
 総 説

レンズフィッティングにおける留意点

—累進屈折力レンズのフィッティング状態による注視野の変化について—

清水 巧

東京オプトメトリックカレッジ

Points to Keep in Mind for Lens Fitting

—Change in Field of Fixation Due to Fitting Condition of Progressive Addition Lenses—

Takumi Shimizu

Tokyo Optometric College

累進屈折力レンズを正しくフィッティングすることは、装用者がレンズを有効かつ快適に使用するために極めて重要な要素となる。眼鏡処方やレンズの性能がいかに優れていても、フィッティング状態が不適切な場合は、最終的な見え方に問題が生じる。本論文では、累進屈折力レンズにおけるフィッティングの問題点を挙げる。更に、フィッティングの状態を様々に変化させたときの明視可能な注視野の実測値を紹介する。それにより、フィッティングの状態が、累進屈折力レンズの見え方に実際どのように影響するかを確認する。

(視覚の科学 23: 54-62, 2002)

キーワード：累進屈折力レンズ、フィッティング、注視野

It is extremely important to fit progressive addition lenses properly in order for the wearer to use them effectively and comfortably. No matter how good the spectacle prescription is and the lens performance is, if the fitting is not done properly there are problems in viewing. In this study, problems in fitting progressive addition lenses are listed. And actual data on the change in the field of fixation due to change in fitting condition is introduced. With those data, the effects of the fitting condition on the viewing condition is verified.

(Jpn J Vis Sci 23: 54-62, 2002)

Key Words: Progressive addition lens, Fitting, Field of fixation

I. はじめに

現在、累進屈折力レンズには多種多様なものがあり、メーカー各社から特徴のあるレンズが数多く開発されている。眼鏡の使用環境に合わせた用途別の設計においては、常用が可能な汎用累進屈折力レンズ、近用・中間用を重視した中近用累進屈折力レンズ、近用

を重視した近用累進屈折力レンズなどがあり、また各レンズにおいて視機能を考慮した収差の改善などの様々な工夫がなされている。

レンズの選択や使用方法によれば、累進屈折力レンズは遠方・中間・近方を有効に見ることができる有用なレンズといえる。しかし、このような累進屈折力レンズの性能を生かし、有効かつ快適に使用するためには、

別刷請求先：169-0073 東京都新宿区百人町 2-26-10 東京オプトメトリックカレッジ 清水 巧
(2002年10月31日受理)

Reprint requests to: Takumi Shimizu Tokyo Optometric College
2-26-10 Hyakunin-cho, Shinjuku-ku, Tokyo 169-0073
(Received and accepted October 31, 2002)

眼鏡処方、レンズ、フィッティング、装用者の正しい使用のすべてが適切であることが必要となる。それらが不適切な場合は、装用者の見え方に影響が生じる。

フィッティングにおける要素としては、角膜頂点間距離およびその左右の一致、前傾角およびその左右の一致、水平・垂直方向の位置、正面から見た水平度などがある。

ここでは汎用累進屈折力レンズについて、上記のフィッティングにおける要素のいずれかが不適切な場合にどのような影響が生じ、それを装用者が実際にどのように自覚するのかを実測できる範囲で確認したい。

II. 累進屈折力レンズのフィッティング状態に関する影響

累進屈折力レンズのフィッティング状態に関する影響について列挙する。ただし、ここでは内容をフィッティングに関する影響に絞っている。

1. 角膜頂点間距離のずれによる影響

一般的には角膜頂点間距離を 12 mm に設定する。この距離がずれた場合に次のような影響が生じる (図 1)。

1) レンズによる屈折補正状態の変化

累進屈折力レンズに限らず、距離の変化により屈折補正状態が変化し、弱補正・過補正が生じる (図 2)。

2) 距離による注視野の変化

距離の変化により、明視可能な注視野 (以降「注視

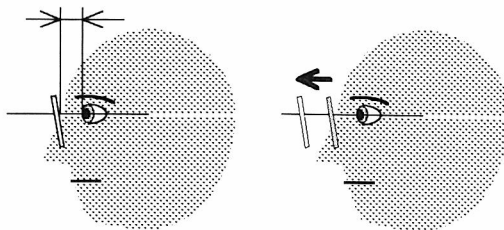


図 1

図 2

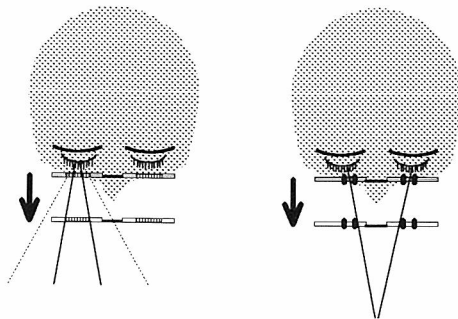


図 3

図 4

野」とする) が変化する。

例えば、距離が大きくなるほど注視野は狭くなる。遠用部・累進帯・近用部の広さはもともと狭いので、その影響は大きい (図 3)。

3) 周辺部の非点収差、度数分布の眼に対する影響の変化

視線がレンズに対して斜交する状況が変わるので、レンズ設計の条件からずれる。

4) 近用アイポイントと視線のずれ

眼鏡の距離が変わると、同距離を注視するときの視線がレンズ上の異なる点を通過することになる。

例えば、眼鏡が離れると、近方視線は近用アイポイントの内側にずれる (図 4)。

5) 角膜頂点間距離の左右差がある場合、近用アイポイントと視線の上下ずれ

左右でレンズの距離が異なると、同下方にある物を注視するときの視線がレンズ上の上下に異なる点を通過することになる。

例えば、レンズが離れた方の視線が、レンズ上で下にずれた点を通過する (図 5)。

2. 前傾角のずれによる影響

一般的には前傾角を 10~15° に設定する。この角度がずれた場合に次のような影響が生じる (図 6)。

1) 近用部における屈折補正状態の変化

傾斜が変わることにより近用部と眼との距離が変化し、屈折補正状態が変化する (図 7)。

2) 距離による累進帯・近用部の注視野の変化

傾斜が変わることにより累進帯・近用部と眼との距

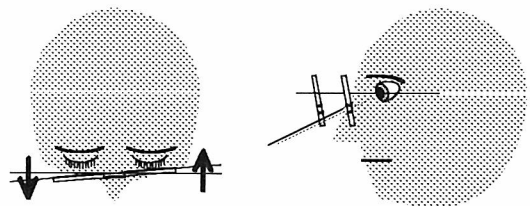


図 5

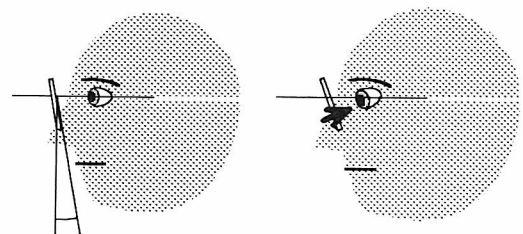


図 6

図 7

離が変化し、注視野が変化する。

例えば、前傾角が大きいほど近用部の注視野は広がる(図8)。

3) 近方視の際の視線の下方回旋の変化

傾斜が変わることにより近用部と眼との距離が変化し、下方回旋の量が変化する。

例えば、前傾角が大きいほど近方視の際に大きな下方回旋が必要になる(図9)。

4) 近用アイポイントと視線のずれ

近用部と眼との距離が変化するので、視線がレンズ上の異なる点を通過する。

例えば、前傾角が大きくなると、近方視線は近用アイポイントの外側を通過する(図10)。

5) 周辺部の非点収差、度数分布の眼に対する影響の変化

視線がレンズに対して斜交する状況が変わるので、レンズ設計の条件からずれる。

6) 前傾角の左右差がある場合、近用アイポイントと視線の上下ずれ

左右で近用部と眼との距離が異なるので、同下方にある物を注視するときの視線がレンズ上の上下に異なる点を通過することになる(図11)。

3. 垂直方向のレイアウトのずれによる影響

1) 高すぎると、遠方視の際に累進帯を使用することになる。

2) 低すぎると、近用部を使用する際に視線の下方回旋が拡大する。

4. 正面から見た傾き(水平度)のずれによる影響

1) 乱視軸が不正確なために残余乱視が生じ、注視野の減少・偏り・変形が生じる。

生じた残余乱視に合ったレンズ上の非点収差が分布している部分を使おうとするため、注視野が減少し、偏り、変形する(図13)。

2) 左右で異なる度数帯で見る

レンズの高さが左右で異なるので、左右の視線がレンズ上で非対応の点を通過することになる(図13)。

III. 眼鏡のフィッティング状態を変化させたときの注視野の変化

累進屈折力レンズを挿入した眼鏡のフィッティング状態を変化させたときの明視可能な注視野を実測した。フィッティング状態の変化により、いくつかの原因から注視野の範囲が変化するはずである。最終的にどのような影響が出るのかを実測により確

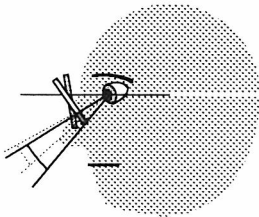


図8

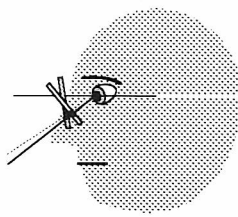


図9

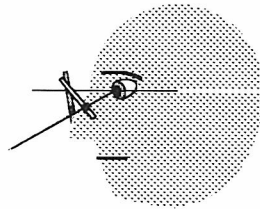


図11

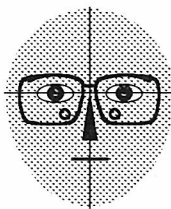


図12

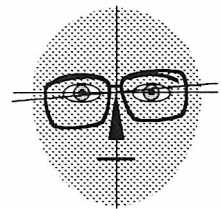


図13

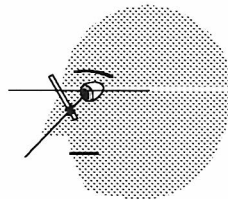
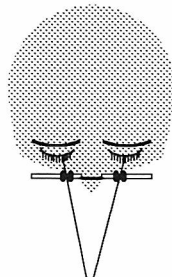
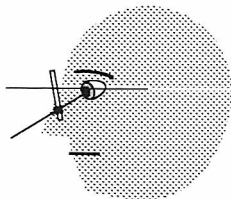


図10

認した。個々の原因について区別していないので、総合的な結果を調べたことになる。また、注視野だけで見え方をすべて表現できないことも前提としている。

1. 測定方法

1) 基準

角膜頂点間距離 12 mm, 前傾角 10° を測定の基準とした (図 14)。

2) 測定項目

眼鏡のフィッティング状態を次のように変更する。

- (1) 角膜頂点間距離 17 mm, 前傾角 10° (眼鏡を離す, 図 15)。
- (2) 角膜頂点間距離 12 mm, 前傾角 0° (傾斜をゆるくする, 図 16)。
- (3) 角膜頂点間距離 12 mm, 前傾角 20° (傾斜をきつくする, 図 17)。
- (4) 正面・上から見て +5°, 前傾角 10° (右レンズを離し左レンズを近づける, 図 18)。
- (5) 正面から見て +5°, 角膜頂点間距離 12 mm, 前傾角 10° (右レンズを下げ, 左レンズを上げる, 図 19)。

3) 使用レンズ・フレーム

汎用累進屈折力レンズ(遠中近バランスタイプ), 遠用完全補正, Add 2.50 D に統一する。

ウェリントン型のメタルフレーム (52 □ 20, 玉型高

さ 40 mm) に統一する。

4) 視 標

測定距離を 4 m, 1 m, 33 cm とする。

4 m 視標 (図 20) : 遠用部から累進带上部までの範囲
ランドルト環 (視力値約 0.8), 縦一列等間隔 (間隔 70 mm)

水平方向は視標を移動して角度を実測し, 垂直方向は視標位置から角度に換算する。

1 m 視標 (図 21) : 遠用アイポイントから累進帯, 近用部までの範囲

ランドルト環 (視力値約 0.8), 縦横等間隔 (間隔 17

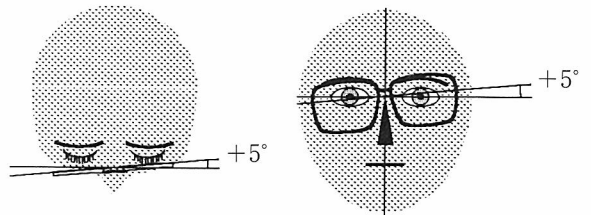


図 18

図 19

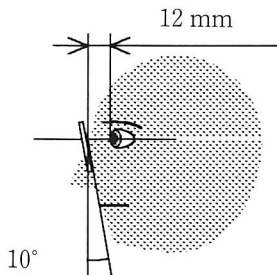


図 14



図 20 4 m 視標

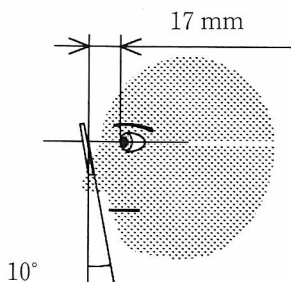


図 15

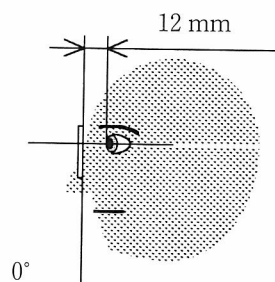


図 16

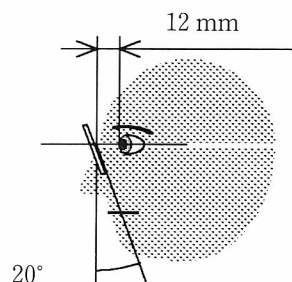


図 17

mm), 平面・直立

水平・垂直方向とも, 視標位置から角度に換算する。

33 cm 視標 (図 22): 遠用アイポイントから累進帯, 近用部までの範囲

ランドルト環 (視力値約 0.5), 縦横等間隔 (間隔 6 mm), 平面・傾斜5°

水平より35°下方で 33 cm に設定する。

水平・垂直方向とも, 視標位置から角度に換算する。

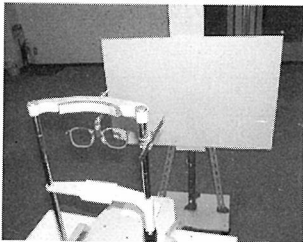


図 21 1 m 視標

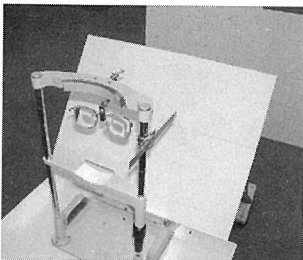


図 22 33 m 視標

5) 測定方法

図 23, 24 に示す装置を使用し, 各距離 (4 m, 1 m, 33 cm) において, 頭部を固定し眼球のみを回転させて, 視標の切れ目を判別できる範囲を測定する。

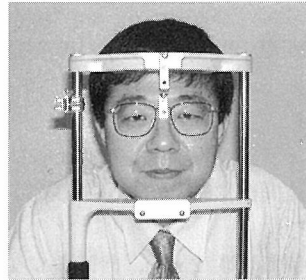


図 23 架台とレンズの固定

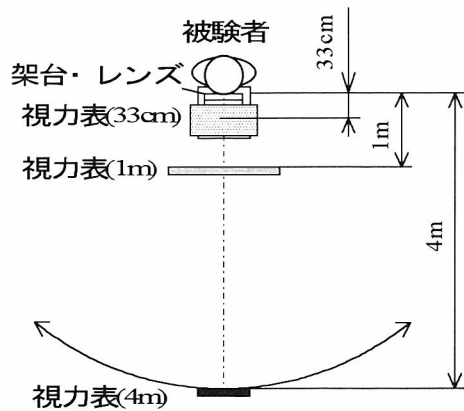


図 24 視力表の配置
各測定項目設定の上, 視力表を交換して各距離の測定を行う

表 1 被験者データ

被験者	年齢 (歳)	レンズ	PD	視力	Add	調節力	利眼
1	55	右	34	1.2 (-4.00 D×S×C-0.50 D Ax 80°)	2.50 D	右 1.25 D	右
		左	33	1.2 (-2.75 D×S×C-0.75 D Ax 120°)	2.50 D	左 1.25 D	
2	39	右	33	0.8 (-6.25 D×S×C-1.25 D Ax 160°)	2.50 D	右 3.50 D	左
		左	30	0.8 (-4.75 D×S×C-2.25 D Ax 15°)	2.50 D	左 3.50 D	
3	52	右	33.5	1.5 (-3.75 D×S×C-0.75 D Ax 85°)	2.50 D	右 1.75 D	右
		左	30.5	1.5 (-4.00 D×S×C-0.75 D Ax 85°)	2.50 D	左 1.75 D	
4	43	右	33	1.5 (0.00 D×S×C-1.50 D Ax 85°)	2.50 D	右 5.00 D	左
		左	32	1.5 (-0.50 D×S×C-0.50 D Ax 95°)	2.50 D	左 5.00 D	
5	26	右	32.5	1.2 (0.00 D×S×C D Ax)	2.50 D	右 8.00 D	右
		左	32.5	1.2 (0.00 D×S×C-0.25 D Ax 180°)	2.50 D	左 8.00 D	
6	46	右	33	1.5 (0.00 D×S×C-2.00 D Ax 90°)	2.50 D	右 1.00 D	右
		左	33	1.5 (-0.25 D×S×C-1.75 D Ax 90°)	2.50 D	左 1.00 D	

6) 被験者

被験者は6名で、そのうち3名が老視である(表1)。

2. 測定結果

注視野の測定結果の1例を示す。同一の被験者(被験者1)に対する両眼開放の測定結果となる。グラフ上の灰色の線が基準での注視野, 黒色の線が各

フィッティング状態での注視野の範囲をあらわしている。

各グラフの原点(0,0)は、遠用アイポイントの高さの鼻の付け根の正面にあたる。角度は正面からの視標方向をあらわしている。また、基準に対する比率は、各フィッティング状態での測定値を、基準での測定値

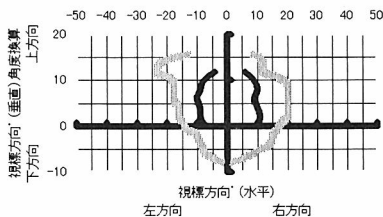


図 25 4 m

基準に対する比率

4 m 垂直方向の幅	0.50	
遠用アイポイントの高さにおける横幅	0.55	
1 m 垂直方向の幅	0.27	
上下中央の横幅	0.59	
33 cm 垂直方向の幅	0.66	
上下中央の横幅	1.30	

----- 角膜頂点間距離 12 mm, 前傾角 10°, 両眼
 ————— 角膜頂点間距離 17 mm, 前傾角 10°, 両眼

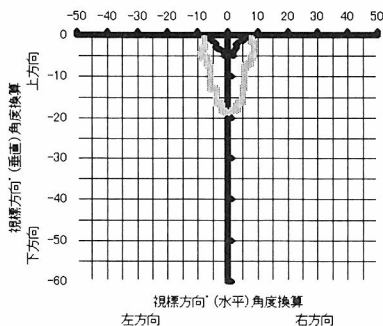


図 26 1 m

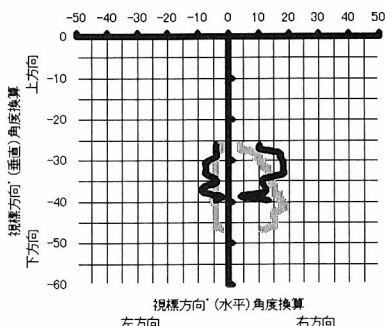


図 27 33 cm

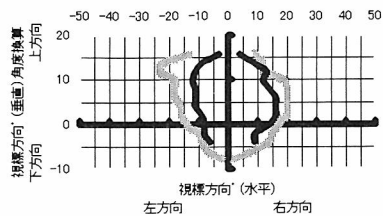


図 28 4 m

基準に対する比率

4 m 垂直方向の幅	0.83	
遠用アイポイントの高さにおける横幅	0.71	
1 m 垂直方向の幅	0.53	
上下中央の横幅	0.84	
33 cm 垂直方向の幅	1.10	
上下中央の横幅	1.25	

----- 角膜頂点間距離 12 mm, 前傾角 10°, 両眼
 ————— 角膜頂点間距離 12 mm, 前傾角 0°, 両眼

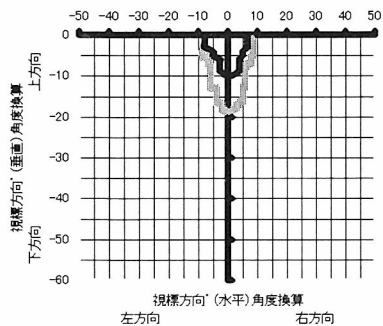


図 29 1 m

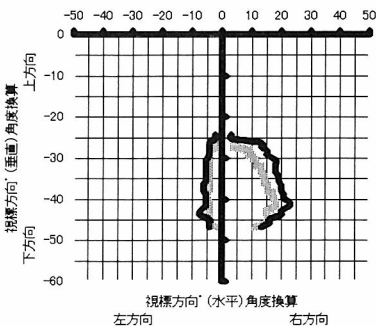


図 30 33 cm

で除したものとなる。比較対象となる範囲に上下位置の差があるため、遠方4mについては遠用アイポイントの高さにおける注視野の横幅を、中間1mおよび近方33cmについては注視野の上下の中央の高さにおける横幅を用いて比較している。

