0.27	1.26 1.29	1.83±0.08 1.89±0.02	2.36±0.22 2.39±0.25	3.46±0.08 3.47±0.06	3.72±0.40 3.81±0.39	
	c	0.74±0.30 0.79±0.24	1.05 1.20	1.38±0.10 1.62±0.22	2.12±0.28 2.17±0.27	3.30±0.13 3.15±0.17	3.38±0.43 3.49±0.40	
		n = 10	n = 2	n = 4	n = 12	n = 4	n = 11	

a : 強主経線方向線視標, b : 放射線視標, c : 弱主経線方向線視標, n = 眼数

(平均±標準偏差)

枠内の上段は強主経線上, 下段は弱主経線上の値を示す。

表3 各視標注視時の調節反応量の有意差

調節負荷 (D)		2	2.5	3	4	5	6
注視視標		a   b   a b   c   c	a   b   a b   c   c	a   b   a b   c   c	a   b   a b   c   c	a   b   a b   c   c	a   b   a b   c   c
乱視量1.25D以上	近視性乱視	N.S. * * N.S. N.S. *			** ** *		* ** *
	雑性乱視		* * * * ** *	** * **	** ** *	** * **	** ** *
	全症例	N.S. * * N.S. N.S. *	* * * * ** *	** ** *	** ** *	** ** *	** ** *
乱視量1.25D未満の全症例		N.S. * * * ** *			** ** *		** ** *

N.S.有意差なし, \*p<0.05, \*\*p<0.01

枠内の上段は強主経線上, 下段は弱主経線上の値を示す.

空白の欄は眼数が少ないため有意差の検定を施行していない.

表4 各視標注視時の調節反応曲線の傾き

注視視標		強主経線方向 線視標 a	放射線視標 b	弱主経線方向 線視標 c
乱視量1.25D以上	近視性乱視	0.63±0.12 0.64±0.11	0.59±0.13 0.61±0.13	0.44±0.17 0.45±0.16
	雑性乱視	0.79±0.09 0.86±0.10	0.66±0.09 0.71±0.11	0.60±0.13 0.66±0.13
	全症例	0.72±0.13 0.76±0.15	0.62±0.11 0.66±0.13	0.52±0.17 0.57±0.18
乱視量1.25D未満の全症例		0.74±0.11 0.74±0.10	0.73±0.11 0.73±0.11	0.71±0.14 0.68±0.10

(平均±標準偏差)

表5 各視標注視時の調節反応曲線の傾きの有意差

注視視標		a-b	b-c	a-c
乱視量1.25D以上	近視性乱視	N.S. N.S.	** **	** **
	雑性乱視	** **	N.S. N.S.	** **
	全症例	** **	** **	** **
乱視量1.25D未満の全症例		N.S. N.S.	N.S. **	N.S. **

傾きを求めた。乱視量1.25D以上の全症例の平均では、強主経線方向黒線チャート注視時の傾きが最も大きく、次いで放射線チャート、弱主経線方向黒線チャートの順であり、各視標間に統計学的に有意差を認めた

(表4, 表5)。しかし、乱視量1.25D以上の近視性乱視群では、強主経線方向黒線チャートと放射線チャートの間で5%の有意水準にて有意差を認めず、乱視量1.25D以上の雑性乱視群では弱主経線方向黒線チャートと放射線チャートの間で5%の有意水準にて有意差を認めなかった。乱視量1.25D未満の症例群では、各視標による傾きの差は小さくなった。従って、乱視量の大きい症例では、調節反応量だけでなく反応曲線の傾きにも視標による差が生じる結果となった。

#### IV 考 按

##### 1. 乱視量と乱視軸の変化について

オートレフラクトメータを用いた調節時の乱視の変化については、最近、Millodot<sup>1)</sup>や市橋<sup>2)</sup>により報告されている。従来のオプトメータでは、測定経線が

固定されているが、オートレフラクトメータを用いる方法では、強弱主経線の屈折値と乱視軸が同時に測定できるという利点がある。これらの報告によると、大半の症例は乱視量、乱視軸の変化は小さく、その方向も症例により様々であり、Denieul<sup>4)</sup>による「調節安静位において乱視は最小となる」という仮説も否定的である。しかし、乱視量と乱視軸が大きく変化する症例も報告されており、このような場合、調節による視力の変化が予想され、屈折矯正において最適な矯正を行うために十分な配慮が要求される。これらの原因を解明するためにも今後オートレフラクトメータによる屈折測定及び角膜曲率の同時測定が必要と考えられた。また、今回の実験で乱視量が1.25D未満の場合、乱視軸の±20度の範囲の変動が目立った。このことは、主にオートレフラクトメータの測定精度に起因し、また調節に伴う水晶体の屈折変化の占める割合が大きいことも一因しているものと考えられた。

## 2. 調節反応量と反応曲線の傾き

従来より線視標を用いることにより乱視眼の調節反応量が増加することがいわれている。Freeman<sup>ら</sup><sup>5)</sup>は、乱視量の多い症例を用いて線視標の方向による調節反応について詳細に検討している。今回は、短時間の間に線視標を同じ調節負荷位置で回転させることによって視標の方向による調節反応の変化をより詳細にとらえることができた。この測定方法により1D未満の乱視眼においても調節反応に差があることが確認された。