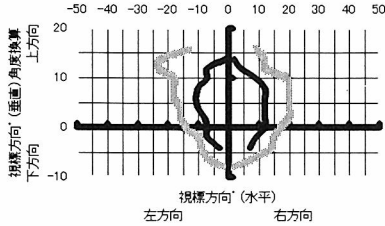


図 31 4 m

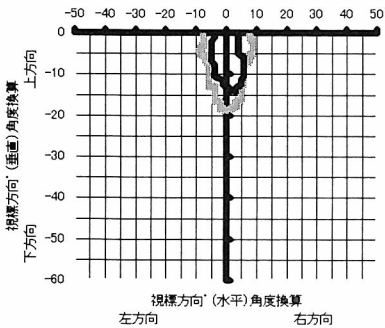


図 32 1 m

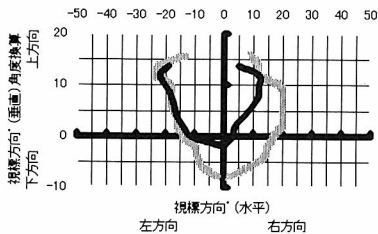


図 34 4 m

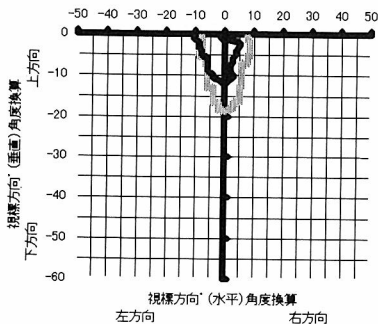


図 35 1 m

- 1) 角膜頂点間距離が大きい場合(角膜頂点間距離 17 mm, 前傾角10°, 両眼) (図 25~27)
- 2) 前傾角が小さい場合(角膜頂点間距離 12 mm, 前傾角 0°, 両眼) (図 28~30)
- 3) 前傾角が大きい場合(角膜頂点間距離 12 mm, 前

基準に対する比率

4 m	垂直方向の幅	0.74	
	遠用アイポイントの高さにおける横幅	0.61	
1 m	垂直方向の幅	0.76	
	上下中央の横幅	0.88	
33 cm	垂直方向の幅	1.00	
	上下中央の横幅	1.51	

----- 角膜頂点間距離 12 mm, 前傾角 10°, 両眼
 ————— 角膜頂点間距離 12 mm, 前傾角 20°, 両眼

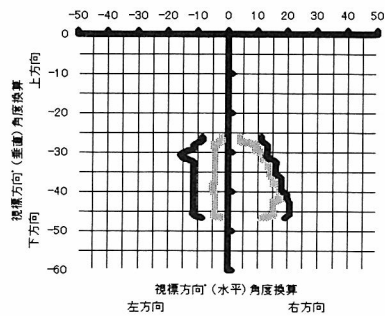


図 33 33 cm

基準に対する比率

4 m	垂直方向の幅	0.66	
	遠用アイポイントの高さにおける横幅	0.45	
1 m	垂直方向の幅	0.66	
	上下中央の横幅	0.75	
33 cm	垂直方向の幅	1.15	
	上下中央の横幅	0.80	

----- 角膜頂点間距離 12 mm, 前傾角 10°, 両眼
 ————— 正面・上から見て+5°, 前傾角 10°, 両眼

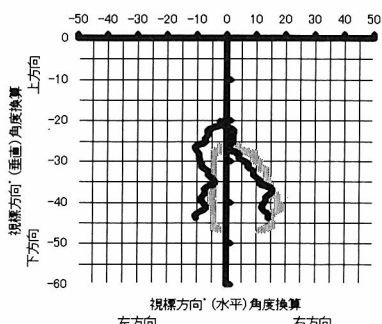
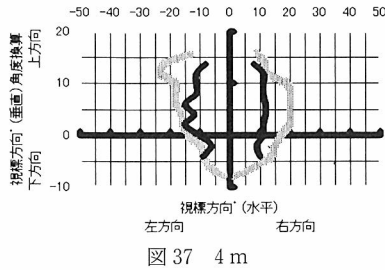


図 36 33 cm



基準に対する比率
 4 m 垂直方向の幅 0.74
 遠用アイポイントの高さにおける横幅 0.68
 1 m 垂直方向の幅 0.76
 上下中央の横幅 0.75
 33 cm 垂直方向の幅 1.43
 上下中央の横幅 0.63

----- 角膜頂点間距離 12 mm, 前傾角 10°, 両眼
 ————— 正面から見て +5°, 角膜頂点間距離 12 mm, 前傾角 10°, 両眼

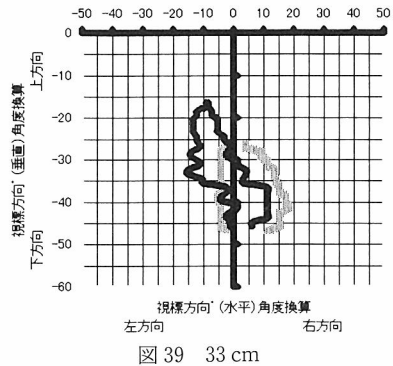
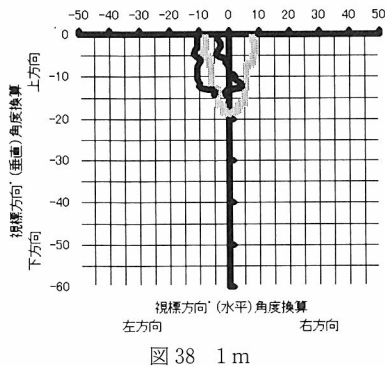


表2 両眼注視野の変化率の平均値

角膜頂点間距離 (mm)	17	12	12	10	12	
前傾角 (°)	10	0	20	正面・上から見て +5°	正面から見て +5°	
4 m	垂直方向の幅	0.81	0.95	0.88	0.72	0.71
	遠用アイポイントの高さにおける横幅	0.76	0.8	0.65	0.49	0.51
1 m	垂直方向の幅	1.37	0.81	2.15	2.26	1.88
	上下中央の横幅	0.77	0.68	1.56	2.12	1.16
33 cm	垂直方向の幅	0.79	0.7	0.85	0.82	0.96
	上下中央の横幅	1.06	0.74	1.1	0.89	0.47
傾向	遠方	縮小	縮小 (とくに水平)	縮小 (とくに水平)	縮小 (とくに水平)	縮小 (とくに水平)
	近方	全体的には縮小	縮小	全体的には拡大	縮小 違和感大	縮小 (とくに水平) とくに違和感大

傾角20°, 両眼) (図 31~33)

4) 角膜頂点間距離の左右差 (正面・上から見て +5°, 前傾角 10°, 両眼) (図 34~36)

5) 正面から見た傾き (水平度) (正面から見て +5°, 角膜頂点間距離 12 mm, 前傾角 10°, 両眼) (図 37~39)

3. 測定結果全体の傾向

基準に対する注視野の変化率の傾向をみるために、

変化率の平均値を表2に示す。

被験者が老視3名と極めて少なく一般的傾向とは言い難いが、概略の傾向として示したい。結果としては、今回設けた基準に対してフィッティング状態を変更すると、前傾角20°の際の近方視の場合を除き、遠方・近方で注視野が縮小する傾向がみられた。個々の原因は別として、見え方に対してなんらかの問題点が生じたといえる。

IV. おわりに

累進屈折力レンズのフィッティング状態が、明視可能な注視野に明らかに影響を与えることが確認できた。実際には注視野だけでなく、周辺部の歪みや揺れ、両眼視への問題も生じているだろう。

今回の測定結果からもわかるように、累進屈折力レンズはフィッティングの影響を非常に受けやすいレンズといえる。同じレンズを用いていながら、フィッ

ティング状態を一部変更しただけですぐに見え方が変化する。

そのことを踏まえて、フィッティングの基本を常に意識する必要がある。個人差があるのでどのようなフィッティング状態を最適とするかは一概にはいえないが、少なくとも遠用アイポイントだけでなく、ミラー法による近方視線のチェックを行い、なるべくレンズの有効部分を使用させる努力が必要である。

累進屈折力眼鏡による近視進行予防トライアル —研究デザイン—

長谷部 聡
岡山大学医学部眼科学講座

A Clinical Trial to Evaluate Efficacy of Progressive Addition Lenses on Myopia Control —Study Design—

Satoshi Hasebe
Department of Ophthalmology, Okayama University Medical School

累進屈折力眼鏡により小児期の近視進行が抑制できるかどうか調べるために、現在岡山大学医学部眼科で実施している、無作為化、三重盲検、臨床比較試験の概要を述べる。80名の近視眼鏡使用中の児童(年齢:6~12歳, 近視度数: -1.50~-5.00 D, 乱視度数 ≤ 1.5 D, 不同視 ≤ 1.0 D)を対象として、無作為に累進屈折力眼鏡(近用部加入度数: +1.50 D)または単焦点眼鏡を供与し、それぞれ1.5年間、合計3年間使用させる(クロスオーバー法)。それぞれの期間中の近視進行速度を、調節麻痺下で赤外線オートレフクラトメータの測定値をもとに比較することで、累進屈折力眼鏡による近視予防効果を判定する。更に、それぞれの期間中の近視進行速度と、両眼開放下での調節ラグ、斜位、初期の近視度数、年齢などの関連性を探る。このトライアルから得られる結果は、現在米国で実施されている多施設共同臨床比較試験(Correction of Myopia Evaluation Trial: COMET)の結果とともに、日本の学童における累進屈折力眼鏡による近視進行予防効果について有益な情報を与えるであろう。

(視覚の科学 23: 63-68, 2002)

キーワード: 近視, 屈折異常, 臨床試験, 小児

This paper describes the design of a randomized, triple-masked, clinical trial that has been held at the Department of Ophthalmology, Okayama University Medical School to evaluate whether there is a difference in the progression of myopia between children wearing progressive addition lenses (PALs) and children with conventional single vision lenses (SVLs). For 80 volunteer children with myopia (age: 6-12 years, spherical equivalent: -0.50 to -5.00 D, astigmatism ≤ 1.5 D, and anisometria ≤ 1.0 D), PALs or SVLs are prescribed randomly. After wearing them for 1.5 years, they switch to the other type of glasses and wear them for another 1.5 years (crossover method). The rates of myopia progression during the corresponding 1.5 years are compared based on standardized cycloplegic autorefraction, and effectiveness of the PALs is analysed. Additionally, the rate of myopia progression for each period is individually compared with accommodative lag, phoria, initial refractive power, age, etc. The results that should be obtained in this trial, together with the results from the now progressing multi-center trial held in the U.S. (Correction of Myopia Evaluation Trial, COMET), will provide useful information on the efficacy of PALs for myopia control in Japanese schoolchildren.

(Jpn J Vis Sci 23: 63-68, 2002)

Key Words: Myopia, Refractive error, Clinical trial, Child

別刷請求先: 700-8558 岡山市鹿田町2-5-1 岡山大学医学部眼科学講座 長谷部 聡
(2002年12月4日受理)

Reprint requests to: Satoshi Hasebe, MD Dept of Ophthalmol, Okayama Univ Medical School
2-5-1 Shikata-cho, Okayama 700-8558, Japan
(Received and accepted December 4, 2002)

I. はじめに

我が国の近視の有病率は年々増加し、2001年度の文部科学省の統計では、裸眼視力1.0未満の割合は小学生で25%、中学生で50%、高校生で60%と報告されている。現在、近視治療としては、laser in situ keratomileusis (LASIK) をはじめとする屈折矯正角膜手術、眼内レンズ、コンタクトレンズ(以下 CL) によるオルソケラトロジーなど新しい方法が試みられ、一部はすでに実用段階にある。しかし小児の近視に関しては、なお、侵襲の小さい、安全かつ確実な近視進行予防法の発見が期待されている。

近視進行予防については、1950年代より訓練、点眼、眼鏡など、各種の予防法について臨床試験が繰り返されてきた。しかし残念ながら、現代の evidence-based medicine (以下 EBM) の評価に耐える得る確実な近視予防法は発見されていない。1999年、Leungらは初めて累進屈折力眼鏡を近視予防に応用し、近視進行速度を通常(単焦点)眼鏡に比較して 0.47~0.57 D/年抑制できたと報告した¹⁾。近視進行がもし6年間続くと仮定すると、最終的に 3~3.5 D だけ近視を軽減できる計算になる。期待される治療効果としては、決して小さくない。しかしこの報告では、EBM の必要条件とされる無作為化や盲検化が採用されておらず、また屈折検査に調節麻痺薬を用いられていないなど問題点もあった。このため報告された結果の解釈には慎重を要するが、新しい治療法に関するパイロット研究として評価できる。

近年の調査研究により、小児期の近視進行は眼軸長の伸張が主な要因であることが判明している^{2,3)}。更に1990年代より、Earl Smith III らによる眼鏡による近視化実験(lens induced myopia)により、眼軸長の視覚抑制機構(visual regulation of axial length)の詳細が明らかになった⁴⁾。一方、近見時に発生する低調節(調節ラグ、accommodative lag)の研究により、近視を進行させている原因は近業に伴う調節ラグにあるのではないかという仮説がにわかに脚光を浴びた。もし、この説が正しいとすれば、Leungらの報告のように、調節ラグの発生を予防する累進屈折力眼鏡が、近視進行を予防しても不思議はないといえる。

これを受けて米国では、Stony Brook University, New England College, University of Alabama at Birmingham の3大学による大規模な累進屈折力眼鏡による近視進行予防の臨床比較試験(Correction of

Myopia Evaluation Trial 以下 COMET) が1998年に開始され、研究活動が現在継続中である⁵⁻⁷⁾。

COMET の研究プロトコル⁸⁾をみると、無作為化、盲検化、検出力を考慮した標本数、調節麻痺下の屈折検査などの臨床比較研究における必要条件を備えており、眼鏡による近視予防に関しては、EBM の評価に耐え得る数少ない臨床比較研究と位置づけられる。COMET 委員会は、「研究の目的」のなかで、もし累進屈折力眼鏡によって近視予防効果が得られれば、医療費削減につながるばかりか、屈折矯正角膜手術で期待できない眼軸長の過伸展を防ぎ、網膜剝離、黄斑変性症、緑内障など高度近視に伴う疾患リスクを軽減できると述べている。

COMET の最終報告は2004年に予定されており、興味もたれる。一方、対象になる児童は日本人と人種や生活習慣が異なることから、COMET の治療成績が必ずしも日本の児童にあてはまるとは限らない。そこで著者らは、日本の児童を対象とした独自の臨床比較試験が必要であると考え、2002年7月に「累進屈折力眼鏡による近視進行予防トライアル」を開始した。本稿では、COMET のプロトコルと比較しながら、このトライアルの研究デザインについて報告する。

II. 研究の目的

1. 主要目的

累進屈折力眼鏡と単視点眼鏡を使用する日本人児童で、近視の進行速度に差がみられるかどうかを明らかにする。

2. 副次的目的

1) 調節ラグ、2) 近見眼位、3) 治療開始時の近視度数、4) 年齢、5) 性別と、近視進行速度および累進屈折力眼鏡による近視予防効果の間の相関関係について検討する。

III. 理論的裏づけ

Earl Smith III は子猿を対象とした複数の動物実験により、遠視性の網膜焦点誤差が持続的に与えられたとき、眼軸長の視覚制御機転(visual regulation of axial length)が作用し、ほぼ不可逆性に近視の進行がみられることを示した。更に、眼軸長の視覚制御機転が作用するために必要な網膜焦点ずれは比較的小さく、日常的に発生するであろう近見時の調節ラグ(accommodative lag)により説明できると推定した⁴⁾。

健常者でも調節必要量が増加するとともに調節反応は低下し、調節ラグすなわち遠視性網膜焦点誤差が発

生ずる。調節ラグは日常的には、眼球の光学的焦点深度(約 ± 0.5 D)を超えないので、像のボケを自覚することはない。しかし Clifton Schor は、調節と輻湊の制御工学的モデルによるシミュレーションにより、調節反応は輻湊制御系の影響を受けており、内斜位は調節ラグを増加させ、更に accommodative convergence/accommodation (以下 AC/A 比)、convergence accommodation/convergence (CA/C 比) いかんによっては、明視努力に関係なく、数 D に達する調節ラグが発生し得ることを示した⁸⁾。また Jane Gwiazda は、近視進行中の児童の調節反応を調査し、近視児童は正視児童に比べ網膜像のボケに対する調節反応が不良で、調節ラグが有意に大きいことを示した⁹⁾。この結果は、調節ラグが近視を進行させるという仮説の理論的対偶を証明している。

今回のトライアルで使用する +1.5 D の加入度数をもつ累進屈折力眼鏡は、日常生活の大部分において調節必要量を 1.5 D 以下に保つことができると予想される。1.5 D は、健常者の平均的な tonic accommodation に相当する。更に眼鏡遠用部はやや低矯正で処方されるので、調節運動は tonic accommodation より遠方で作用するため、理論的には調節ラグの発生を予防できる。調節ラグが発生しなければ、眼軸長の視覚制御機転は作用せず、近視進行を抑制できる可能性がある。

IV. 副作用の考察

1950年代から繰り返行われてきた二重焦点眼鏡による近視進行予防の臨床比較試験において、副作用の報告はみられない¹⁰⁻¹⁶⁾。近視予防研究を概説した最新の総論では、二重焦点眼鏡治療は、ほかの近視予防法に比較し、安全性に優れていると結論されている¹⁷⁾。更に二重焦点眼鏡は古くから、高 AC/A 比の非調節性内斜視の小児に眼位矯正の目的でしばしば処方されている。調節力の減退の可能性に関する討論において、眼鏡が調節力に影響を及ぼすという証拠はみつからなかった^{18,19)}。トライアルで用いる累進屈折力眼鏡の加入度数は +1.5 D であり、(おそらく現代の情報化時代に付随する)過度な調節負担を軽減する効果はあっても、通常の調節運動自体を大きく妨げる作用はないと考えられる。

理論上、下方視での宥視による歩行障害や事故の可能性は考え難い。遠用部を完全矯正した場合、下方視での遠点は 67 cm (-1.5 D) となる。しかし、眼鏡遠用部は 0.5~1.0 D 低矯正で処方され、また眼球の光

学的焦点深度(約 ± 0.5 D)を考慮すると、下方視で明視できる距離は 100 cm (~ -1.0 D) と計算される。また経験的にも、先行する COMET では加入度数を +2.0 D としているが、トライアル開始 3 年間を経過し、下方視での宥視による歩行困難や事故は「ほとんど全く経験がない」としている (Jane Gwiazda との私信による)。

V. 研究デザイン

無作為化、盲検化、クロスオーバー法による臨床比較試験である。

1. 参加者

対象者は、すでに近視眼鏡を日常的に使用しており、授業のみでなく、可能な範囲で眼鏡を常用することに同意した 6~12 歳の小児。募集期間は 2002 年 7 月~2003 年 6 月の予定で、募集人員は 80 名である。

参加者の募集のため、1) 岡山県内の医療機関(眼科開業医、勤務医)に募集ポスター展示と紹介を依頼、2) 岡山大学教育学部附属小学校に協力を依頼し、学校検診時に眼鏡を使用している児童の父兄に対し、案内状を送付、3) 取材依頼を受けた新聞紙上で、参加問合せの連絡先を掲載した。

2. 参加条件

参加条件としては、1) 近視度数(等価球面值): 両眼とも -1.50 ~ -5.00 D, 2) 乱視度数: 両眼とも 1.5 D 以下, 3) 不同視(等価球面值): 1.00 D 以下, 4) 矯正視力: 両眼とも 0.8 以上, 5) 遮閉試験: 斜視がないこと, 6) 生下時体重: 1,250 g 以上, 7) 屈折異常以外に他に眼疾患がないこと。

3. 標本数に関する考察

眼鏡による近視進行予防効果に関しては、日本人を対象とした臨床データはない。そこで Leung らの、香港の中国人を対象とした臨床試験¹⁾をパイロット研究とみなし、必要とされる標本数について考察した。Leung らの報告では、平均(±標準偏差)近視進行速度は単焦点眼鏡使用群では 1.23 ± 0.51 D/年で、1.5 D の加入度数の累進屈折力眼鏡使用群では 0.76 ± 0.43 D/年であった。有意水準 (α -level) 0.01, 検出力 (power) 0.90 を期待するとき、有意差検定(対応のない検定)に必要な標本数は合計 61 例となる²⁰⁻²²⁾。トライアル期間前、期間中のドロップアウト (protocol deviates) 率を 20% と仮定して、必要な参加者は 76 例となる。本試験ではクロスオーバー法(後述)を採用しており、近視進行速度に関する同一被験者内の相関によっては、更に高い検出力が得られる²⁰⁻²²⁾。

表1 定期検査スケジュール

定期検査 経過期間 (カ月)	初回 0	2回 6	3回 12	4回 18	5回 24	6回 30	7回 36
インフォームド・コンセント	●						
ランダマイズ (くじ引き)	●						
前眼部, 眼底検査	●						
視力検査	●						
他覚的, 自覚的屈折検査							
非調節麻痺下	●	●	●	●	●	●	●
調節麻痺下	●			●			●
ケラトメータ	●			●			●
調節近点	●	●	●	●	●	●	●
眼位検査	●			●			●
調節ラグ測定	●			●			●
調節麻痺下の調節検査	●			●			
眼鏡処方	●			●	(基準に従って随時処方)		
眼鏡フィッティング検査	●	●	●	●	●	●	●
アンケート	●	●			●		

4. 追跡調査方法 (表1)

約6カ月間隔で合計7回の定期検査を行う。定期検査以外にも、眼鏡装用で問題が生じた場合(矯正視力の不良, 破損, 紛失を含め), 随時臨時検査を予約するよう参加者に依頼する。また期間中の他の近視治療法(点眼薬, 訓練, CL など)との併用は避けるよう依頼し, 同意を得る。

5. 眼鏡処方基準

累進屈折力眼鏡, 単焦点眼鏡を問わず, 非調節麻痺下で, オートレフ値の平均値を参考に乱視を完全矯正した上, 5m 視力表で片眼視力 1.0 (または 1.0 p) が得られる最小の球面度数で眼鏡を処方する。累進屈折力眼鏡では, 眼鏡近用部に +1.50 D を加入する。

6カ月ごとの定期検査または臨時検査においては, 非調節麻痺下のオートレフ値で 0.5 D を超える近視進行がみられた場合, 上記の基準により眼鏡の再処方を行うことを原則とする。

6. 主な測定結果

0.5% トロピカミド(ミドリン P[®])を両眼に5分間隔で二度点眼し, 30分後の赤外線オートレフラクトメータ(Nidek ARK 2000)で屈折値を5回測定する。最大値と最小値を除く3回の測定値の平均値(等価球面值)を求める。測定は, 初回検査, 第4回検査(約18カ月後), 第7回(最終)検査(約36カ月後)で施行し, 測定値の差をそれぞれの眼鏡使用期間で除し, 各眼鏡使用期間における近視進行速度を得る。近視症例に限定すると, トロピカミド点眼により十分な調節麻

痺効果が得られることがすでに報告されている⁶⁾。

7. 従たる測定結果

1) 非調節麻痺下のオートレフ値, 2) 非調節麻痺下の自覚的屈折値(5m の赤緑試験とクロスシリンドラーによる), 3) 調節麻痺下の自覚的屈折値(5m の赤緑試験, 3.0 mm のピンホール使用), 4) 遠見, 近視眼位(裸眼および完全矯正下), 5) 遠見矯正視力, 6) 2.00~5.80 D の調節視標(マルターゼ十字)に対する完全矯正下, 両眼開放下における調節ラグ(オートレフ値), 7) 石原式近点計による調節近点, 8) 0.5% トロピカミド2回点眼30分後の, 3, 4 D の調節視標に対する両眼開放下での調節反応(オートレフ値)。

8. 無作為化と盲検化

初回検査時に参加者はくじ(番号を記載した1~80の札)を引き, 無作為に参加者番号を決定する。参加者には, 累進屈折力眼鏡と通常眼鏡のいずれを使用しているかはトライアル期間が終了するまで伝えないこと, またトライアルの目的から, 眼鏡のタイプを意識することなく, なるべく同じように使用することを依頼し, 同意を得る。

検査担当医師には, 眼鏡のタイプに関する情報は知らせず, また使用中の眼鏡に触れることを禁止する。眼鏡処方箋には遠用部のみの度数を記入させ, ファックスで参加者番号とともに眼鏡士に伝達する。

眼鏡作成を担当する3名の眼鏡士は, あらかじめ研究統括者との間で交わされた秘密のルールにより, 参加者番号に基づいて先行する眼鏡タイプを決定, 眼鏡

調整を行う。この際、眼鏡のタイプに関する情報を、参加者には一切伝えないよう指示する。

統計処理係は、任意の2グループとして検査データを受け取り、最終的な結論が得られるまで、いずれのグループが累進屈折力眼鏡使用期間に対応するかは伏せられる(三重盲検法)。

9. クロスオーバー法

最初の眼鏡装用を開始した後18カ月の時点(中間地点)で、累進屈折力眼鏡から単焦点眼鏡、あるいは単焦点眼鏡から累進屈折力眼鏡へ、眼鏡タイプの総入れ替えを行う。累進屈折力眼鏡使用期間と単焦点眼鏡使用期間で近視進行速度を比較し、治療効果を検証する。この方法により、参加者の遺伝的因子、環境因子(眼鏡使用習慣を含む)を統計学的に補正し、統計学的な検出力を向上させる。更に、COMET^{5,7)}と異なり、すべての参加者がトライアル期間中一度は累進屈折力眼鏡を試みる機会が得られる。

10. 参加者の人権に対する配慮

トライアルの参加は、研究の目的、方法、得られるであろう治療効果に関して説明を担当医から受けた上で、本人と保護者の自由意志による同意に基づくものとする。いかなる時期、いかなる理由によっても、トライアル参加に関する同意を撤回できる。同意をしなかったり、同意を撤回しても、その後の診療で不利益を被ることは一切ない。また参加者の個人情報も厳重に保護する。以上の点について、書面および口頭で説明した上、これを厳守する。

11. COMET との違い

著者らの研究デザインはCOMETのプロトコル⁵⁾を参考にし、多くの点でそれを踏襲している。これは、COMETの結果と比較する上でも意義があると考えている。対象が日本の児童であるという点を除けば、主な差違として次の項目が挙げられる。1) 超音波Aモード測定は行わない。2) 累進屈折力眼鏡の加入度数は+2.00Dでなく+1.50Dを採用した。3) 眼鏡装用のコンプライアンスを確保するため、参加条件として原則的にすでに日常的に眼鏡を使用している者に限定した。4) クロスオーバー法を採用した。5) 他民族で構成される欧米での研究と異なり、アジア(中国)人を対象とした先行研究をパイロット研究と想定したため、必要標本数が約1/5となった。

VI. おわりに

岡山大学医学部眼科での「累進屈折力眼鏡による近視進行予防トライアル」について、その研究デザイン

を報告した。本研究は、近視進行予防に関する無作為化、盲検化、臨床比較試験として、2002年6月、岡山大学医学部倫理委員会の承認を得た。更に、「めがねの田中(広島市)」との産学共同研究の承認を得て、トライアルに必要な眼鏡の無償供与が得られた。これらの決定を受けて、2001年6月から参加者募集を開始、現時点(2002年10月)で70名の対象者について追跡調査中である。今後、2003年6月に参加者募集を終了、最終結果を2006年7月にとりまとめる予定である。

累進屈折力眼鏡により、もし近視進行速度が有意に低下するならば、現在の小児近視に対する標準的治療法である単焦点眼鏡による矯正に代わる新しい治療法になるであろう²³⁾。また間接的ではあるが、「極端に近くで見ると近視が進む」「近視眼鏡をかけると近視が進む」「完全矯正眼鏡をかけると近視が進みやすい」「近業では近視眼鏡は外すべきだ」といった近視と近業をめぐる眼科医の長年の経験則を裏付ける、科学的証拠が得られるものと期待している²⁴⁾。

文 献

- 1) Leung JTM & Brown R: Progression of myopia in Hong Kong Schoolchildren is slowed by wearing progressive lenses. *Optom Vis Sci* 76: 346-354, 1999.
- 2) Jensen H: Myopia progression in young school children. A prospective study of myopia progression and the effect of a trial with bifocal lenses and beta blocker eye drops. *Acta Ophthalmol* 200 (Suppl): 1-79, 1991.
- 3) Jiang B & Woessner W: Vitreous chamber elongation is responsible for myopia development in a young adult. *Optom Vis Sci* 3: 231-234, 1996.
- 4) Smith EL III: 4. Environmentally induced refractive errors in animals. In: Rosenfield M & Gilmartin B eds, *Myopia & Nearwork*, 57-90, Butterworth Heinemann, Oxford, 1998.
- 5) Hyman L, Gwiazda J et al: The Correction of Myopia Evaluation Trial (COMET): Design and general baseline characteristics. *Control Clin Trials* 22: 573-592, 2001.
- 6) Manny RE, Hussein M et al: Tropicamide, 1% is an effective cycloplegic agent for myopic children. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 42: 1728-1735, 2001.
- 7) Gwiazda J, Marsh-Tootle WL et al: Baseline refractive and ocular component measures of children enrolled in the correction of myopia evaluation trial (COMET). *Invest Ophthalmol Vis Sci* 43: 314-321, 2002.
- 8) Schor C: The influence of interactions between accommodation and convergence on the lag of accommodation. *Ophthalmic Physiol Opt* 19: 134-150, 1999.
- 9) Gwiazda J, Thorn F et al: Myopic children show insufficient accommodative response to blur. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 34: 690-694, 1993.
- 10) Mandell RB: Myopia control with bifocal correction.

- Am J Optom Arch Am Acad Optom 36: 652-658, 1959.
- 11) Miles PW: A study of heterophoria and myopia in children, some of whom wore bifocal lenses. Am J Ophthalmol 54: 111-114, 1962.
 - 12) Oakley KH & Young FA: Bifocal control of myopia. Am J Optom Physiol Opt 52: 758-764, 1975.
 - 13) Goss DA: Effect of bifocal lenses on rate of childhood myopia progression. Am J Optom Physiol Opt 63: 135-141, 1986.
 - 14) Grosvenor T, Maslovitz B et al: The Houston Myopia Control Study: A preliminary report by the patient care team. J Am Optom Assoc 6: 636-643, 1985.
 - 15) Grosvenor T, Perrigin DM & Maslovitz B: Part 2. Final report of the patient care team. Am J Optom Physiol Opt 64: 482-498, 1987.
 - 16) Parsinnen O, Humminki E & Klemetti A: Effect of spectacle use and accommodation on myopic progression: Final results of a three-year randomized clinical trial among schoolchildren. Br J Ophthalmol 73: 747-751, 1989.
 - 17) Saw SM, Shih-Yen EC, Koh A & Tan D: Interventions to retard myopia progression in children: An evidence-based update. Ophthalmology 109: 415-421, 2002.
 - 18) von Noorden GK & Jenlins RH: Accommodative amplitude in children wearing bifocals. In: Lennerstarand G ed, Update on Strabismus and Pediatric Ophthalmology, 201-204, CTC Press, Boca Raton, 1995.
 - 19) Repka MX: Discussion of "Effect of bifocals on accommodative range in children" by Gunter K, von Noorden, R Jenkins. In: Lennerstarand G ed, Update on Strabismus and Pediatric Ophthalmology, 205-206, CTC Press, Boca Raton, 1995.
 - 20) Bland M: An Introduction to Medical Statistics. 2nd Ed, Oxford Medical Publications, New York, 1995.
 - 21) Riegelman RK & Hirsch RP: 医学論文を読む. Studying a study and testing a test. How to Read the Medical Literature, Second Ed (森田茂穂訳), メディカル・サイエンス・インターナショナル, 東京, 1991.
 - 22) Sall J & Lehman A: JMP start statistics. An International Thomson Publishing Co, Belmont, 1996.
 - 23) 長谷部 聡: 特集 眼鏡処方新しい考え方. 不二門 尚編, 近視化の機構と小児の眼鏡矯正. あたらしい眼科 19: 143-148, 2002.
 - 24) 長谷部 聡: 特集 近視の現在形. 所 敬, 稗田 牧編, 調節ラグと近視. あたらしい眼科 19: 1151-1156, 2002.
-

遠近両用コンタクトレンズの処方

植田 喜一
下関市 (ウエダ眼科)

Prescription of Contact Lenses for Presbyopia

Kiichi Ueda
Shimonoseki City (Ueda Eye Clinic)

老視を矯正する遠近両用コンタクトレンズ (CL) にはハードレンズとソフトレンズがあり、光学的機能の面から交代視型と同時視型に、形状の面からセグメント型と同心円型に分けられる。更に、遠近両用 CL には二重焦点レンズと累進多焦点レンズがある。各遠近両用 CL の特徴を十分に理解して、適切なレンズを選択することが重要である。
(視覚の科学 23: 69-77, 2002)

キーワード: 老視, 交代視型, 同時視型, セグメント型, 同心円型

Contact lenses (CLs) for presbyopia can be divided into 2 types, by the material: soft CLs and hard CLs. There are 2 basic forms of CLs. They are alternative vision CLs and simultaneous vision CLs. Furthermore there are 2 types of design. They are segmented type and concentric type. There are bifocal and progressive CLs for presbyopia. Clinicians should understand the features of each CL thoroughly and prescribe a lens that is most suitable for each patient.
(Jpn J Vis Sci 23: 69-77, 2002)

Key Words: Presbyopia, Alternative vision, Simultaneous vision, Segmented type, Concentric type

I. はじめに

我が国は世界でも有数の長寿国となり、老視の矯正を行わなければならない患者が増えている。コンタクトレンズ (以下 CL) 使用者についても40歳後半になると近見障害や眼精疲労を訴える場合が多く、適切な老視矯正を考えなければならない。こうした CL 使用者の老視に対しては、まず、CL の度数を遠方からや中間距離に合わせ、遠方も近方も程々見えるようにするという方法があるが、調節力がかなり減退した場合には遠近とも十分な視力が得られない。次に、遠方または近方に合わせた CL の上から必要に応じて近

方または遠方の眼鏡をかけるという方法があるが、眼鏡を併用しなければならないという煩わしさがある。更に、CL の度数を片眼を遠方、その反対眼を近方に合わせるといったモノビジョンテクニックがあるが、両眼視機能が低下する。これらの問題を改善するために、遠近ともよく見える遠近両用 CL が望まれるようになった。

遠近両用 CL は1936年に Williem Fainbloom によって初めて二重焦点の CL が考案された¹⁾。その後様々なレンズが開発されたが、満足のいく見え方を得られないことが多かったためあまり普及しなかった。しかしながら、各メーカーの研究、開発、技術の進歩

別刷請求先: 751-0872 下関市秋根南町 1-1-15 ウエダ眼科 植田喜一
(2002年12月5日受理)

Reprint requests to: Kiichi Ueda, MD Ueda Eye Clinic
1-1-15 Akineminami-machi, Shimonoseki 751-0872, Japan
(Received and accepted December 5, 2002)

によって、十分に使用に耐え得るレンズが市販されるようになった。そこで本稿では、遠近両用 CL の種類と特徴を述べ、実際に処方する際のポイントについても言及する。

II. 遠近両用ハードコンタクトレンズ (以下 HCL)

1. 遠近両用 HCL の種類

現在国内で市販されている主な遠近両用 HCL を表 1 に示すが、遠近両用 HCL は光学的な機能の面から交代視型と同時視型がある (図 1)。交代視型は視線を上下に動かしてレンズの遠用光学部、近用光学部のどちらか一方を通して物を見るタイプで、視軸移動型とも呼ばれる。同時視型は遠方と近方の二つの像を同時に網膜に結像させ、脳 (中枢神経) がどちらか必要な像を選択する。遠方像を集中して見ているときは近方像に抑制がかかり、近方像を見ようとすると逆になる。

これら遠近両用 HCL は形状の面からセグメント

型と同心円型に分けられる (図 1)。

1) セグメント型

レンズの上方に遠用光学部、下方に近用光学部を配した交代視型の二重焦点 CL で、図 2 のように遠方視ではレンズの遠用光学部が瞳孔領を覆い、近方視では眼球が下転し、下眼瞼縁で押し上げられたレンズの近用光学部が瞳孔領を覆う。セグメント型の CL は瞬目に伴うレンズの回転が見え方に大きな影響を与えるため、プリズムバラストなどの加工が必要である。

2) 同心円型

レンズの中心から同心円状に遠用光学部と近用光学部が配置された CL で、交代視型と同時視型のものがある (図 1)。

交代視型は中心部の遠用光学部が瞳孔領より大きくデザインされた二重焦点レンズで、セグメント型と同様に遠方視ではレンズの中心部 (遠用光学部) が瞳孔領を覆い、近方視ではレンズの周辺部 (近用光学部)

表 1 国内で市販されている主な遠近両用ハードコンタクトレンズ (HCL)

形状	機能	焦点	メーカー名	商品名	特徴
セグメント型	交代視型	二重焦点	(株)レインボーオプティカル研究所	モア	弧状セグメントライン、 トランケーション
			旭化成アイミー(株)	アイミーバイフォーカル II	弧状セグメントライン
同心円型	交代視型	二重焦点	(株)メニコン	メニフォーカル [®] Z	前面多段カーブ
	同時視型 +	累進多焦点	HOYA ヘルスケア(株)	マルチビューEX	前面非球面
			(株)シード	シードマルチフォーカル O ₂	後面非球面
	交代視型		(株)日本コンタクトレンズ	プラスビュー	後面非球面・加入度数 によって前面非球面
			(株)レインボーオプティカル研究所	クレール [®]	前後面非球面
			(株)レインボーオプティカル研究所	クレール DX コンフォール	前後面非球面
			東レ(株)	プレリーナ	前後面非球面
		(株)エイコー	エイコーマルチ-1	前後面非球面	

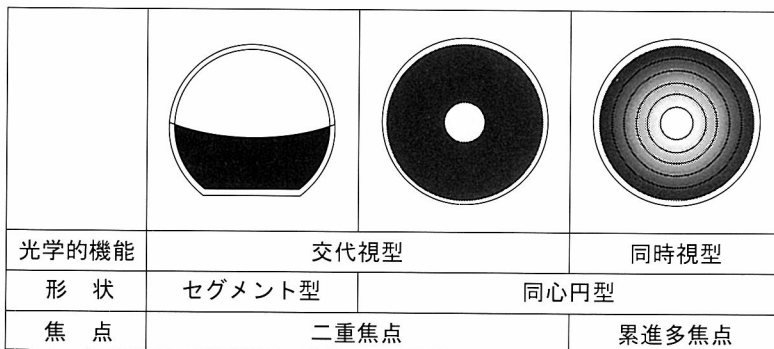


図 1 遠近両用ハードコンタクトレンズ (HCL) の種類

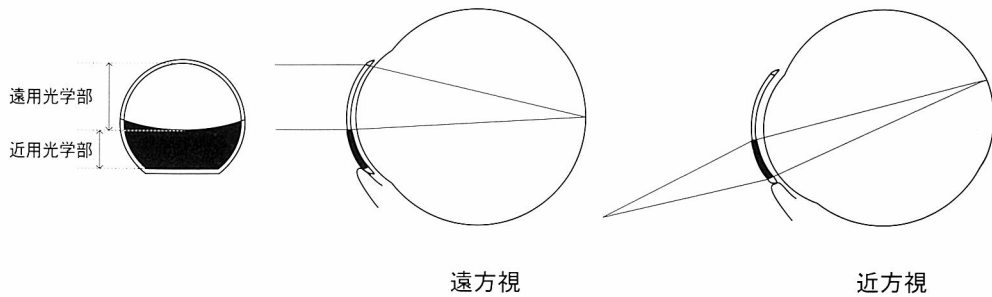


図2 セグメント型 交代視型 二重焦点 (上方遠用, 下方近用)

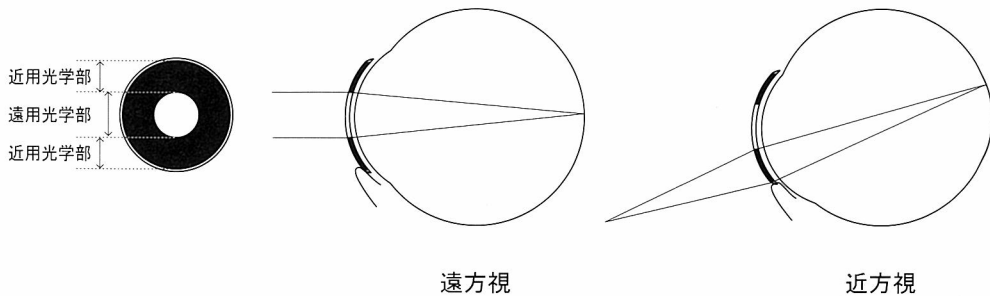


図3 同心円型 交代視型 二重焦点 (中心遠用, 周辺近用)

が瞳孔領を覆う(図3)。同心円型の CL は同心円状にそれぞれの光学部が配置されているため、セグメント型と異なりレンズの回転が見え方に大きな影響を及ぼすことはない。

同時視型のほとんどは累進多焦点レンズで、レンズの前面または後面を非球面形状として、レンズの中心から周辺に向けてプラス度数が連続的に増すように設計されている。遠近両用 HCL は角膜上でのレンズの動きが大きく、瞳孔の中心とレンズの中心がいつも一致しているとは限らず、近方視の場合に視線がレンズの周辺部の近用光学部を通ることがあるので、単純に同時視型と捉えるよりも、交代視としての機能もあわせもつ複合型と捉えるるとよい(図4)。

2. 遠近両用 HCL の特徴

セグメント型は遠用光学部、近用光学部がともに比較的広い領域を有するため、必要な光学部が選択できれば遠近ともに像は鮮明に見える。しかし、眼鏡の二重焦点レンズと同様に、近方視の場合には下方視が必要で、足元が見えにくいという問題がある。更に、遠用光学部と近用光学部の境界を視線が移動する際に像のジャンプが生じやすいという問題や、二重焦点レンズのため中間距離が見えにくいという問題があり、見え方に慣れが必要となる。この像のジャンプという現象は境界線の上下でレンズのプリズム作用が急激に変

化することが原因である²⁾。

同心円型は CL の回転による影響が少なく、像のジャンプがないが、瞳孔の中心とレンズの中心が一致しないと十分な矯正効果が得られない。二重焦点レンズに比べて累進多焦点レンズは遠方から中間距離、近方まで境目のない見え方が得られるという利点がある。

3. 遠近両用 HCL の処方のポイント

HCL を使用した人が近視障害を訴えた場合が最もよい適応である。これまで HCL を使用したことのない人でも、乱視のため遠近両用ソフトコンタクトレンズ(以下 SCL)では十分な矯正視力が得られない場合も遠近両用 HCL が適応になる。

セグメント型は適切に処方すれば遠近ともに像は鮮明に見えるので、見え方に対する要求度の高い人や、長時間の近業をする人にはこのタイプのレンズが適する。しかし、セグメントラインを目的とする位置へ安定させるフィッティングが得られない場合には処方を断念せざるを得ない。使用にあたっては、遠近両用眼鏡と同じように、遠方視をする場合には少しあごを引いて、近方視する場合には少しあごを上げて下方視するようにするなど、視線をよく見える位置に合わせるように患者に指導することが大切である。

同心円型は CL の動きや回転による影響を受けに

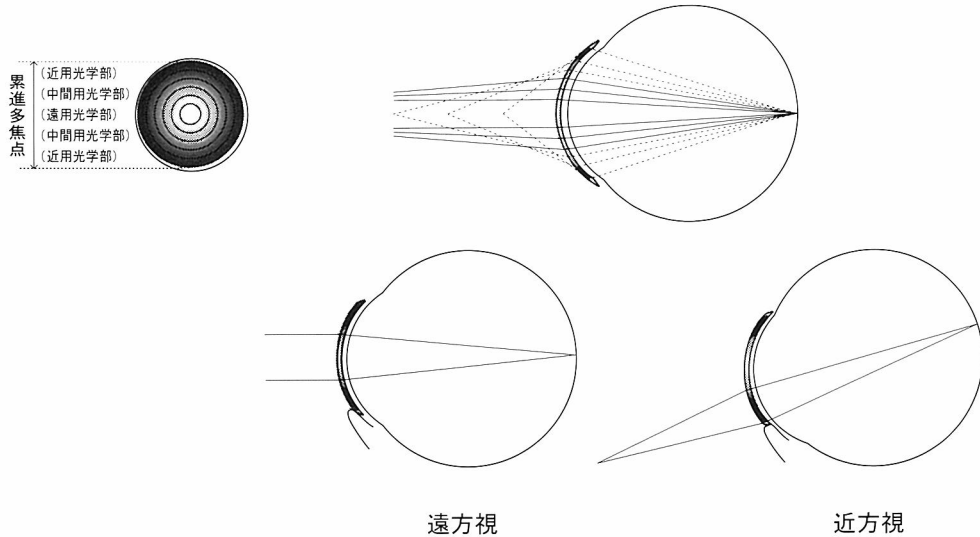
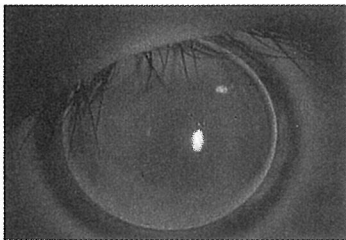