図6に示したように、放射線チャート注視時の調節反応量は強弱主経線方向黒線チャート注視時のほぼ中間値をとっており、あたかも最小錯乱円を基準として放射線チャートを見ているかのようであった。しかし、個々の症例を見ると必ずしもそうではなく、強主経線方向黒線チャート注視時の調節反応に接近している症例や逆に弱主経線方向黒線チャートの方に接近している症例などが中にはみられた。このように放射線チャートを視標とした場合、乱視量の大きい乱視眼においてはチャートの見方に相違が生じており、調節による視力への影響の多様性が予想された。

更に、放射線チャート注視時の調節反応は年齢にもかなり影響されることが確認された。今回の実験では被験者は19～32歳と幅があったが、年齢によって各視標に対する反応曲線の傾きの順序に相違は得られなかった。しかし20歳代前半までの症例では、すべての負荷範囲で放射線チャートがどの方向も均一に見えるのに対し、30歳前後の症例の中には、負荷位置によ

て放射線チャートのはっきり見える方向が変化するのがあった。このように放射線チャートは乱視があっても見易い視標ではあるが、逆に調節をさぼりやすい視標ともいえる。したがって、調節力が更に低下してくると放射線チャート注視時の反応曲線の傾きが小さくなることも予想され、今後の検討が必要である。

乱視量の大きい症例では、視標によって調節反応量だけでなく反応曲線の傾きにも差が生じてくる結果が得られた。Freeman<sup>ら</sup><sup>5)</sup>によると、乱視量が大きい場合、乱視の軸の方向にとくに像形成が悪く、その方向で選択的に視機能の発育障害がおけるとされている(経線弱視)。強主経線方向と弱主経線方向の線視標を注視した時の調節量の差は、単に前焦線と後焦線で視標をとらえた差だけではなく、各主経線方向の視機能の発達程度の違いが加算されているとも考えられた。しかし今回は、裸眼でのみ実験しており、矯正下では検討していないため推測の範囲を出ない。また、乱視量1.25D以上の近視性乱視群と雑性乱視群では調節反応曲線の傾きに相違があった。近視性乱視群は常時眼鏡を装着しているのに対し雑性乱視群では裸眼視力が比較的良好なため必要時のみ眼鏡を使用していることも一因としていると考えられた。

## 3. 斜乱視

今回の対象とは別に、2眼の斜乱視の症例について実験を行う機会を得た。斜乱視の症例1では、黒線チャートを180度及び90度に一致させて注視させた時よりも、45度と135度に一致させたときの方が、明らかに調節反応に差が見られ、調節負荷を増していくとともにその傾向が顕著になった。症例2では、2～3D程度の軽度の調節負荷では180度及び90度方向の黒線チャートに強く反応するが、調節負荷が増すにつれてその差が小さくなり、かえって45度と135度の方向の黒線チャートに対する反応量が増加した。原因の一つとして、この症例2の乱視軸は160度であり直乱視に近い斜乱視であるためとも考えられた。斜乱視眼の中にこのような症例を認めたため、今回は全症例の統計から斜乱視は除外した。従来より水平方向、垂直方向に比し斜め方向は見にくいことが知られている<sup>7)</sup>が、乱視眼の中でも斜乱視は少なく、その視機能についての検討は十分ではない。少数例ながら、斜乱視眼が斜めの線視標に対し良好な視力を持つ症例も報告されており<sup>6)</sup>興味深い。

以上、乱視眼においては、視標の形状によって調節量が増加するとともに、乱視量が大きくなると調節反

応曲線の傾きにも影響を与えることが判明した。また、1D以下の小さい乱視量でも視標によって調節量に差が生じることより、精密な調節反応測定を施行する場合、軽度の乱視も無視できないとともに視標の選択にも十分な配慮が必要であることが再認識された。更に乱視眼においては調節状態によって視力に影響が生じることが考えられた。今後は、調節と視力との関係や、両眼視状態での調節と視機能の関係について検討することが必要と思われる。

#### 文 献

- 1) **Millodot M, Thibault C**: Variation of astigmatism with accommodation and its relationship with dark focus. *Ophthal Physiol Opt* 5: 297-301, 1985.
- 2) 市橋裕一, 鶴飼一彦, 石川 哲: 調節による乱視の変化. *日本眼光学学会誌* 7: 78-84, 1986.
- 3) **Freeman RD**: Asymmetries in human accommodation and visual experience. *Vision Res* 15: 483-492, 1975.
- 4) **Denieul P**: Effects of stimulus vergence on mean accommodation response, microfluctuations of accommodation and optical quality of the human eye. *Vision Res* 22: 561-569, 1982.
- 5) **Freeman RD, Mitchell DE, Millodot M**: A neural effect of partial visual deprivation in humans. *Science* 175: 1384-1386, 1972.
- 6) **Mitchell DE, Freeman RD, Millodot M, et al**: Meridional amblyopia: Evidence for modification of the human visual system by early visual experience. *Vision Res* 13: 535-558, 1973.
- 7) **Taylor MM**: Visual discrimination and orientation. *J Opt Soc Am* 53: 763-765, 1963.
- 8) **Ogilve JC, Taylor MM**: Effect of length on the visibility of a fine line. *J Opt Soc Am* 49: 898-900, 1959.