図4 同心円型 同時視型+交代視型 累進多焦点（中心遠用，周辺近用）
 上段は同時視の機能，下段は交代視としての機能を示す。同心円型の累進多焦点レンズは、
 同時視と交代視の両方の機能をあわせもつ。

メニフォーカル[®]Z

プラスビュー

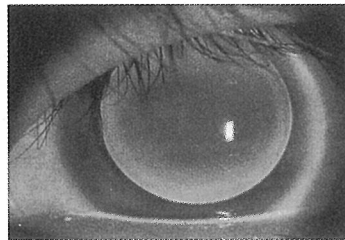
マルチフォーカル O₂



7.90 mm

前面：球面（二重焦点）

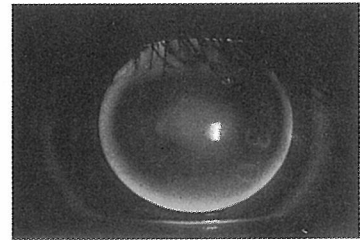
後面：球面



7.80 mm

前面：球面または非球面

後面：非球面（累進多焦点）



7.30 mm

前面：球面

後面：非球面（累進多焦点）

図5 同心円型遠近両用 HCL のフルオレセインパターン

くいため、セグメント型に比べて処方容易であるが、瞳孔の中心とレンズの中心がなるべく一致するように処方しなければならない。ただし、度数を連続的に変化させた累進多焦点レンズであれば、瞳孔の中心とレンズの中心がいくぶんずれたとしても遠方から中間距離、近方まで十分とはいえなくてもある程度の視力が得られる。見え方に対する質的要求度が低い場合には同心円型の累進多焦点レンズを選択するとよい。

フィッティングについては球面レンズと同様であるが、センタリングと動きを重視して良好なフィッティングが得られるレンズを症例に応じて選択する。レン

ズによってデザインがそれぞれ異なっているため、選択するベースカーブ（以下 BC）は大きく異なる³⁾。後面が球面の遠近両用 HCL は通常の球面の単焦点 HCL と同様に BC を選択するが、後面が非球面の遠近両用 HCL はそれぞれレンズによって後面デザインが大きく異なっているため、BC の選択が異なる。図5は同一眼にデザインの異なる3種類の遠近両用 HCL を装用した状態であるが、選択する BC に大きな差があることがわかる。フルオレセインで涙液を染色して、レンズ後面と角膜前面の接触状態を評価し、更に、瞬目によるレンズ下の涙液交換が十分に行われているかどうかを判定する必要がある。

4. 症例

症例 1 (セグメント型遠近両用 HCL の処方例)

球面 HCL (サンコンマイルド II)
 R: 7.80 mm/-2.50 D/8.8 mm
 L: 7.80 mm/-2.50 D/8.8 mm

遠方視力	近方視力
VD=(1.2×HCL)	VD=(0.2×HCL)
VS=(1.2×HCL)	VS=(0.3×HCL)

↓

遠近両用 HCL (アイミーバイフォーカル)
 R: 7.75 mm/-2.50 D/+2.50 D/9.4 mm/-0.5mm
 L: 7.75 mm/-2.50 D/+2.50 D/9.4 mm/-0.5mm

遠方視力	近方視力
VD=(1.2×HCL)	VD=(1.0×HCL)
VS=(1.2×HCL)	VS=(1.0×HCL)

遠方視力	近方視力
VD=(1.2×HCL)	VD=(0.7×HCL)
VS=(1.2×HCL)	VS=(0.7×HCL)

遠近両用 HCL (ニチコンプラスビュー)
 R: 7.60 mm/+1.25 D/+2.00 D/9.2 mm
 L: 7.60 mm/+1.75 D/+2.00 D/9.2 mm

遠方視力	近方視力
VD=(1.2×HCL)	VD=(0.7×HCL)
VS=(1.2×HCL)	VS=(0.7×HCL)

遠近両用 HCL (シードマルチフォーカル O₂)
 R: 7.10 mm/-1.75 D/+2.50 D/9.2 mm
 L: 7.10 mm/-1.25 D/+2.50 D/9.2 mm

遠方視力	近方視力
VD=(1.2×HCL)	VD=(0.8×HCL)
VS=(1.2×HCL)	VS=(0.8×HCL)

48歳の女性で、通常の HCL では両眼とも1.2の遠方視力が得られるが、近方視力は 0.2~0.3 しか得られない。遠近の見え方に対する要求度が高いため、+2.50 D の加入度数のセグメント型の遠近両用 HCL を処方すると、遠方視力は両眼とも1.2で、近方視力は両眼とも1.0が得られた (図 6)。

48歳の女性で、通常の HCL では両眼とも1.2の遠方視力が得られるが、近方視力は 0.2~0.3 しか得られない。3種類の同心円型遠近両用 HCL を装用すると、遠近とも良好な視力が得られた。このうち最もフィッティング状態がよく、自覚的にも満足度の高いレンズを処方した。

症例 2 (同心型遠近両用 HCL の処方例)

球面 HCL (サンコンマイルド II)
 R: 7.65 mm/+1.50 D/8.8 mm
 L: 7.70 mm/+2.25 D/8.8 mm

遠方視力	近方視力
VD=(1.2×HCL)	VD=(0.2×HCL)
VS=(1.2×HCL)	VS=(0.3×HCL)

角膜曲率半径

R	7.53	7.48	L
	7.64	7.71	

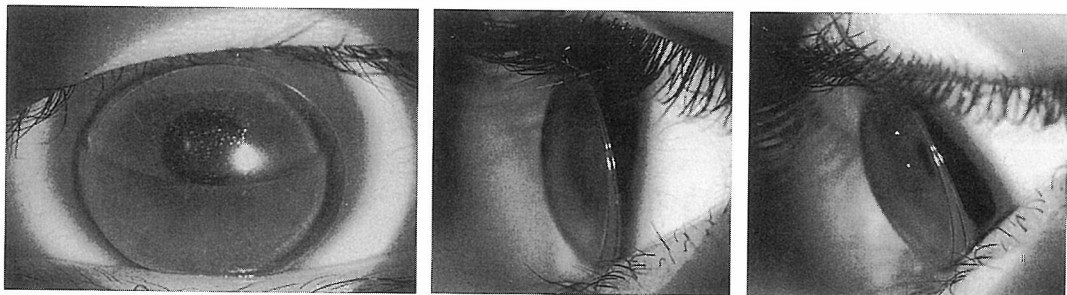
↓

遠近両用 HCL (メニコンメニフォーカル® Z)
 R: 7.70 mm/+1.75 D/+2.00 D/9.8 mm
 L: 7.70 mm/+2.50 D/+2.00 D/9.8 mm

III. 遠近両用 SCL

1. 遠近両用 SCL の種類

現在国内で市販されている遠近両用 SCL はすべて同時視型で、同心円型と回折型がある (表 2)。同心円型は中心が遠用、周辺が近用のタイプのもものと、逆に中心が近用、周辺が遠用のタイプのもがあり、二重焦点レンズ、累進多焦点レンズなど様々である (図 7~10)。回折型は光の屈折だけでなく光の回折を利用したタイプで、レンズ前面の球面部による屈折によって遠方視を、レンズ後面に同心円状に設けられた回折ゾーンによって近方視をさせようとするものである (図 11)。



遠方視

近方視

図 6 セグメント型遠近両用 HCL の処方例

表2 国内で市販されている主な遠近両用ソフトコンタクトレンズ (SCL)

	焦点	メーカー名	商品名	特徴
従来型	同心円型 二重焦点	旭化成アイミー(株) (株)メニコン	アイミーバイフォーカルソフト メニフォーカル [®] ソフト S	中心近用・周辺遠用 中心近用・周辺部遠用, 移行部を設置
		(株)レインボーオプティカル研 究所	バイフォーカルマチュアビュー	優位眼 (中心中間用・ 周辺遠用) 非優位眼 (中心中間 用・周辺近用)
		多焦点	(株)レインボーオプティカル研 究所	フォービュー [®]
		(株)シード	シードマルチフォーカル SOFT	6 同心円タイプ (中心 から遠用・中間用・近 用・中間用・近用・遠用)
	累進多焦点	ボシュロム・ジャパン(株) HOYA ヘルスケア(株)	ボシュロムバイフォーカル HOYA マルチビュー	中心遠用・周辺近用 中心遠用・周辺近用
	回折型 二重焦点	(株)レインボーオプティカル研 究所	エシェロン・ソフブルー	後面回折ゾーン近用・ 回折ゾーン以外遠用
2 週間 頻回交換型	同心円型 二重焦点	ジョンソン・エンド・ジョ ンソン(株)	2 ウィークアキュビュー [®] バイフォーカル	5 同心円タイプ (中心 から遠用・近用・遠用・ 近用・遠用)
		累進多焦点	チバビジョン(株)	フォーカス [®] プログレッシブ

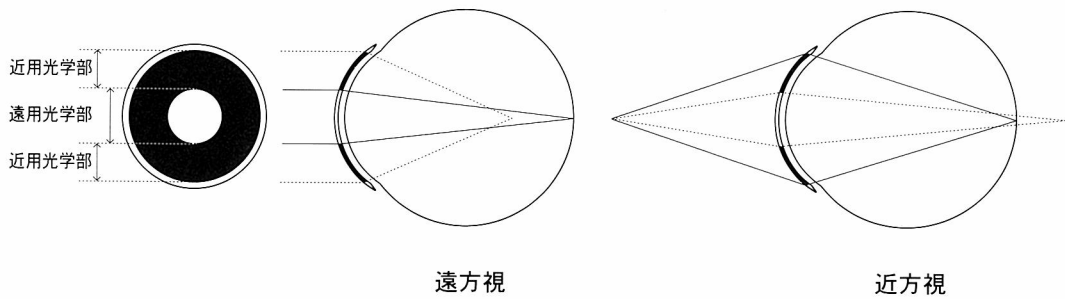


図7 同心円型 二重焦点 (中心遠用, 周辺近用)

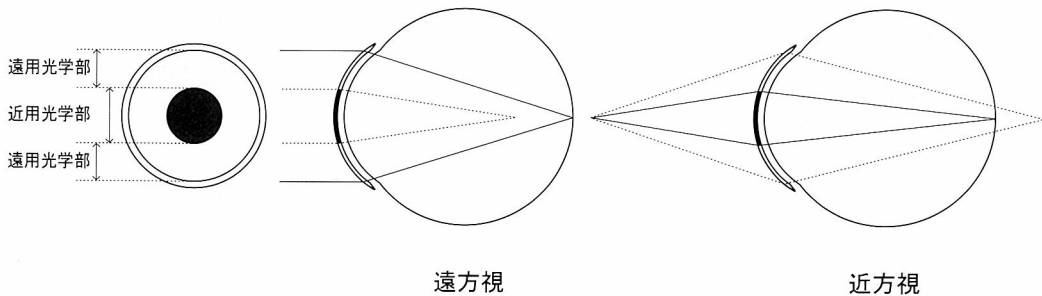


図8 同心円型 二重焦点 (中心近用, 周辺遠用)

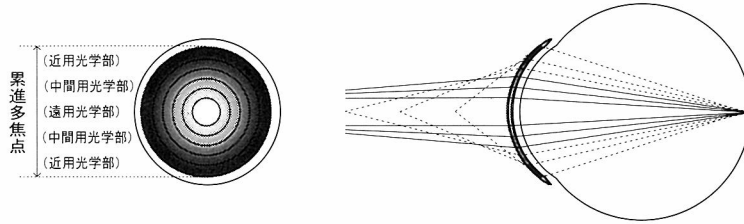


図9 同心円型 累進多焦点 (中心遠用, 周辺近用)

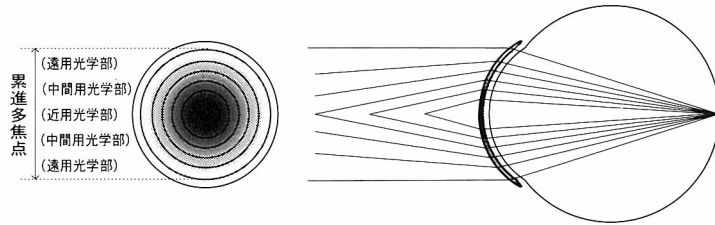


図10 同心円型 累進多焦点 (中心近用, 周辺遠用)

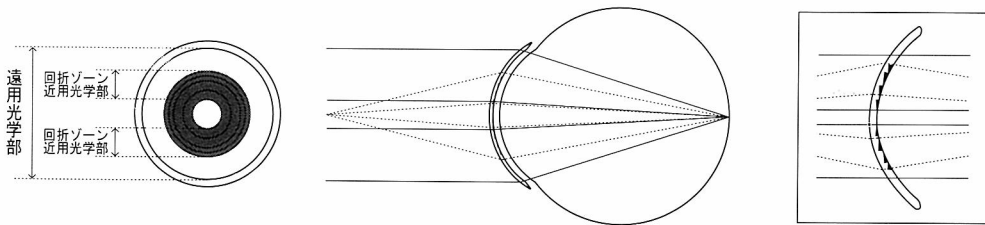


図11 回折型

2. 遠近両用 SCL の特徴

同心円型の遠近両用 SCL は中心部の光学部の面積が狭く、通常の瞳孔反応で遠用光学部と近用光学部の両方が瞳孔径を覆うようにデザインされている。この同心円型のレンズには、上述したように中心部を遠用、周辺部を近用とするものや、その逆に中心部を近用、周辺部を遠用とするものがあるが、近方視した場合は調節性の縮瞳が起こるため、中心近用・周辺遠用のレンズの方が効果的だと考えられる^{3,4)}。中心近用・周辺遠用のレンズでは、近方視の際はレンズ中央に配される近用光学部を通過する光量が全体に占める割合が高くなって、近方像のコントラストが上がり、逆に遠方視の際は自然瞳孔となり、遠用光学部を通過する光量が増加し、遠方像のコントラストが上がることを期待している。こうした屈折を利用した同心円型では、瞳孔の中心とレンズの中心が一致しないと期待した効果が得られにくい³⁻⁵⁾。また、遠用光学部と近用

光学部の面積と配置、更に瞳孔径がその効果に影響を及ぼす。瞳孔の位置や大きさには個人差があり、とくに高齢者では瞳孔が小さいことが多い。また、同一人でも照度や近見に伴う瞳孔径の変化に差があり、選択するレンズデザインによって遠近の見え方は大きく変化することがある^{4,6)}。

回折型では入射光の各々約40%が遠用、近用の結像に関与し、残りの約20%が高次回折像として分散される⁷⁾。このように遠近の像が同等に網膜に結像するため、瞳孔径の影響は受けにくく見え方は安定しているが、像が暗く、コントラストの低下を生じやすい。

3. 遠近両用 SCL の処方のポイント

SCL を使用した人が近視障害を訴えた場合が最もよい適応である。これまで CL を使用したことの無い人でも、乱視のため SCL では十分な矯正視力が得られない場合を除けば、まず一度は遠近両用 SCL を

試してみるとよい。しかし、眼鏡や遠近両用 HCL に比べると明らかに遠近の見え方は悪い、見え方に対する要求度の高い人や、長時間の近業をする人は遠近両用 SCL に満足しないことが多い。したがって、単焦点 SCL の上から必要に応じて近方または遠方の眼鏡をかけるか、遠近両用 HCL に変更せざるを得ない症例や遠近両用の眼鏡を処方せざるを得ない症例もある。単焦点 SCL ではそれぞれ遠方、近方に合わせれば、遠方、近方ともに眼鏡と同等の見え方が得られるが、遠近両用 SCL ではとくに近方の見え方が劣ることが多い⁹⁾。また、上述したように、単焦点 SCL に比べてコントラスト感度が低下し^{8,9)}、像が暗く見えるので、夜間の車の運転の際に問題になることがある。したがって、遠近両用 SCL を処方する際には、遠近両用 SCL の問題点を患者に詳しく説明する必要がある。

フィッティングについては、センタリングが良好でなければ十分な矯正視力が得られない。また、レンズの動きが過度であると安定した視力が得られない。したがって、適切なサイズや BC を選択することが重要である。

遠近両用の眼鏡を処方する場合は、他覚的および自覚的屈折値、更に年齢から考えられる調節力をもとに検眼を行えば期待される遠方および近方の視力が得られることが多い。しかし、遠近両用 SCL の場合にはこれらのデータをもとに検眼を行っても、レンズデザインや症例によっては表示された近用加入度数の効果が得られず、期待される遠方および近方の視力が得られないことがある^{3,4,10)}。このように、ある特定のレンズを選択してサイズ、BC、球面度数、近用加入度数などの規格を決定しても、満足のいく結果を得ることができなかったからといって、その症例が遠近両用 SCL の適応ではなかったと判断するのは誤りで、他のレンズに変更すると上手くいくことがある。何種類かのレンズをトライアルして、最も患者が満足するレンズを選択すべきである。実際の処方にあたっては、まず2週間頻回交換型のものをトライアルするとよい。このタイプのレンズは豊富な規格のトライアルレンズがあるので、装着して患者が見え方に満足するようであればトライアルレンズがそのまま処方レンズとなり、適応かどうかの判断ができるという長所がある。遠近両用 SCL は球面度数や近用加入度数の製作範囲が限られているため、強度の近視や遠視に対応できないという問題や、老視が進行すると対応できなくなるといった問題もあるので、処方時にはレンズの規

格に注意を払う必要がある。なお、回折型レンズの代表としてエシエロン・ソフブルー（(株) レインボーオプティカル研究所）があったが、現在は製造を中止している。

遠近両用 SCL は含水性素材であるため、装着する時間が長くなるとレンズ表面が乾燥する、汚れがレンズ表面に付着するといった問題が生じる。同心円型の遠近両用 SCL の中心部に位置する光学部の面積は小さいため、とくにこの部分が乾燥したり汚れたりすると、中心光学部による見え方の悪さは顕著であるので、人工涙液の頻回点眼や十分なレンズケアが必要である。

4. 症例

症例3 (同心円型遠近両用 SCL の処方例)

自覚的屈折検査

遠方視力 VD=0.05 (1.0×S-4.50C-0.50Ax95°)
VS=0.06 (1.0×S-4.25C-1.00Ax150°)
近方視力 VD=0.2 (1.0×S-1.50C-0.50Ax95°)
VS=0.3 (1.0×S-1.25C-1.00Ax150°)

球面 SCL (2ウィークアキュビュー®)

R: 8.70 mm/-4.25 D/14.0 mm
L: 8.70 mm/-4.25 D/14.0 mm

遠方視力	近方視力
VD=(1.0×SCL)	VD=(0.4×SCL)
VS=(1.0×SCL)	VS=(0.3×SCL)

↓

遠近両用 SCL (2ウィークアキュビュー®バイフォーカル)

R: 8.50 mm/-4.50 D/+2.00 D/14.2 mm
L: 8.50 mm/-4.50 D/+2.00 D/14.2 mm

遠方視力	近方視力
VD=(1.2×SCL)	VD=(0.6×SCL)
VS=(1.2×SCL)	VS=(0.6×SCL)

遠近両用 SCL (メニコンメニフォーカル®ソフト S)

R: 8.40 mm/-4.00 D/+2.00 D/14.0 mm
L: 8.40 mm/-4.00 D/+2.00 D/14.0 mm

遠方視力	近方視力
VD=(1.2×SCL)	VD=(0.8×SCL)
VS=(1.2×SCL)	VS=(0.8×SCL)

遠近両用 SCL (フォーカス®プログレッシブ)

R: 8.40 mm/-4.25 D/+2.50 D/14.0 mm
L: 8.40 mm/-4.25 D/+2.50 D/14.0 mm

遠方視力	近方視力
VD=(1.2×SCL)	VD=(0.7×SCL)
VS=(1.2×SCL)	VS=(0.7×SCL)

51歳の女性で、通常の SCL では両眼とも 1.0 の遠方視力が得られるが、近方視力は 0.3~0.4 しか得られない。3種類の同心円型遠近両用 SCL を装着すると、遠方視力は両眼とも 1.2 で、近方視力は 0.6~0.8

であった。このうち最もフィッティング状態がよく、自覚的に満足度の高いレンズを処方した。

IV. おわりに

遠近両用 CL の処方にあたっては、まず、患者に遠近両用 CL の利点と問題点について十分な説明をしなければならない。とくに遠近両用 CL に過度の期待を抱く人には、遠近両用 CL を装用すれば若いころのように遠くも近くも無理なくよく見えるようになるわけではなく、ある程度の妥協が必要であるということをお納得してもらう必要がある。そして、遠近両用 CL の適応かどうかを正しく判断する。遠近両用 CL の近用加入度数には限界があり、強い近用加入度数の処方は難しい。したがって、近方が見えにくくなり始めた中高齢者（40～50歳代）が最もよい適応である。HCL か SCL の選択については、これまで使用していたレンズを第一選択にする。遠近両用 HCL、遠近両用 SCL には多くのデザインのレンズがあるが、これら各種のレンズの特徴を把握する必要がある。遠近両用 CL は遠近二つの光学部が存在するため、単焦点 CL に比べ光学性が劣るという問題があり、瞳孔の中心とレンズの中心の位置のずれ、照度や近見に伴う瞳孔径の変化などが視機能に影響する。したがって、デザインの異なる数種類のレンズを装用し、それらのうち最もフィッティング状態がよく、自覚的にも満足度の高いレンズを処方すると、処方の成功率が高くなる。症例によってはモノビジョンテクニックを考慮する場合もあるが、片眼に遠方重視の遠近両用 CL か単焦点 CL、反対眼には近方重視の遠近両用 CL か単焦点 CL という組み合わせのなかからより満足度

の高い方法を選択するとよい。

遠近両用 CL の処方は、通常の単焦点 CL に比べて難しい、煩わしいと思われがちだが、適切なレンズを選択して良好なフィッティングが得られれば、満足のいく結果が得られる場合が多い。老視矯正を望む患者がいる以上、我々は積極的に遠近両用 CL の処方を試みるべきである。

文 献

- 1) Moss HI: Bifocal contact lens—A review. *Am J Optom Arch Am Acad Optom* 39: 653-668, 1962.
- 2) 曲谷久雄: 老視用コンタクトレンズの再検討. *あたらしい眼科* 9: 1829-1836, 1992.
- 3) 植田喜一: IV. 最新のコンタクトレンズ処方 2. 遠近両用コンタクトレンズの処方. *眼科診療プラクティス* 77, 涙液からみたコンタクトレンズ処方, 46-51, 文光堂, 東京, 2001.
- 4) 植田喜一: 遠近両用ソフトコンタクトレンズの特性. *あたらしい眼科* 18: 435-446, 2001.
- 5) 田中英成, 沢野 正, 大山博幸, 日比野慎吾: 光学部偏心同時視型バイフォーカルコンタクトレンズとその評価. *日コレ誌* 37: 158-161, 1995.
- 6) 柳井亮二, 相良絵見, 植田喜一, 西田輝夫, 山本達也: 光学系の異なる同時視型遠近両用ソフトコンタクトレンズの比較. *日コレ誌* 43: 169-173, 2001.
- 7) 曲谷久雄: 多焦点コンタクトレンズの現状と未来. *あたらしい眼科* 7: 999-1008, 1990.
- 8) 柳井亮二, 相良絵見, 植田喜一, 西田輝夫, 稲垣恭子, 田中英成, 脇 大悟, 山本達也: 照準線共軸型遠近両用ソフトコンタクトレンズ装用時のコントラスト感度の低下について. *日コレ誌* 43: 163-168, 2001.
- 9) 植田喜一, 佐藤里沙他: デザインの異なる遠近両用ソフトコンタクトレンズのコントラスト視力. *日コレ誌* 44: 211-215, 2002.
- 10) 上田哲生, 櫻井寿也, 原 嘉昭, 魚里 博, 稲垣恭子: バイフォーカルコンタクトレンズにおける近用加入度数について. *日コレ誌* 42: 142-145, 2000.

原 著

Photorefractive Keratectomy 後の低コントラスト視力と 高次波面収差および角膜上皮混濁の関係

田邊樹郎, 大鹿哲郎*, 宮田和典**, 鮫島智一**, 天野史郎, 前田直之***,
不二門 尚***, 広原陽子****, 三橋俊文****

東京大学大学院医学系研究科外科学専攻眼科学, *筑波大学臨床医学系眼科, **宮田眼科病院,
大阪大学大学院感覚機能形成学, *トプコン研究所

Influence of Wavefront Aberration and Corneal Subepithelial Haze on Low Contrast Visual Acuity after Photorefractive Keratectomy

Tatsuro Tanabe, Tetsuro Oshika*, Kazunori Miyata**, Tomokazu Samejima**,
Shiro Amano, Naoyuki Maeda***, Takashi Fujikado***, Yoko Hirohara**** and
Toshifumi Mihashi****

Department of Ophthalmology, University of Tokyo Graduate School of Medicine

*Department of Ophthalmology, Institute of Clinical Medicine University of Tsukuba

**Miyata Eye Hospital

***Department of Ophthalmology, Osaka University Graduate School of Medicine

****Technical Research Institute, Topcon Corporation

Photorefractive keratectomy (PRK) 後の低コントラスト視力と高次波面収差および角膜上皮混濁の関係を検討した。PRK を行った20名37眼(年齢 32.1 ± 10.9 歳, 術前屈折度数 -6.8 ± 3.7 D, $-2.0 \sim -10.5$ D) において Hartmann-Shack 型 Wavefront Analyzer (トプコン) の測定を術前および術後1カ月に行い, 中心4mm領域における全屈折の高次波面収差を定量した。また, 低コントラスト視力を CSV-1000LanC10% チャート (Vector Vision) にて, 角膜上皮混濁の程度を TSPC-3 hazemeter (ニデック) にて定量した。PRK によって, logMAR 低コントラスト視力は有意に低下した ($p < 0.001$, Wilcoxon signed rank test)。高次収差は手術により有意に増加し ($p < 0.001$), 角膜上皮混濁は手術によって有意に増加した ($p < 0.01$)。高次収差は logMAR 低コントラスト視力と有意に相関したが (Spearman's rank correlation coefficient, $r_s = 0.61$, $p < 0.0001$), 角膜上皮混濁の程度と logMAR 低コントラスト視力との間には有意な相関は認められなかった ($r_s = 0.13$, $p = 0.65$)。PRK 術後1カ月の時点における低コントラスト視力の低下には, 術後の角膜上皮混濁より高次波面収差の増加が関与していると考えられた。
(視覚の科学 23: 78-82, 2002)

キーワード: Photorefractive keratectomy, 低コントラスト視力, 波面収差, 角膜上皮混濁

We assessed low contrast visual acuity (LCVA) after photorefractive keratectomy (PRK) in relation to wavefront aberration and subepithelial haze. In 37 eyes of 20 patients, ocular aberration was measured using Topcon wavefront analyzer before and 1 month after PRK. Corneal subepithelial haze was quantified with Nidek TSPC-3 hazemeter and LCVA was recorded with Vector Vision CSV-1000LanC10% chart. PRK significantly decreased LCVA ($p < 0.001$, Wilcoxon signed rank test), and increased aberration ($p < 0.001$) and haze ($p < 0.01$). The LCVA correlated with wavefront aberration (Spearman's rank correlation coefficient, $r_s = 0.61$, $p < 0.0001$), but not with the degree of haze ($r_s = 0.13$, $p = 0.65$). Deterioration of LCVA after PRK is mainly attributable to increases in wavefront aberration, and not to corneal haze.
(Jpn J Vis Sci 23: 78-82, 2002)

Key Words: Photorefractive keratectomy, Low contrast visual acuity, Wavefront aberration, Corneal subepithelial haze

別刷請求先: 113-8655 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学大学院医学系研究科外科学専攻眼科学 田邊樹郎
(2002年10月31日受理)

Reprint requests to: Tatsuro Tanabe, MD Dept of Ophthalmol, Univ of Tokyo Graduate School of Med
7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8655, Japan

(Received and accepted October 31, 2002)

I. 緒 言

Photorefractive keratectomy (以下 PRK) は代表的な屈折矯正手術の一つであり、近年では安定した臨床成績が得られるようになってきている。しかし、臨床成績の評価は高コントラスト視力表を使用したものがほとんどで、コントラスト感度や低コントラスト視力を指標とした場合には、術前より視機能が低下することも報告されている¹⁻⁵⁾。

PRK 後にコントラスト感度が低下する理由としては、程度の差はあるものの術後にほぼ必発する角膜上皮混濁^{1,3)}や、高次収差・不正乱視などの屈折異常の増加^{2,4,5)}が考えられている。しかし、PRK 術後には多数の症例において、角膜上皮混濁と高次収差の増加が同時に発生しており、どちらがコントラスト感度の低下に関与しているのか判定は容易ではない。PRK 術後のコントラスト感度および低コントラスト視力の低下は大きな問題であり、その原因を明らかにすることは、対策を考える上で必須である。今回我々は、PRK 後の低コントラスト視力と高次波面収差および角膜上皮混濁の変化の関係を検討したので報告する。

II. 対象および方法

対象は PRK を行った20例40眼で、年齢は18~45歳 (32.8±10.5歳, 平均値±標準偏差), 術前屈折度数は -2.0~-10.5 D (-6.8±3.7 D) であった。屈折異常以外の眼科的疾患を有するものは対象に含まれていない。

エキシマレーザー照射は S2 エキシマレーザーシステム (VISX) を使用し、照射径 6.0 mm, 周波数 10 Hz の条件で行った。また術後点眼治療として、0.1% フルオロメトロン (フルメトロン®) およびレボフロキサシン点眼 (クラビット®) 1日4回を全例に行い、原則として術後12カ月までとした。術前, 術後1カ月の2回, 以下に示す方法で低コントラスト視力, 高次波面収差, 角膜上皮混濁量の測定を行った。

低コントラスト視力の測定は, コントラスト比が10%の CSV-1000LanC10% チャート (Vector Vision) を使用し, 検査距離 2 m 50 cm で行った (図1)。

CSV-1000LanC10% チャートでは視標としてランドルト環が使用されており, 各視標の間隔は等間隔で, 1例に対し5視標が表示してある。実際は, 一つの視標に対して 0.02logMAR (minimum angle of resolution) 単位を割り当て, 引き算をするため, 正確

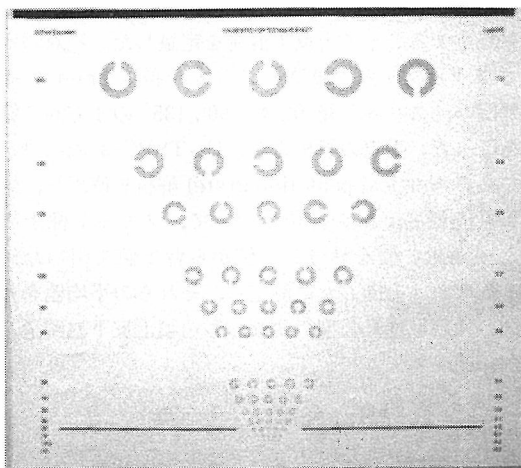


図1 CSV-1000LanC10% チャート

に読めた視標の合計数が視力値となる^{6,7)}。

全屈折の収差は, Hartmann-Shack 型 Wavefront Analyzer (トプコン) で測定した。この波面センサーでは, 射出光を多数の lenslet で捉え, そのデータをもとに収差解析している。具体的には, 波面を Zernike 多項式に展開することにより, 三次元の面に分解する。

$$Z_n^{\pm m}(\rho, \theta) = \begin{cases} \sqrt{2(n+1)}R_n^m(\rho)\cos m\theta & m > 0 \\ \sqrt{2(n+1)}R_n^m(\rho)\sin m\theta & m < 0 \cdots(1) \\ \sqrt{2(n+1)}R_n^m(\rho) & m = 0 \end{cases}$$

$$R_n^m(\rho) = \sum_{s=0}^{(n-m)/2} \frac{(-1)^s(n-s)!}{s! \left[\frac{(n+m)}{2} - s \right]! \left[\frac{(n-m)}{2} - s \right]!} \rho^{n-2s} \cdots(2)$$

ここで, 最初の六つの Zernike 係数 ($Z_0^0 \sim Z_2^m$) は, ベースカーブ, 面傾斜, 正乱視といった基本的な屈折成分をあらわしている。これらの基本成分を測定されたもとの波面から差し引き, 残りの高次成分を解析する⁸⁻¹⁰⁾。つまり, 3次以上の成分は球面レンズや円柱レンズで補正できない成分, つまり不正乱視成分であり, これが高次波面収差である。本研究では, 瞳孔径 4 mm における3次と4次の波面収差の root mean square を高次収差として解析に用いた。

PRK 術後の角膜上皮混濁定量には, 前眼部解析装置 EAS-1000 (ニデック) を改良した TSPC-3 haze meter (ニデック) を使用した^{11,12)}。Scheimpflug の原

理による角膜撮影を行い¹³⁻¹⁵⁾、角膜上皮下の散乱光強度を測定することで上皮下混濁を定量した。絶対暗室にてフラッシュ光 200 W, スリット長 7.0 mm の条件で行い、スリット光 0°, 45°, 90°, 135° の4方向で撮影を行った。実際の解析方法には、TSPC-3 内に設定してある vertical peak (integrate) 解析を使用し、中心より直径 3 mm の部位において、スリット像上の最大 density 値を積分した値から背景値を引いた値をそれぞれ4方向ごとに測定し、それらの平均値を各症例の角膜散乱光強度、すなわち角膜上皮下混濁量とした。

III. 結 果

術後1カ月の時点で、角膜上皮下混濁分類 (Fantes 分類¹⁶⁾) に従って細隙灯顕微鏡により判定した結果を表1に示す。角膜上皮下混濁が認められないグレード0の症例では、低コントラスト視力と角膜上皮下混濁の関連は非常に小さいと考えられたため、以下の解析から除外した。したがって、グレード0.5以上の症例20例37眼が解析対象となった。グレード3以上の角膜上皮下混濁を示した症例はなかった。

表2に術前、術後1カ月時の低コントラスト視力、高次収差、角膜上皮混濁量の結果を示す。低コントラ

表1 Fantes 分類のグレード別症例数

グレード	混濁の細隙灯顕微鏡所見	症例数 (例)
0	正常	3*
0.5	間接照明で確認	6
1	直接照明で確認	19
2	虹彩の詳細観察は可能	12
3	虹彩の詳細観察は困難	0
4	虹彩の詳細観察は不可	0

*グレード0の症例は、低コントラスト視力と角膜上皮下混濁の関係が考えにくいことから、解析対象から除外した

表2 術前および術後1カ月における各測定結果

	術 前	術後1カ月
低コントラスト視力 (logMAR)	0.147±0.105	0.287±0.235*
角膜上皮下混濁 (CCT)	16,789.4±1,497.3	17,603.9±2,541.2**
高次収差 (瞳孔径4mm, μm)	0.137±0.084	0.283±0.132*

平均値±標準偏差

*p<0.001, **p<0.01, Wilcoxon signed rank test, 術前値と有意差あり

スト視力は手術によって有意に低下した (p<0.001, Wilcoxon signed rank test)。手術により高次収差は有意に増加し (p<0.001), また角膜上皮下混濁は有意に増加した (p<0.01)。

低コントラスト視力と高次収差の関係を図2に、低コントラスト視力と角膜上皮下混濁の関係を図3に示す。高次収差は logMAR 低コントラスト視力と有意に相関したが (Spearman's rank correlation coefficient, $r_s=0.61$, $p<0.0001$), 角膜上皮下混濁の程度と logMAR 低コントラスト視力との間には有意な相関は認められなかった ($r_s=0.13$, $p=0.65$)。また, logMAR 低コントラスト視力と角膜上皮下混濁量との間に有意な相関は認められなかった ($r_s=0.05$, $p=0.75$)。

IV. 考 察

各種眼科手術の技術が飛躍的に高まった現在、裸眼

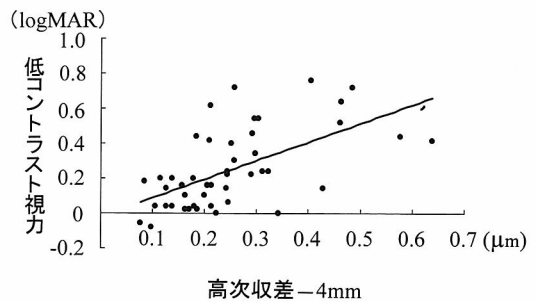


図2 高次収差 (μm) と低コントラスト視力 (logMAR) の関係
両者には有意な相関がみられた ($r_s=0.61$, $p<0.0001$, Spearman's rank correlation coefficient)。

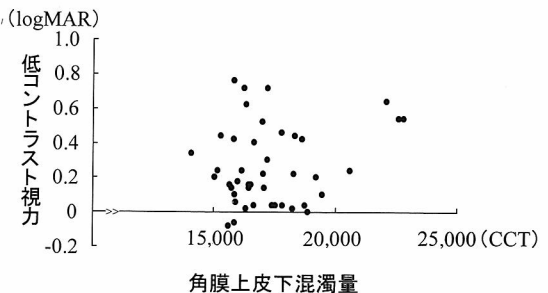


図3 角膜上皮下混濁量 (CCT) と低コントラスト視力 (logMAR) の関係
両者には有意な相関関係はみられなかった ($r_s=0.13$, $p=0.65$, Spearman's rank correlation coefficient)。

視力や矯正視力のみならず quality of vision (以下 QOV) の向上が求められるようになってきている。例えば、検査室で測定される視力は 100% に近い高コントラスト視力表を用いた、極めて非日常的な状況下での視力測定であり、患者の QOV をよく反映しているとは言い難い。そこで、対比感度などの低コントラスト状況下での視機能を測定する低コントラスト視力が重要視されてきている。近年の屈折矯正手術後の高コントラスト視力は極めて良好であるが、低コントラスト視力の低下は大きな問題となっている。今回の検討でも、PRK 術後に低コントラスト感度が有意に低下しており、過去の報告と一致した結果となった¹⁻⁵⁾。

PRK 術後にコントラスト感度が低下する理由としては、術後の角膜上皮下混濁^{1,3)}や高次収差・不正乱視などの屈折異常の増加^{2,4,5)}などがその原因として考えられている。今回の我々の検討では、PRK 術後の低コントラスト視力の低下には、角膜上皮下混濁より高次収差増加の影響の方が大きいという結果が得られた。通常の PRK や laser in situ keratomileusis (LASIK) による近視矯正手術は、角膜の波面収差・不正乱視を大きく増大させる^{5,10,17-19)}。そして、その波面収差・不正乱視増大の影響でコントラスト感度は低下する⁵⁻¹⁷⁾。これは角膜の中央部ほど多くのレーザー照射を受けるという手術の性質上、ある程度避けられないものと考えられていた。しかし、適応光学 (adaptive optics) を応用し、術前に波面収差を測定しておき、エキシマレーザーによって近視や乱視といった屈折異常だけでなく、高次収差も矯正する wavefront-guided refractive surgery の導入や、active eye tracking 搭載などの装置の改良より、高次収差の増加を抑制、減弱させる試みが現在活発に行われている。今回の我々の結果は、そういった波面収差の研究が術後の低コントラスト視力低下の改善に貢献する可能性を示している。

今回の研究では、角膜上皮下混濁の程度分類 (Fantès 分類¹⁰⁾) でグレード 0 の症例を除外しており、その上で低コントラスト視力と角膜上皮下混濁の程度には相関がなく、高次収差とは有意な相関関係があったことから、術後 1 カ月の時点では高次収差が低コントラスト視力の低下に大きく関与していると考えられることができる。低コントラスト視力と角膜上皮下混濁の程度には相関がなかったことに関しては、過去に類似した報告^{11,12)}がなされていること、PRK 以外の屈折矯正手術でも同様にコントラスト感度が低下することが報告¹¹⁾されていること、そして角膜上皮下混濁

の程度と高次収差との間に有意な相関がなかったという結果などから、その正当性は高いと考えられる。更に、角膜上皮下混濁は術後 1 カ月に最大となると報告されているので¹¹⁾、本検討の測定スケジュールは妥当と思われる。しかし、細隙灯顕微鏡検査にて角膜上皮下混濁などの異常のない PRK 術後眼においても、角膜実質内に配列の乱れた線維組織 (microstructure) の増殖が認められたとの報告²⁰⁾や角膜上皮下混濁の経時的変化に一致してコントラスト感度が低下したとの報告²¹⁾もなされており、角膜上皮下混濁、高次収差およびそれ以外の要素についても今後の経過観察および検討が必要と考えられる。

文 献

- 1) Shimizu K, Amano S & Tanaka S: Photorefractive keratectomy for myopia: One-year follow-up in 97 eyes. *J Refract Corneal Surg* 10: S178-S187, 1994.
- 2) Verdon W, Bullimore M & Maloney RK: Visual performance after photorefractive keratectomy. A prospective study. *Arch Ophthalmol* 114: 1465-1472, 1996.
- 3) Bullimore MA, Olson MD & Maloney RK: Visual performance after photorefractive keratectomy with a 6-mm ablation zone. *Am J Ophthalmol* 128: 1-7, 1999.
- 4) Seiler T, Kaemmerer M et al: Ocular optical aberrations after photorefractive keratectomy for myopia and myopic astigmatism. *Arch Ophthalmol* 118: 17-21, 2000.
- 5) Tomidokoro A, Soya K et al: Corneal irregular astigmatism and contrast sensitivity after photorefractive keratectomy. *Ophthalmology* 108: 2209-2212, 2001.
- 6) 好川由利子, 畑崎泰定他: 多機能視力測定装置 CSV-1000 の使用経験. *日本視能訓練士協会誌* 26: 129-135, 1998.
- 7) 好川由利子, 畑崎泰定他: 文字対比感度指標による対比感度の評価. *視覚の科学* 20: 40-44, 1999.
- 8) Howland HC & Howland B: A subjective method for the measurement of monochromatic aberrations of the eye. *J Opt Soc Am* 67: 1508-1518, 1977.
- 9) Applegate RA, Howland HC et al: Corneal aberrations and visual performance after radial keratotomy. *J Refract Surg (Jul-Aug)* 14: 397-407, 1998.
- 10) Oshika T, Klyce SD et al: Comparison of corneal wavefront aberrations after photorefractive keratectomy and laser in situ keratomileusis. *Am J Ophthalmol* 127: 1-7, 1999.
- 11) van de Pol C, Soya K & Hwang DG: Objective assessment of transient corneal haze and its relation to visual performance after photorefractive keratectomy. *Am J Ophthalmol* 132: 204-210, 2001.
- 12) 神谷和孝, 平林多恵他: エキシマレーザー屈折矯正手術後の角膜上皮下混濁の定量的検討. *臨眼* 50: 529-532, 1996.
- 13) Scheimpflug T: Der Photoperspektograph und seine anwendung. *Phtogr Korr* 43: 516-531, 1906.
- 14) Sakamoto Y, Sasaki K et al: Reproducibility of data obtained by a newly developed anterior eye segment analysis system, EAS-1000. *Ophthalmic Res* 24 (Suppl

- 1): 10-20, 1992.
- 15) Sasaki K, Sakamoto Y et al: The multi-purpose camera: A new anterior eye segment analysis system. *Ophthalmic Res* 22 (Suppl 1): 3-8, 1990.
 - 16) Fantes FE, Hanna KD et al: Wound healing after excimer laser keratomileusis (photorefractive keratectomy) in monkeys. *Arch Ophthalmol* 108: 665-675, 1990.
 - 17) Seiler T, Reckmann W & Maloney RK: Effective spherical aberration of the cornea as a quantitative descriptor in corneal topography. *J Cataract Refract Surg* 19 (Suppl): 155-165, 1993.
 - 18) Oliver KM, Hemenger RP et al: Corneal optical aberrations induced by photorefractive keratectomy. *J Refract Surg* 13: 246-254, 1997.
 - 19) Martinez CE, Applegate RA et al: Effect of pupillary dilation on corneal optical aberrations after photorefractive keratectomy. *Arch Ophthalmol* 116: 1053-1062, 1998.
 - 20) Bohnke M, Thaeer A & Schipper I: Confocal microscopy reveals persisting stromal changes after myopic photorefractive keratectomy in zero haze corneas. *Br J Ophthalmol* 82: 1393-1400, 1998.
 - 21) Piebenga LW, Matta CS et al: Excimer photorefractive keratectomy for myopia. *Ophthalmology* 100: 1335-1345, 1993.
-

聴覚情報が視覚探索に及ぼす影響

高松 衛, 中嶋芳雄, 石井雅博, 飯塚昌之*

富山大学工学部知能情報工学科, *東京工芸大学工学部電子情報工学科

The Effect of Influence That the Auditory Information Exerts on the Vision Search

Mamoru Takamatsu, Yoshio Nakashima, Masahiro Ishii and Masayuki Iizuka*

Faculty of Engineering, Toyama University,

*Faculty of Engineering, Tokyo Institute of Polytechnics

近年、携帯電話の普及に伴い、自動車運転時における携帯電話利用を原因とした交通事故が増加しているとの報告がある。この原因としては、会話などの聴覚情報が視覚情報になんらかの影響を及ぼしていることが考えられる。そこで本研究では、運転時を想定してドライバーが注意を配分できる視覚範囲を測定し、それが聴覚情報によって及ぼされる影響について定量的に測定することを目的とした。被験者のタスクは、聴覚から負荷を受けている状態にて、視覚ノイズのなかからターゲットを検出することである。なお、被験者は4名であった。結果より、聴覚への負荷が増大するにしたがい、視覚探索に要する時間、すなわち、視覚反応時間も増大することが示された。更にこの傾向は、中心視から遠ざかるにしたがって顕著であった。このことから、携帯電話の使用が自動車運転に悪影響を及ぼすことが明らかとなった。

(視覚の科学 23: 83-87, 2002)

キーワード：視覚探索, 交通視環境, 眼球運動, ターゲット検出時間, 聴覚情報

In recent years, there is a report that the number of traffic accidents, which are caused at the time of automobile operation, is increasing with the spread of mobile phones. This is considered because cautions to visual information are obstructed by auditory information. So it is important to measure the vision range which can distribute cautions at the time of automobile operation, and to consider quantitatively the influence of auditory information on the vision range. Four male subjects searched a target with vision in visual noise, loosed with auditory information at all times. From the result, it was shown that reaction time increases with the load of auditory information increased. The tendency is more conspicuous at the peripheral field. Thus it became clear that the use of a mobile phone affects automobile operation.

(Jpn J Vis Sci 23: 83-87, 2002)

Key Words: Vision search, Traffic visual environment, Eye movement, Target-searching time, Auditory information

I. 緒 言

近年、若年層から高齢者まで、幅広い世代を対象に

急激な勢いで携帯電話が普及している。それに伴い、自動車運転時における携帯電話使用も増加しており、これを原因とした交通事故も年々増加しているとの報

別刷請求先：930-8555 富山市五福 3190 富山大学工学部知能情報工学科（視聴覚情報処理研究室） 高松 衛
(2002年10月26日受理)

Reprint requests to: Mamoru Takamatsu Faculty of Engineering, Toyama Univ
3190 Gofuku, Toyama 930-8555, Japan

(Received and accepted October 26, 2002)

告もある。これを受けて道路交通法の一部が改正され、走行中の携帯電話使用を禁ずる規定が施行されたのは記憶に新しいところであるが、その利便性ゆえに、いまだに運転中の携帯電話使用が多いのが実状である。

自動車運転などの道路交通視環境においては、前方の道路交通標識や信号、先行車両の動きなどに関する正確かつ絶え間ない「視覚」からの情報収集が、安全性の上からも極めて重要な位置を占めている。この「視覚」から得ることのできる情報量とは、時間帯、天候、道路の混雑具合といった視環境に大きく影響されるが、ある条件下において視覚からの情報収集に關して有効に機能する視野範囲を「有効視野」と呼ぶ。「有効視野」に関しては、これまで様々な条件下での研究例が報告されている¹⁾。

運転時における携帯電話使用の問題の一つとしては、この「有効視野の縮小」が挙げられよう。すなわち、携帯電話操作による前方から手元への視線の移動、あるいは会話などの聴覚への情報によるドライバーの前方視野に対する注意力障害といった影響が考えられる。前者はハンドフリー操作方式などの導入による対策が有効であり、すでに対応がなされているが、後者の場合はこれらの分野での改善では解決できない問題である。

しかしながら、自動車運転時における会話とプレー

キなどの機器操作への反応時間の関係について報告した例は極めて多い²⁻⁵⁾が、携帯電話による会話などが自動車運転時の視覚特性に及ぼす影響について報告した例はまだ少ないのが現状である。

そこで本研究では、聴覚からの情報を負荷として、それらが視覚による情報収集、すなわち視覚探索に及ぼす影響について、更には眼球運動に及ぼす影響について定量的に測定し、基礎的データを収集することを目的とした。

II. 実験方法

実験装置図を図1に示す。本実験では、実際の道路視環境への適用を考慮に入れ、より広い視野での実験を行うべくプロジェクターを用いて実験を行った。被験者の頭上にあるプロジェクターより、図右側のスクリーンに画面が投影される。スクリーンより距離2mの位置に被験者用ブースおよびスイッチをセットし、被験者はヘッドホンを装着して、このブースの中で待機する。

スクリーン上投影画面を図2に示す。四角形の視覚ノイズおよび1個の円形もしくは六角形の視覚ターゲットを縦16行、横22列に等間隔に配列したものである。中央には固視点(+記号)を提示してある。ノイズ、ターゲットの視角はいずれも1°である。

実験方法を以下に示す。まず被験者は、図1に示す

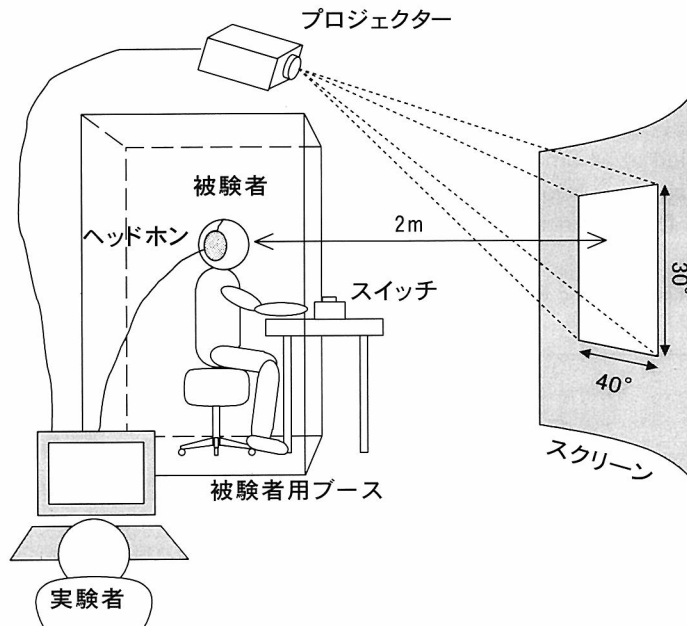


図1 実験風景

ブース内にヘッドホンを装着して待機する。被験者はこのヘッドホンを通して聴覚から絶えず音情報を収集している状態であり、本研究ではこれを聴覚負荷と呼ぶことにする。この状態にて、スクリーン上のブランク画面中央の固視点を観測する。その後、5秒後に四角形の視覚ノイズのみが配列された画面が呈示され、更にランダムな時間で画面の四角形ノイズの一つが円形もしくは六角形の視覚ターゲットに変化する。被験者のタスクは、円形、もしくは六角形の視覚ターゲットを検出した時点で手元のボタンを押すことである。すなわち、視覚ノイズが視覚ターゲットに変化してから、被験者がそれを感知して手元のボタンを押すまでの時間を「反応時間」として測定した。

聴覚負荷としては、ランダムに配列された0~9までの10種類の数字を聞くことであり、その呈示スピードは1秒当りに1個とした。被験者はあらかじめ実験者より伝えられていた任意の数字が聞こえたときに「はい」と口答するようにし、絶えず聴覚に注意を向けるようにした。なお、マッチングする数字の個数としては1~4個までの4段階とし、同様の実験を行った。

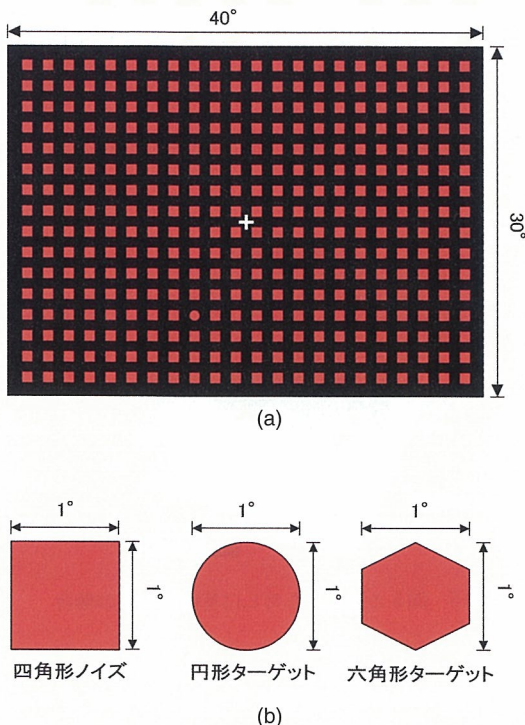


図2 呈示画面
(a) プロジェクター投影画面
(b) ノイズおよびターゲット

被験者は4名であり、いずれも色覚および聴覚正常者である。また、実験はすべて暗室にて行い、いずれの被験者も実験開始前に十分な暗順応を行った。

III. 実験結果

被験者1の結果を図3, 4に示す。いずれも、呈示画面上の各位置における「反応時間」をあらわしたものである。それぞれの図において、中央にある+は固視点をあらわしており、◎は「反応時間」が0.5秒以上1.0秒未満、○は1.0秒以上1.5秒未満、△は1.5秒以上2.0秒未満、□は2.0秒以上の場合を示している。なお、図3は聴覚への負荷がない状態、すなわちコントロール実験の結果を示しており、図4はそれぞれ、聴覚負荷に対して被験者がマッチングして口答する数字の個数が、(a) 1個の場合、(b) 2個の場合、(c) 3個の場合および (d) 4個の場合の結果である。

結果より、コントロール実験においては(図3)、固視点を中心として広い範囲で◎記号が分布しており、視覚ノイズから視覚ターゲットへの変化に対して、呈示画面上のいずれの位置においても素早く反応していることがわかる。

一方、視覚負荷がある場合では、被験者が口答すべき数字の個数の増大にしたがい、◎記号分布範囲が中心部、すなわち固視点付近(+記号)に集中し、反対に周辺部で□記号が出現している。このことは、聴覚からなんらかの音情報が入力されている状況下においては、それらの聴覚情報によってターゲットの探索に関する視覚情報処理にも影響を及ぼすことを示唆しているといえる。更にその影響は、固視点から遠ざかる視野の周辺部ほど顕著であり、反応時間にして中心部と約1秒以上もの差が出ることが明らかとなった。

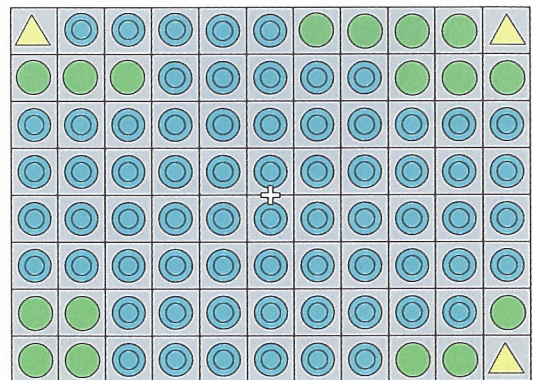
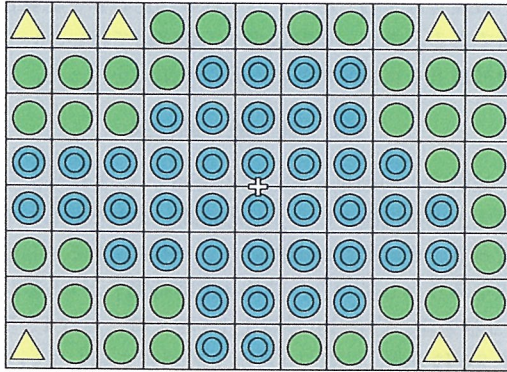
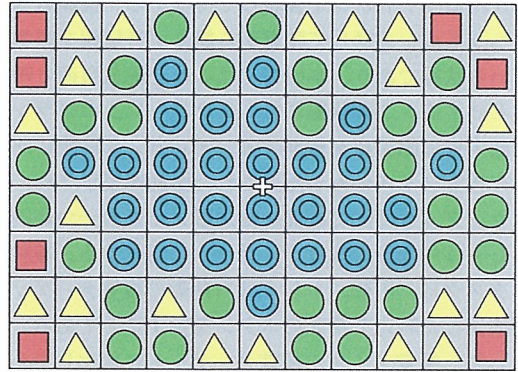


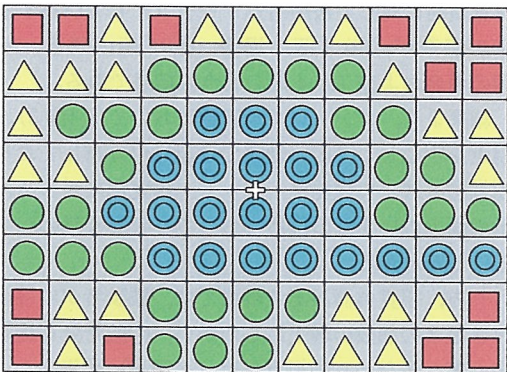
図3 画面上各領域における平均反応時間特性
(被験者1, 聴覚負荷なしの場合)



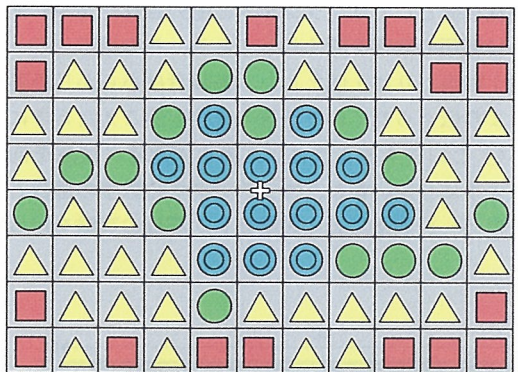
(a)



(b)



(c)



(d)

図4 図3と同じ、ただし (a) 口答個数1個の場合、(b) 2個の場合、(c) 3個の場合、(d) 4個の場合

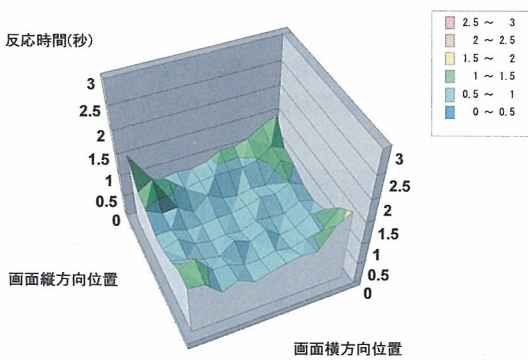


図5 三次元等高線表示による反応時間特性 (被験者1, 聴覚負荷なしの場合)

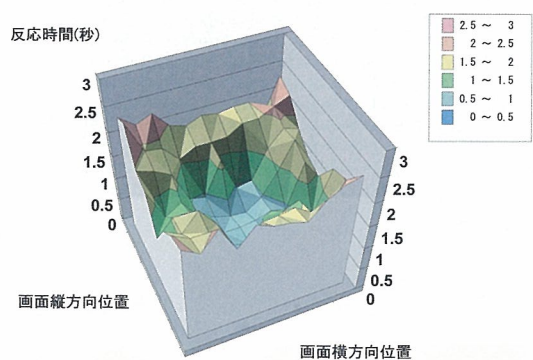


図6 図5と同じ、ただし口答個数4個の場合

これらの傾向は、他の被験者においてもほぼ同様に観測された。

一方、図3および4をより見やすくするために、三次元の等高線表示したものを図5、6に示す。すなわ

ち、縦軸方向に反応時間を取り図3、4をプロットしたものである。等高線の面の中央が固視点の位置に相当している。図5はコントロール実験結果である図3を、図6は聴覚負荷におけるマッチング数字の個数

が4個の場合の結果(図4(d))をそれぞれ三次元表示したものである。

聴覚負荷のないコントロール実験結果では、呈示画面全体で応答時間の差はなく、比較的平面となっており、視覚ターゲットの検出が画面上のどの位置でも比較的容易であったことがわかる。言い換えると、ターゲット検出に対する有効視野は、極めて広いことがわかる。

一方、聴覚に負荷を受けている場合では(図6)、等高線は中央すなわち固視点付近が急激に窪む形をしており、中心部から周辺部への移行に伴う「反応時間」の急激な増加がこの図においてもはっきりとわかる。更に周辺部だけではなく、全体的な応答時間の増加についても明らかとなった。

IV. 考 按

本研究では、「聴覚情報が視覚探索に及ぼす影響」と題して、聴覚への負荷が視覚情報処理能力に及ぼす影響について、色覚および聴覚正常者を用いて定量的に測定した。

聴覚から入力される、ランダムに配列された数字情報の負荷に対して、被験者がマッチングをして口答する数字の個数を増やした場合は、視覚によるターゲットの検索時間、すなわち「反応時間」は、いずれの被験者においても一様に増加することが明らかとなり、その過程を定量化した。更に反応時間の増加の割合は、呈示画面の中央から遠ざかるほど、言い換えると周辺視において更に顕著であり、中心と比較して最

大で1秒以上もの遅れが出ることが明らかとなった。

これらのことから、携帯電話の使用が、自動車運転時におけるドライバーの視覚情報処理を大幅に阻害していることが明らかとなった。

ところで本研究では、プロジェクターおよび四角形のスクリーンを用いて、可能な限り視野を広くとって実験を行ったが、我々人間の視野範囲(本実験では注視野範囲)および眼球の動きなどを考慮すると、被験者が観測する呈示画面の形状は四角形ではなく円形であることが望ましいといえる。また、実際の道路交通視環境において、運転中のドライバーが視覚から情報収集を行うべき範囲は、本実験の観測条件よりも更に広い。したがって、より広い視野を確保できる巨大なスクリーンで実験を行い、基礎データを充実させる必要があるといえる。今後の取り組み課題としたい。

文 献

- 1) Engel FL: Visual conspicuity, directed attention and retinal locus. *Vision Res* 11: 563-576, 1971.
- 2) Brookhuis KA, deVries G & deWaard D: The effects of mobile telephoning on driving performance. *Accident Analysis and Prevention* 23: 309-316, 1991.
- 3) 川野常夫, 西田修三他: 自動車運転中の携帯電話の使用における運転・会話特性と加齢の影響. *人間工学* 32: 8-9, 1996.
- 4) 飯田健夫, 伊藤孝幸: 自動車運転時における視覚特性への思考負荷の影響—眼球運動と反応時間による検証—. *交通工学* 28: 60-65, 1998.
- 5) 川野常夫, 西田修三, 橋本正治, 森脇俊道: 自動車運転と携帯電話の同時行為における運転・会話特性と衝突回避反応に関する研究. *交通工学* 28: 66-70, 1998.

トピックス

DICOM による画像ファイリングと電子カルテの連携

堀田 一樹, 堀田 順子, 関 奏子, 佐生垂希子, 秦 瑞穂*
 亀田総合病院眼科, 興和株式会社*

The Linkage of Ophthalmic Image Filing System with Electronic Medical Record by Using DICOM Interface

Kazuki Hotta, Junko Hotta, Kanako Seki, Akiko Sasho and Mizuho Hata*
 Department of Ophthalmology, Kameda Medical Center, *Kowa Company Ltd, Tokyo

亀田総合病院では数年来、各科共有の総合電子カルテシステムのデザイン開発に着手してきた。ペーパーレス、フィルムレス診療録のプロトタイプ完成を実現した一方、眼科画像については35ミリスライド保管を踏襲していた。大きな問題は、電子カルテと連携可能な眼科画像ファイリングシステムがなかったことである。最近、画像ファイリングシステム VK-2(興和株式会社, 東京)が DICOM 通信を用いて我々の電子カルテシステムと連携可能になった。眼底、前眼部などの眼科写真や optical coherence tomography (OCT), scanning laser ophthalmography (SLO), multifocal electroretinography (mf-ERG), 超音波断層像などをすべてデジタル化して VK-2 に取り込み、DICOM 通信で電子カルテに転送できるようになった。電子カルテと VK-2 は患者 ID を共有する。このため両システムは別々に起動した状態で使用可能となり、同時起動による画像のカットアンドペーストの必要はない。画像ファイリングに要する労力は大いに軽減された。(視覚の科学 23: 88-92, 2002)

キーワード: 電子カルテ, 画像ファイリング, DICOM

Kameda Medical Center have been involved in the design and development of the electronic medical record (EMR) system over the past few years. We achieved implementation of a prototype that makes a paperless and filmless medical record a reality, however, the ophthalmic photographs were still filed in the form of 35 mm photo slides instead of digital data. The problem was that there was no commercialized digital photo filing system that had a way to link with our EMR system. Recently, a digital imaging system VK-2 (Kowa company Ltd, Tokyo) has become able to be connected with our EMR system using DICOM. Ophthalmic photographs, optical coherent tomography (OCT) images, scanning laser ophthalmography (SLO) images, multifocal electroretinography (mf-ERG) images and echographs are captured and stored digitally in VK-2, then you can select and send the images to EMR server directly by using DICOM. The most advantageous merit is that VK-2 and EMR can share the patient identification data. It means that there is no need to start up both systems at a time and no need to cut and paste pictures from VK-2 to EMR. So, we can save a lot of time and effort to file the images in EMR. (Jpn J Vis Sci 23: 88-92, 2002)

Key Words: Electronic medical record, Image filing system, DICOM

別刷請求先: 296-0041 鴨川市東町 929 亀田総合病院眼科 堀田一樹
 (2002年10月2日受理)

Reprint requests to: Kazuki Hotta, Dept of Ophthalmol, Kameda Medical Center
 929 Higashi, Kamogawa, 296-0041, Japan
 (Received and accepted October 2, 2002)

I. 結 言

近年の電子カルテの普及は目覚ましく、一般開業医院レベルにも普及の波が押し寄せている。大規模病院ではすでに複合診療科の連携医療ツールとして利用され、とくに放射線画像の共有などはその利用頻度も多いことから開発が進んでいる^{1,2)}。一方眼科には、他科に比べ比較的早い時期から画像ファイリング装置によるネットワーク化が進んでいた。しかし、今まで両者は独自の発展をたどったため、結果として眼科には互いに互換のない全く独立した2種類のコンピュータネットワークが存在する事態が日常化してしまった。このような事態を打開するためには、電子カルテと画像ファイリングが互いに連携して動作する必要がある。しかし、電子カルテメーカーと画像ファイリングメーカーが異なる場合には実現に程遠かった。

今回我々は、既存の電子カルテのインフラを活かし、また現在の診療業務への追加を最小に押さえつつ眼科画像ファイリングと統合電子カルテとの連携を実現した。また連携を実現する手段として、Digital Imaging and Communication in Medicine (DICOM) を使用したので、その利点についても報告する。

II. 経 緯

亀田総合病院は現在、総ベッド数 800 を越える地域の基幹病院として機能し、1日の外来患者数も

2,000名に及ぶ。また1995年からは統合電子カルテシステム KAI (亀田医療情報研究所, 東京) を導入し、全診療科で使用している。KAI は、一般的なカルテ機能、いわゆるクリティカルパスであるナビゲーションケアマップ、オーダリング機能などを備えている^{3,4)}。

一方、我々眼科も比較的大規模な診療体制で日常診療にあたっており、とくに眼底撮影を含む有画像検査は年間 5,000 件を越え (2001年度実績で、眼底・前眼部写真 2,820 件、optical coherence tomography (OCT)・scanning laser ophthalmography (SLO)・multifocal electroretinography (mf-ERG)・角膜内皮・超音波断層・他 2,304 件) これに伴う画像処理やファイリングには膨大な労力が費やされた。2001年には画像ファイリングシステム VK-2 を導入したが、画像ファイリング装置は眼科外来内にサーバーを設置しており、眼科外来内でクローズしたネットワークであった。そのため最も大きな問題は、眼科病棟や眼科手術室などのロケーションの異なる眼科部門から、あるいは脳外科、耳鼻科、内科など眼科以外の診療科からの、“ファイリング装置内の眼科画像を参照したい”という要望にネットワーク上で対応することができない点であった (図1)。

また、眼科内にはすでに相当数の電子カルテ端末が稼働していたが、ファイリング装置の設置してある部屋は限られており、眼科外来内でも、ファイリング装

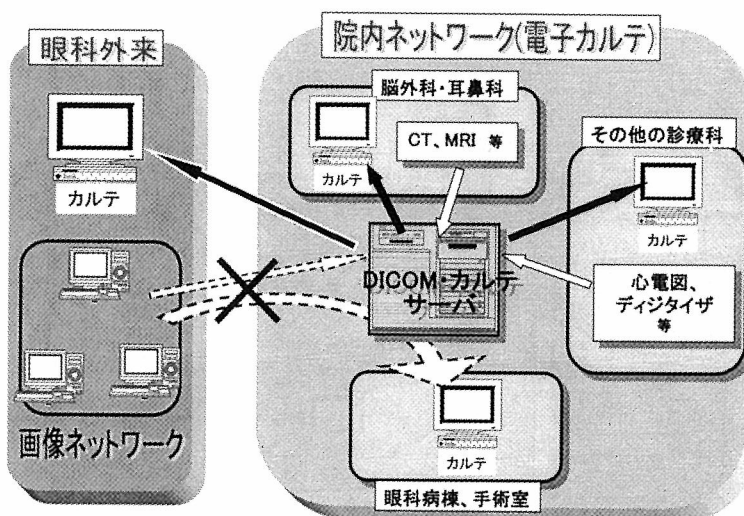


図1 DICOM 機能がない場合の眼科画像ネットワーク
ロケーションの異なる眼科部門、眼科以外の診療科からの画像参照に
対応できない。

置の設置場所ではファイリング画像がみられない不都合もあった。

III. 目的および方法

眼科ファイリング装置の画像を眼科内の他のロケーションを含め院内すべての他科へも提供可能にすることを第一の目標とし、既存の電子カルテのインフラを最大限活かすこと、現在の画像ファイリング装置の操作性を損なわないことをその条件とした。院内のほぼ全域で電子カルテ運用のための配線やハブなどの物理的な LAN 構築はすでに形成されていたこと、画像ファイリング装置 VK-2 はシンプルで軽快な操作性がメリットであり、電子カルテとの連携も同様に軽快でなければ連携そのものの利点が減じてしまうことがその理由であった。

そこで、必要なファイリング画像だけを画像ファイリング装置から選択して電子カルテサーバーに送信する方式を採用し、送信連携には、電子カルテのサーバーが標準でもっていた DICOM インターフェースを利用することとした。

ここで DICOM とは、Digital Imaging and Communication in Medicine の略で、米国放射線学会 (American College of Radiology) と北米電子機器工業会 (National Electrical Manufacturers Association) が開発した医用画像と通信の標準規格のことである。初期は画像中心であったが、徐々に拡張された構造化レポートやワークリスト指示など医療分野の作

業全般の管理に適用可能になってきている。最大の特徴は、異なるメーカー、異なる種類のデジタル画像機器をネットワークや記録メディアで相互接続可能にする点である⁵⁻⁷⁾。実質的な医療分野の標準規格として放射線科を中心に普及が進んできたが、今後も電子カルテの普及に伴い全診療科に急速な普及が予想される。

IV. 実際の適用結果

当院の場合、前述のごとく院内のほぼ全域で電子カルテ運用のための配線など物理的な LAN 構築がすでに形成されており、電子カルテと画像ファイリングが LAN 設備を共有していたため、接続作業はファイリングへのオプションソフト追加と電子カルテサーバー側の設定変更のみで終了した。当院同様、実際すでに電子カルテを院内すべての診療科で運用している施設では、カルテ側が対応する DICOM インターフェースさえもっていれば新たな物理的ネットワーク新設の必要はないものと思われる。また画像ファイリングシステム VK-2 では、DICOM 送信機能がオプションとして販売されており、インストールとネットワークの設定を行うだけで標準のファイリングソフトを DICOM 送信に対応することができた。

導入即日からは眼科画像を必要とする他科へ電子カルテ上で眼科画像を提供することが可能になった。それとともに、眼科病棟や手術室でも頻繁に画像データ参照を行うようになった。電子カルテと画像ファイリン

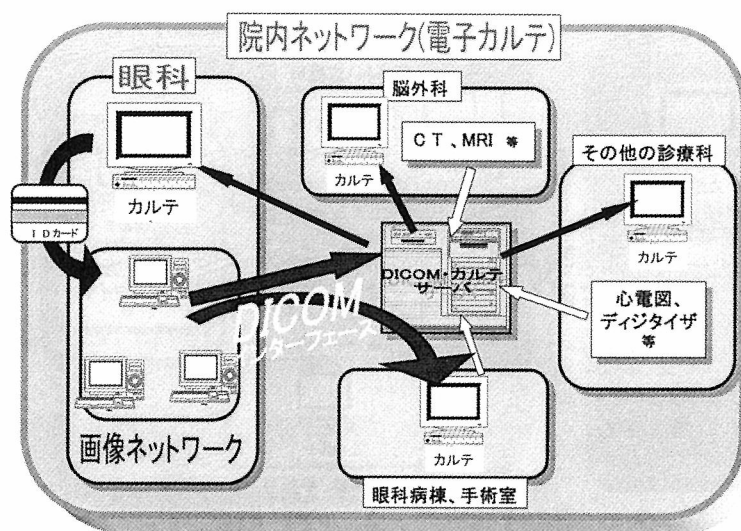


図2 DICOM機能が追加された場合の眼科画像ネットワーク
院内すべてのネットワーク上で頻繁に画像データ参照を行える。

グとともに患者識別データを共有し、実際の検査時には ID カードとカードリーダーによる連携で撮影された画像のファイリングに要される手間は軽減された(図2)。

また、カルテの画面上に眼科画像が表示可能になったことで、眼科カルテとしての利用範囲も図3のように拡大した。

1. 手術室でカルテに A モード検査の結果を表示し、即座に眼内レンズの選定ができるようになった。
2. 内科のカルテでも眼底像を表示できるようになり、内科医とのコミュニケーションも深まった。
3. 脳外科、耳鼻科などでもカルテに視野検査の結果などを表示することが可能となり、他科からの眼科検査依頼にも対応が容易になった。

更に、眼科内の電子カルテ端末を、眼科画像ビューアとしても使用可能にした。これに伴い電子カルテには転送しなかった画像についても VK-2 端末外から参照が可能になった。すなわち、収集された画像ファイリング内のすべての画像がビューアソフトを起動することで電子カルテ端末からも検索、閲覧が可能となった。その結果図4に示すように、

1. カンファレンス室における症例検討などに、カルテ内の選択された画像だけでなく、直接すべてのファイリング画像を参照して使用できるようになった。
2. 医員室あるいは研究室でも学会活動などに必要な画像データへ随時アクセスが可能になった。
3. また、各検査室でも前回検査時の画像データを随時参照できるようになり、再検査時の効率がアップした。

また DICOM を連携に使用したことによる利点としては、

- (1) 既設のネットワーク設備の改修工事が不要であり、コストや設置期間が短く経済性が高かった。
- (2) OCT, VERIS, SLO など、今までオフラインで使用していた機器を、ファイリング装置を通して DICOM 化することでネットワーク化することができた。
- (3) 今回接続を行った KAI と VK-2 の組み合わせ以外でも、対応する DICOM インターフェースをもつシステムであれば、相互に接続が可能となり、将来的な拡張性も確保できる。

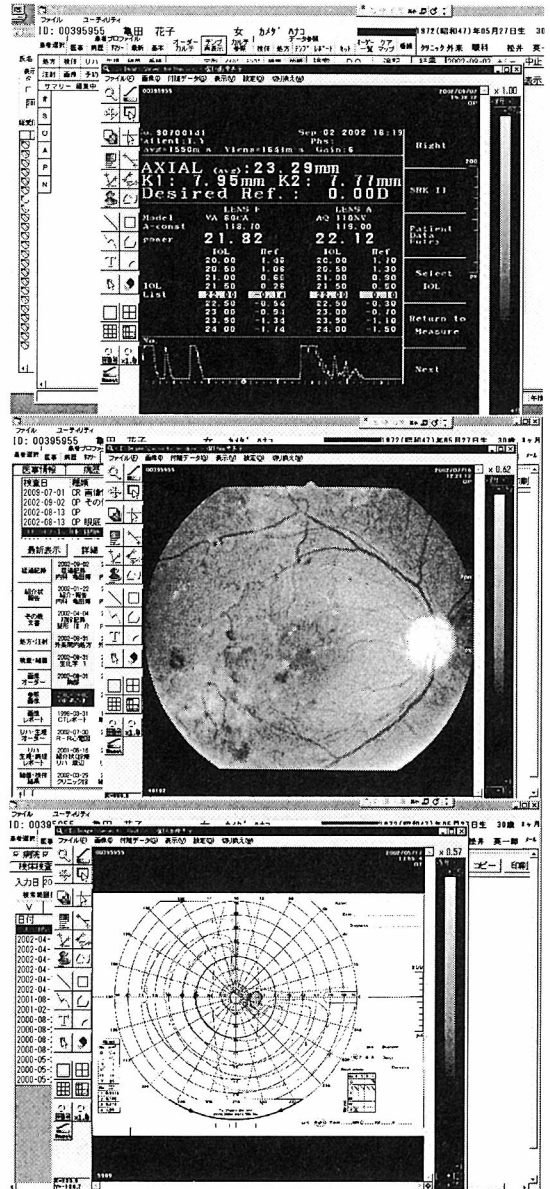


図3 電子カルテ上での連携
手術室での A モード (上)、内科での眼底写真
(中)、脳外科などでの視野所見 (下)

また、操作性を損なわない点も達成できた。検査者は通常の画像ファイリングの操作を行うだけで業務に変更はない。検査オーダー者すなわち医師が診察室で患者に結果説明を行う片手間に必要画像を選択してカルテに DICOM 送信することが可能であった。この作業は、VK-2 で通常行っている画像を選択してプリントアウトする操作とほぼ同じで、直感的に理解しやすく、習熟の必要もなかった。

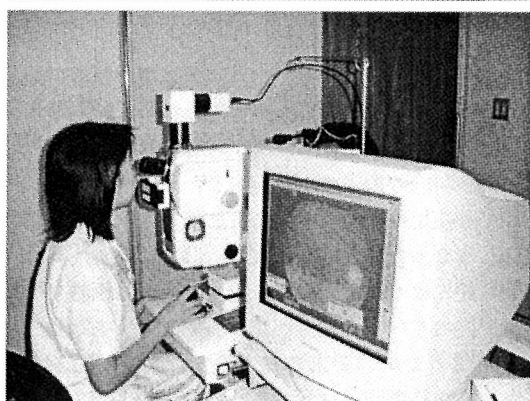
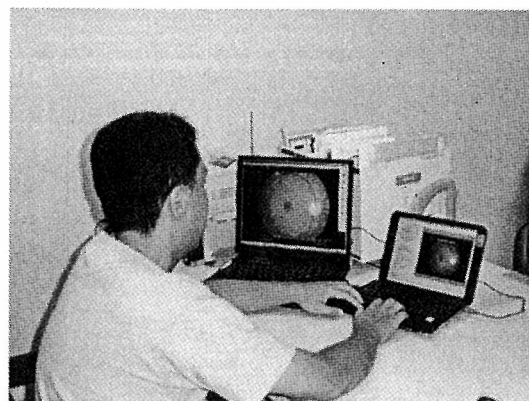
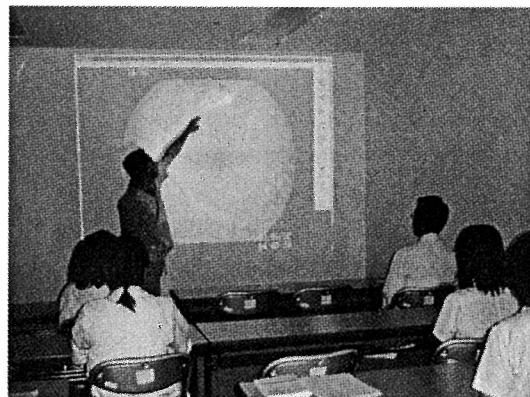
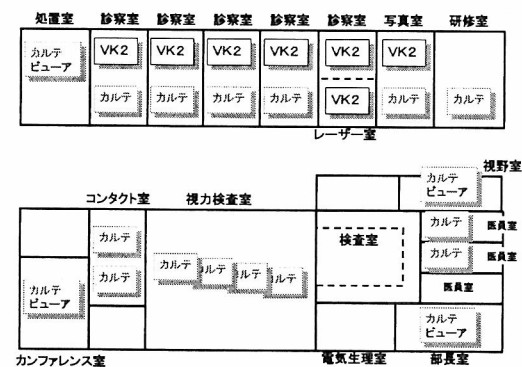


図4 システム導入後の眼科外来概念図と活用例
 既存の電子カルテ端末へのビューアの追加により画像ファイリングの操作可能範囲がファイリング端末以外へも広がった。
 カンファレンス室における症例検討(右上), 学会活動などに必要な画像データの参照, 取得(左下), 各検査室での前回検査時の画像データ参照(右下)

V. ま と め

我々は、いち早く2001年7月よりメーカー製のDICOM 対応ファイリング装置を導入した。これにより、今まで有機的に連携していなかった眼科固有の画像ファイリングと、各科共有の電子カルテシステムが本格的に連携して機能するようになり、実際の診療現場でも大いに役立っている。

今後、眼科以外の診療科でも、カルテへ対応しにくい形式の各科固有の検査データを電子カルテ上に集約するためのモデルケースになるものと思われる。

文 献

- 1) 速水昭雄：電子カルテに求められる画像システムの機能。新医療 28: 78-81, 2001.
- 2) 速水昭雄, 亀田俊忠：新電子カルテと PACS(医用画像情報システム)。新医療 26: 62-65, 1999.
- 3) 有澤武士, 綾木雅彦：電子カルテに組み込んだ白内障手術のクリティカル・パス。IOL & RS 14: 399-402, 2000.
- 4) 亀田俊忠：電子カルテにおけるクリニカルパス。耳鼻咽喉科・頭頸部外科 73: 281-287, 2001.
- 5) 安藤 裕：DICOM 規格の理解。放射線医学物理 17: 252-262, 1997.
- 6) 安藤 裕：DICOM 規格と共通規格。新医療 24: 43-47, 1997.
- 7) 伊藤 彬：DICOM 規格の概要。新医療 23: 30-34, 1996.

眼光学よもやま話

4. 視力（その2）視力の数値

筑波大学、水戸済生会総合病院 大島 祐之

4・1 視力の数値は国語の一部

「1.0, 1.2 と聞いて何を連想するか」と訊ねれば、大方の日本人は「視力」と答えよう。同様に「20/20 は」と英語でアメリカ人に、「6/6 は」とイギリス人に問えば、いずれも「視力」と答えるに違いない。ある専門分野とか限定した地域内ならばいざ知らず、国のような大集団のなかで数値そのものが、このように特定の意味をもつ例は、他にほとんど類例がないのではなからうか。視力の数値がそれぞれ、日本語、アメリカ英語、イギリス英語の一部になっているとしても過言ではなからう。

そもそも言葉や文字は各地域、各民族のなかで、それぞれ別個に培われてきたのであろうが、ある言語は包蔵する文化的内容により、またある言語は征服者によって広められた歴史がある。地球上に住む人達の交流が行われるようになって、使う言葉の共通化を図ることができれば便利で無駄を省け相互の意志疎通にどれほど役立つだろう、とは誰しも思うところだが、かつてポーランドの眼科医 Zamenhof (1887) が世界共通語としてエスペラントを創案し、一時は多くの共鳴者を集めた。ヨーロッパで催されたその世界大会に、かつて日本臨床眼科学会で特別講演「調節の機序」を講じた加藤静一（信州大学々長）が出席した談を伺った記憶がある。

しかし20世紀後半には Esperanto への関心が薄れ、今では忘れ去られてしまった感があるのは、英語が世界共通語として以前に況して汎用される傾向を強め、別個に共通語を育てる意義が薄れたとか、各国各民族がもつ伝統文化の維持育成に、それぞれの自国語を温存し普及させておくに如くはないなどの理由があるのだろうが、それぞれの地域内で長年にわたり馴れ親まれてきた言語の改変は容易でない点が第一の理由ではなからうか。

「視力の数値化」は提案され普及し始めて150年にも充たず、言語の歴史に比べるとはるかに短いけれど

も、短期間の間に急速に社会のなかに溶け込んだ。それは、実生活における眼の働きの重要性が、文明生活の発達によって以前より更にも増したことに関係があらう。視力の値は、眼の機能を端的に代表する数値として昔も今も世間一般で広く受止められていて、視力検査は、眼科における最も基本的な検査であるのみならず、健康診断、各種の適性や資格の認定、その他に広く活用され、関連法規に視力の数値が盛り込まれている例が少なくはなく、社会的に根強く定着している。

適性検査における視力は、広く馴染まれている自動車運転免許のほか、鉄道の現場関係者、船舶の運航、航空機の操縦、その他に色々あり、それら個々のなかで職種によって適性基準が軽重様々に区分されている場合もある。自動車運転免許に1種、2種の別があるように、乗客の生命を預かる度合いの強い職種ほど、より厳しい基準が設けられている。航空機の場合、自家用機に比べて旅客機操縦の適性検査は格段に厳しい。旅客機パイロットの視力に関しては、国際民間航空機構 (ICAO, International Civil Aviation Organization) の略)による規定があつて、遠・近の視力のほか中距離視力 (intermediate vision)、夜間視力 (night vision) が含まれる。後2者は一般に馴染みが薄いのが、ICAO に加盟している日本はそれに従う国際的な義務がある。しかし視力の数値や検査法は、各国それぞれに慣用の方式があり、管轄の運輸省航空局 (当時) の要請で、ICAO が示した案の主旨に則って日本の実情に合った実施法が30年近く前に作成され、現在も活用されているはずである。

資格審査の例として、身体障害や労働災害 (労災) の認定基準のなかで、視力は視覚障害判定の中核をなす。かかる場合の検査では視力を実際よりも悪く偽る人がいて、自動車運転免許で視力を良く判定して貰いたい人がいるのとは正反対である。それに対応して視力の詐称対策の方法や器具が、以前から各種開拓されている。

ともあれ「視力の数値」が世界共通に通用すればそ

の利便は一層大きいはずで、視力検査の方式とともに、その国際的統一が提案されて1909年に一応の合意をみ、その後も再確認されてきた。しかし冒頭に記したごとくその実は挙がっていない。

そして最も新しく国際的に合意された視力検査に関する国際標準化機構 (International Standardizing Organization 略して ISO) (1985)の基準では、「視力の数値」の世界的統一が諦められた様相になり、最初に記した小数視力と、20/20方式ならびに6/6方式の分数視力との三者鼎立 (あるいは5/5方式を加えた四者) が事実上容認されている。冒頭に「視力の数値は国語の一部」と記した所以である。

4・2 視角の逆数を採る視力表示の由来

19世紀後半から視力検査に関連して多種多様の考察、提案が生まれたが、それらに共通する基盤として、Hooke (1705) が正常眼によって識別されるとした二つの星の間隔、視角 $1'$ が採られた。なお視角 $1'$ が必ずしも正常視力を意味しないことは、諸家によりその後たびたび指摘されたところだが、視力の程度をあらわすのに、見分ける視角 (分) ではなくその逆数の数値を、小数または分数で示す方式が定着している。

逆数が採られた背景には、感覚の鋭敏さを表現する当時の考え方があった。すなわち、感覚で捉え得る刺激が微かなほど、その感覚が鋭いとするのは今でも変わらないのだが、「感覚が鋭敏である」⇔「感度が高い」⇔「大きな数値で表現」とする思想である。その見地から、感覚を起す刺激の閾値 (視力の場合は、視角) の逆数で感覚の鋭敏さを表現する方式が視力に限らずしばしば行われていた。しかしその後、「感覚が鋭敏」⇔「微かな刺激に感応」⇔「刺激の小ささ、弱さで表現」の傾向が一般的になっている。

光覚を例にとると、1907年に登場し長いあいだ標準的検査器の扱いだった Nagel アダプトメーターによる測定値は、閾値の輝度 (相対値…光標照明の絞りの面積) の逆数が比較的感光度と称され、時間的経過を追ってそれが右上がりになる様相が図示された (中村文平¹⁾)。輝度そのものが採られて、光覚 (暗順応) 検査の結果を右下がりですす図式が普及したのは、Goldmann-Weekers アダプトメーターが開発された20世紀後半以後である。

視力の場合、依然として閾値の逆数が採られているのは、その数値がすでに社会全般に根強く浸透して馴染まれ使われていることと無関係ではなからう。

かつて眼鏡レンズの強さの表示に焦点距離 Zoll (ドイツ語でインチの意味) が使われ、我が国に伝えられて「度」と称された。ところが、インチの長さが国により多少異なっていたので、正しい眼鏡の普及が始まった19世紀中頃その国際的統一の要望が高まった。Zollに替えてジオプトリー (Dioptrie 以下 D) の導入を提唱した Monoyer (1872) を、Donders (1875) が強く支持したのを契機に、D が眼科、眼鏡の分野で急速に普及した。眼鏡レンズや検眼レンズを重ねたとき (光学機械の設計ほどの精密さは不要) の扱いが単純な加算で済む著しい利点のある D は、我が国でも眼科、眼鏡関係の専門用語として明治時代に定着した。しかし、そんな利便さとは無縁の巷間の眼鏡使用者の間で語り継がれた「度」は、近視の強弱を示す「俗語」としても使われ、眼科診察室での患者との対話にその知識を必須とした時代が戦後の1970年ごろまで続いた。

「度」よりもはるかに生活のなかに溶け込んでいる「視力の数値」を改変すれば、それによってすべての面でのメリットが生まれるのなら別だが、視力の二本立てに伴う煩雑さの影響の及ぶ領域が、もっと広範囲にわたることが予想される。

「視角」の数値そのものによる視力表示が20世紀後半以後に提案され、それが発展した logMAR が視力の基礎研究で使われる傾向を広めている問題は、4・6に後述する。

4・3 分数視力と小数視力

Snellen (1862)^{2,3)}は、視角 $5'$ を一辺とした正方形の中に収まるゴシック体のローマ字で、文字を構成する線の幅・間隔が、原則として視角 $1'$ になる図形を考案し、それらを配列した視力表を発表するとともに、**分数視力**を提案した。その視力表の各段には5, 6, 10, 15, 20, 30, 50などのメートル距離の数値が付けられ、それぞれの段に並べられたローマ字視標を、その距離から見れば線の幅が視角 $1'$ になる寸法だった。

そして、判別できた最小の視標ステップの距離数値を D 、検査距離を d (5 m を原則) とすれば、その際の視力を d/D の分数であらわした。距離 5 m を隔てて判別できた最小の視標ステップが20ならば、視力 $5/20$ とした。

その後、検査距離をイギリスでは 6 m、アメリカでは 20 ft (6.1 m) とする視力表が普及し、 d/D をそのまま適用して $d=6$ あるいは20とした分数視力が、それぞれの国内や旧領土地域を中心に使用されている。

なお、Snellen が最初に提案した $d=5$ とする分

数視力は、20世紀前半までフランス、ドイツなどヨーロッパ大陸で多く使われた。

Hofstetter (1973)⁹⁾が提案した検査距離 4 m つまり $d=4$ とする分数視力を、1980年にアメリカ視覚委員会⁹⁾が推奨したことがあった。当時、度量衡単位をメートル法に統一せんとアメリカ国内に高まっていた気運に乗ったものらしかったが、それをもって視力表示の国際的統一を図ろうとした意図はおろか、その後アメリカ国内ですら省みられていないのは、国内社会に深く浸透して定着使用されている慣用単位の変更は、戦後我が国で法的措置を講じてメートル法の統一施行の実施を図ったような強行手段にでもよらなければ、不可能に近いことを示すのではなからうか。

フランスでは20世紀後半から、10を分母とする分数が視力の数値として使われた。視力の検査距離には 5 m を採り、小数視力の 1.0 を10/10、0.1 を 1/10とするもので、本来の分数視力とは異なり、小数視力の亜型と扱われるべきものである。

我が国で馴染まれている小數視力は、中国や北ヨーロッパの一部の国などでも普及している。それは分数 d/D を小数に変えたものに他ならない。

小数視力は Monoyer (1875)⁹⁾の提唱に発し、Landolt (1888)⁷⁾がそれにならい、1909年に国際的な合意をみた視力検査基準 (Hess⁹⁾) においてもそれが採られた。視力検査距離を 5 m、標準視標をランドルト環、とする事項とともに、我が国はいち早くそれに応じて (石原 忍⁹⁾)、それらの指針が国内に普及し根づいているのだが、欧米の国々の多くでは、当時すでに国内に浸透し慣用されていた分数視力を、そのまま使い続ける傾向が依然として残っている。

小数視力にせよ分数視力にせよ、視力データを処理して平均値で示す場合、算術平均ではなく幾何平均を採るのが合理的であることが、我が国ではつとに中川順一 (1939)¹⁰⁾により指摘された。例えば視力 0.1 と 0.9 の平均値は算術平均で $\frac{(0.1+0.9)}{2}=0.5$; 幾何平均で $(0.1 \times 0.9)^{1/2}=0.3$ となるが、後者の 0.3 を採ることによって、その実態が適切に示され得る。

それは、二つの視力を比較する場合、差ではなく、比で較べるのが合理的であることに関連する。すなわち視力 0.2 が (⇨) 0.1 に悪化した場合と、1.0⇨0.9 への悪化は、同じく 0.1 の悪化であっても等価値とはみなせず、前者は $\frac{(0.1-0.2)}{0.2}=-0.5$ ⇨50%の悪化、後者は $\frac{(0.9-1.0)}{1.0}=-0.1$ ⇨10%の悪化とする通念に合致する。

視力の増悪、改善の時間的経過を図示するグラフには、視力の対数値をプロットして示すべきこととともに、中川による平均値に関するこの指摘は次第に浸透し、現在我が国の眼科領域にはおおむね普及している。

分数視力の平均値は、分母の異なる計算は算術平均でさえも厄介なためか、分数視力を主用している海外の発表論文にその平均値の記載をみることはまずなく、慣用の視力表における視力ステップで、○段の視力改善△例、□段改善☆例、とする記載が多い。

4・4 視力ステップの等差級数、等比級数

前項の記述に関連して、視力表に配列する視標ステップは、その視力値の差ではなく比を等しくすれば、「視力の実質量」が等間隔になって望ましいとする論が、アメリカの Green (1869)¹¹⁾によって展開され、ヨーロッパでも Javal (1878)、Snellen (1897)、その他が賛意を表明した。

しかし1909年の視力検査基準⁹⁾では、視力表における視力段階を等比級数にすることによって、各ステップの開きが等価値になるとの通念を容認はしたものの、視力を測る実地の立場からは、健常視力の目安とされる 1.0 寸前の視力は小刻みに、そこから離れた視力においては粗く測るのが実際的には有用であるとの全委員の一致した見解だとして、世界中での統一使用を意図して発表された国際視力表では、その視力値 0.1~1.0 までのステップは 0.1 トビの等差級数にされた。

——視力検査の世界的統一を目指した初の視力検査基準が企画された背景には、19世紀後半、諸家により各種各様の視力の表示法、視力表の提案などがあったが、それらを使って測った視力の値がマチマチで、視力データを相互に比較し難い事情があった。眼科学会のなかから「視力検査の統一を」との問題提起がなされ、1904年の第10回国際眼科学会に際し、ヨーロッパ7箇国から1名ずつの代表7名が選ばれ、5年後の国際眼科学会までに「その結論、指針を打ち出す」べく委員会 (委員長はドイツの Hess) が結成された。なお、当時市販されていた視力表に携わった当事者を除外した委員会で、したがって今日に繋がる視力表を開拓していた Snellen と Landolt は除かれ、「視力表の使用者」からなる委員会ともいえた。

5年間の検討を経て発表された報告書 (1909)⁸⁾に盛り込まれた内容の要点は既述したが、以後の視力検査に与えた影響は限定的だった。我が国のようにその要旨を

忠実に国内に普及させた国がある一方、当時の先進国だった国々ではおおむね、合意された肝要部分が無視されもして、当初に目論まれた視力の数値ならびに視力検査の世界的統一の実は果たされなかった。そして報告書に添えて、新たに作成発表された国際視力表 (internationale Sehprobentafel) そのものは、その後実用されることなく歴史に名を留めているに過ぎない。

なお、その検査基準⁸⁾のなかで視力を測る上での標準視標として強く推奨されたランドルト環は、欧米諸国の多くで臨床検査や社会医学的検査の現場ではほとんど使われない状態が続いているものの、視力の研究分野で活用される傾向は世界的に共通である。——

Snellen (1862) 発表の当初の視力表をはじめ欧米で市販され、慣用されている分数視力を使った視力表における視力ステップは、厳密な等比級数ではないにせよ、おおむねそれに近似している。そのことが、当時の先進国英米などが、小数視力によって世界的統一を図らんとした1909年の合意に従わず、その後も分数視力を使い続けることを正当化する理由の一つにされた。

最も新しく発表された国際的基準である ISO の視力検査基準 (1985) には、等比級数ステップの視力表サンプルが掲げられているが、分数視力の場合さほどの不自然さが感じられない (アメリカの Sloan 視力表 (1959)¹²⁾ の視力ステップは ISO の等比級数の許容値に一致)。しかし小数視力では、0.1~1.0 までの10段階のなかに0.125のような3桁の有効数字で示されるステップがあって、馴染み難い感を否めない。そんな関係もあってか、我が国をはじめ小数視力が普及している国では、ISO 推奨の等比級数ステップを採る気配はとくにみられず、以前から慣用されている等差級数ステップまたはその亜型 (0.1 と 0.2 の中間に0.15を加えるなど) が使われる実状に大幅な変化が起こりそうもない。

ともあれ、国際的統一といった大義名分とか、視力データを処理する上での理に適った取り扱いといった「合理性」よりも、国とか国家群といった大集団のなかで普及している「利便さ」を優先する考え方が、視力にかかわる臨床医学や社会一般の現場においては重んじられ、それぞれの国のなかで使い慣れている視力数値や検査法を、一朝一夕に改変できない事情は、冒頭に述べた言語に似ていると思えてならない。

4・5 対数視力の長所、短所 (付、視能率)

視力を序列づけるにあたって実質的な等間隔にする

には、等差級数ではなく等比級数のステップがよいことを前項で述べた。対数にすれば等比級数が等差級数に転換されるので、**対数視力**を採れば、ISO が掲げた視力表サンプルのような端数めいた数値で示すステップを作らずに、一見してわかりやすい等差級数の対数値を並べて、「視力の実質量」を等間隔に序列化することが可能になる。

視力は同一条件下でも瞬間々々に変化し、ある範囲内での変動を示す。かような実測値 (視力の対数にして) をまとめると、統計学的に正規分布をなす実験結果 (Lythgoe 1932, 大島祐之1950, ほか) は、「視力の数値」を対数であらわすのが理論的に妥当であることを物語る。

対数視力は20世紀前半から、内外諸家により各種の提案がなされ、我が国では中川順一 (1940)¹³⁾をはじめ山森 昭 (1950)、榊 真弥ら (1954) によりそれぞれ別種の対数視力が提唱された。中川提案の対数視力は、小数視力 1.0 ⇨ 対数視力 100 ; 0.2 ⇨ 65 ; 0.1 ⇨ 50 などとするものだった。それ以前から海外では、様々な形式の対数視力が提唱されたにもかかわらず、それらが普及する気配は全く生じなかった。

視力の平均値は、小数視力や分数視力の場合、4・3に述べたごとく幾何平均で示されるべきだが、対数視力ならば算術平均でよいから、計算は簡単になる。それに伴い、視力データのバラツキ具合を示す標準偏差の算出も容易である。視力の改善悪化を示す視力経過表も、等差的に目盛られた通常のグラフ用紙に対数視力の数値をプロットすればよい。このような視力データの処理に、対数視力はその**長所**を最もよく発揮する。

一方、対数視力の最たる**短所**は普及していないため、使用しても通用しないことにある。また距離を変えて視力を測る場合、視力値の換算あるいは比較が面倒になる。

小数視力で0.1に達しない場合、5 m 距離での視力値0.1の視標が、3 m で判別できたら、 $0.1 \times \frac{3}{5} = 0.06$ として視力を求める手法は眼科臨床で日常的に行われる。対数視力を使うと、そう簡単にはいかない。検査距離 (または視認距離) と視力との関係が、小数視力の場合は直線的なのに、対数視力では非直線的で等比的になるからとの説明ができるが、それが対数視力が普及しない理由の一つと喝破した中川¹³⁾は、提唱した対数視力値を用いる場合の簡易換算法 (表) を発表した。それを使ったとしても、暗算でできる小数視力の手軽さには到底及ばない。

分数視力を使う場合、短縮した検査距離を分子に記し、例えば、20/200の視標が10フィートで読めたら10/200とするのが、前記 d/D であらわされる分数視力本来の原則だが、実際には分子20をそのままにして20/400と記すのが多いにしても、小数視力と同様に、対数視力よりもはるかに簡単な処理で済ませ得る。

かかる長所、短所が勘案され、更には対数視力を使ったからとて診断に直接役立つ新しい情報が格別得られるわけではないところから、広く馴染まれ親しまれている小数視力なり分数視力なりを廃し、あえて対数視力を採用するまでもないとする考え方が、20世紀前半に内外諸家によって提案された各種の対数視力が普及しなかった理由と推察される。

第2次大戦中アメリカ連邦軍務局 (United States Adjutant General's Department) が導入した **AGO 単位** は対数視力の一種だが、選兵にあたって先入観を除くのに有効だったとしているのは、対数視力が馴染まれていないことを逆用して利用価値を見出した点に興味深い。

Visual efficiency は、視力 (遠・近)、視野、眼球運動において、残存する視機能を%であらわして数値化し、障害程度の判定に役立たせるもので、1950年代からアメリカで活用されている (AMA, 1955¹⁴⁾)。

大山信郎ら (1955)¹⁵⁾ は、**視能率**と名付けてそれを我が国に紹介したが、「視力の視能率」には、遠・近それぞれの分数視力に対応する%値を読み取る早見表がアメリカで作られている。その%値は一元的な対数視力ではないが対数視力に類するもので、30年以上前になるが、厚生省 (当時) で身体障害認定の見直しを行う意図のもと、我が国慣用の小数視力値から視能率%を読み取る早見表が、アメリカ方式の主旨にならって作られた。眼科関係の文献には公表されなかったその「幻の日本版視能率」のうち「視野の視能率」は、一部に小修正が加えられて数年前我が国での身体障害者等級認定に導入された。

4・6 視角, logMAR

視力を「視角 (分) の逆数」であらわすことが19世紀以来慣例化していたのに対し、**視角**そのもので視力を表示する方式が Sloan (1951)¹⁶⁾ によって示唆され、アメリカの光学・視覚生理委員会 (1953)¹⁷⁾ によって推奨された。

視力の表示を小数視力に一本化せんとした1909年の国際的合意⁸⁾ が一向に実効を挙げないので、小数視力にせよ分数視力にせよ視角の逆数なのだから、いっそ

視角 (分) で視力を表示し、それによって国際的統一を図ればとの意図のもとに発するものだった。そして「視角であらわす視力」の長所・短所とともに、過去に提案された数々の対数視力が一向に普及せずにいる二の舞になる危惧が述べられた。

その後、視力の基礎研究で使われだした「視角視力」は MAR (Minimum Angle Resolution) と呼称され、更に20数年来、その常用対数 **logMAR** がアメリカの基礎的眼科の研究で主用されるようになり、その分野における視力表示の単位として定着する傾向がみられる。logMAR は対数視力の一種といえようが、それ以前の前項記述の対数視力が「視角の逆数の対数」に基づく数値だったのに対し、logMAR は「視角そのものの対数」である点が異なる。

ちなみに、視力1.0はMARで1', logMARで0、視力0.1はそれぞれ10', +1とされる。

しかし眼科臨床にまで logMAR が普及していないことは、学会での外人招待講演で臨床的課題の場合に述べられる視力データは、依然として従来から慣用の視力値で示されていることから察せられる。

ところが最近我が国では、logMAR の臨床的使用の推奨と受け取れる記述を散見する。対数視力の一種といえる logMAR の使用には、前項既述の長所、短所がつきまとう。

眼科臨床とか社会医学的に視力検査を利用する現場では、データ処理に好都合な logMAR の長所を生かす機会が、視力研究の場合に比べると少ない。一方、「利便性」における欠点は、上記のごとく眼科臨床で日常的に行われる0.1以下の視力を測る場合にあらわれてくる。logMAR が馴染み薄く普及していないことが、さほど問題にならない視力研究とは違い、患者への説明にその数値を慣用の視力単位に読み替えねばならぬ不便を生じ、また logMAR を使ったからといって臨床に直接役立つ情報がとくに得られるわけではない。

対数視力ないし logMAR の短所が、格別の弱点にならない視力研究の分野で、長年の念願だった「視力の数値」の世界的統一が果たされる機運にあることは意義あるにせよ、それが眼科臨床へ、更には社会一般に波及するには、乗り越え難い高い障壁が控えていることが痛感される。

かつて、我が国の眼科領域で活発な視力研究が学会・学会誌を賑わしたが、そんな時代が去って久しい。現在に十分通用する当時の知見は多々あるのだが、忘れ去られているものが少なくない (大島祐之¹⁸⁾)。その

一部を掘り返して現在に照らし、あわせて「視力の数値」の世界的統一を目指した先人達による試行錯誤の歴史を振り返ってみた。

主 要 文 献

- 1) 中村文平：光神及び夜盲。河本重次郎・石原 忍監修，大日本眼科全書 6/1: 129-211, 金原出版，東京，1933.
- 2) Snellen H: Echelle typographique, pour mesurer l'acuité de la vision. Utrecht, 1862. (cit. from Landolt E: Die Bestimmung der Sehschärfe, Gr-Säm Handbuch der Augenheilkunde 3 Aufl., 3 Band, 425-507, Engelmann, Leipzig, 1920.)
- 3) Snellen H: Scala tipografica per misurare il visus. Utrecht, 1862. (cit. Landolt, 1920.)
- 4) Hofstetter HW: From 20/20 to 6/6 Or 4/4 ?. Am J Optom 50: 212-222, 1973.
- 5) NAS-NRS Committee on vision...Working groupe 39: Recommended standard procedures for the clinical measurement and specification of visual acuity. Adv Ophthal 41: 103-148, Karger, Basel, 1980.
- 6) Monoyer F: Echelle typographique décimale pour mesurer l'acuité de la vue. Acad des Sc Compt rend 80: 1137-1138, 1875.
- 7) Landolt E: Optotypes simples. Soc franç d'ophthal 213 et 465, 1888. (cit. Landolt, 1920.)
- 8) Hess C: Ueber einheitliche Bestimmung und Bezeichnung der Sehschärfe. Arch f Augenhkd 63: 239-255, 1909.
- 9) 石原 忍：万国共通試視力表に就きて。日眼会誌 14: 420-440, 1910.
- 10) 中川順一：平均視力に就て。中眼 31: 610, 1939.
- 11) Green J: On a new series of test-letters for determining the acuteness of vision. Trans Am Ophthalmol Soc IV & V: 68, 1869.
- 12) Sloan LL: New test charts for the measurement of visual acuity at far and near distances. Am J Ophthalmol 48: 807-813, 1959.
- 13) 中川順一：視力の意義の新対数式視力系統。日眼会誌 44: 1541-1551, 1940.
- 14) American Medical Association: Estimation of loss of visual efficiency. Arch Ophthalmol 54: 462-468, 1955.
- 15) 大山信郎，新谷重夫：Educational visual efficiency に就て。臨眼 9: 904-906, 1955.
- 16) Sloan LL: Measurement of visual acuity. Arch Ophthalmol 45: 704-705, 1951.
- 17) Ogle KN: On the problem of an international nomenclature for designating visual acuity. Am J Ophthalmol 36: 909-921, 1953.
- 18) 大島祐之：視機能検査。日本眼科学会編，日本眼科全書 5, 1-448, 金原出版，東京，1961.