眼屈折要素の研究(2)

正視眼の眼屈折要素の検討

有若由加理・島本史郎

(福井医科大学眼科学講座)

Studies on Refractive Elements of the Eye (2)

Refractive Elements of Emmetropia

Yukari ARIWAKA and Shiroh SHIMAMOTO MD

Department of Ophthalmology, Fukui Medical School

Refractive elements were measured in 101 emmetropic eyes of 53 adults of twenty years of age with ultrasonography for biometry and photokeratometric keratometry. High correlations were demonstrated between axial length and corneal curvature ($r=0.71$), anterior chamber depth ($r=0.63$), vitreous length ($r=0.98$), while low correlation to lens thickness ($r=-0.47$).

All emmetropic eyes were divided into next three groups as average AL group, long AL group and short AL group. Long AL group was characterized by the combination of long axial length, flat cornea, deep anterior chamber and thin lens with statistically significant difference to average AL group. Emmetropization was also observed in short AL group with steep cornea, shallow anterior chamber, thick lens and short axial length.

I. 緒 言

屈折異常の分類には従来主として屈折度が用いられてきた。屈折異常の程度という一面からみれば、これは当然であるし、眼鏡やコンタクトレンズなどの屈折矯正の立場からも妥当であろう。しかし、屈折異常をその病態や視機能の面から考えるときに、画一的に屈折度のみで分類することには問題があると思われる。なぜなら、日常臨床においては、同じ屈折度なのに一方では正常眼底を示し、他方では豹紋状眼底ばかりか後部ぶどう腫さえ呈する^{1)~4)}という例に遭遇することが少なくないからである。この様に同一屈折度でありながら眼底変化に幅がある

のは眼軸長が異なることに起因すると考えられる。

眼屈折要素は主として、角膜屈折力、水晶体屈折力そして眼軸長とから成り立つが、一般には便宜上、角膜曲率半径、前房深度、水晶体厚そして眼軸長の4要素を眼屈折要素と称する。これら諸要素とその組み合わせの範囲を知るとは、眼屈折要素を統計的に検索するという意味のみならず、眼球の成長過程や老化を知る上でも極めて重要である。

更に、眼内レンズ度数のより正確な計算式を創り出す上にも大いに貢献するものと考えられる。本報では、成人の正視眼における各眼屈折要素について多角的に検討した。

II. 対象および方法

対象は本学学生および国立大阪病院附属視能訓練学院の生徒で、20歳代(20-29歳、平均23.6±2.6歳)の正視53名101眼である。内訳は、男

連絡先 (〒910-11) 福井県吉田郡松岡町下合月23-3
福井医科大学 眼科学講座
有若由加理

Key words: refractive elements, axial length and corneal curvature, emmetropization.

23名42眼, 女30名59眼, 年齢は男20-27歳(平均 23.2 ± 1.8 歳), 女20-29歳(平均 24.0 ± 3.0 歳)であった。これらのうち両眼を対象としたもの48名, 片眼のみのもの5名である。屈折度は等値球面度数に換算して+0.5Dから-0.5Dまでを正視とし, 左右の屈折度差4D以上の不同視例は除外した。測定方法は, 屈折度については, 検影法およびオートレフラクトメーターによる他覚的屈折度を基にした自覚的屈折度から求めた。成人の自然な屈折状態での屈折要素を求めるために, 調節麻痺剤は使用していない。角膜曲率半径は, サンコンタクトレンズ社製フォトケラトスコープPKS-1000による写真を同社製システムフォルムで解析した。オフサルモメーターによらず写真解析の方法を取ったのは, 続報において角膜周辺形状を解析する予定であり, 基準を同一にしておくためである。前房深度, 水晶体厚ならびに眼軸長の測定にはBosch-Lomb社製Sonomed A-1000を使用し, 3回測定の平均値を用いた。

結果の表示は各眼屈折要素につき, 最大最小値でもってその範囲を示し, 平均値をあげた。解析は, 先ず眼軸長に対する他の屈折要素の相関を検討し, 特に眼軸長と角膜曲率半径の関係については詳細に検討した。眼軸長に対する他の要素との相関を求めるにあたり眼軸長を選んだ理由は考按で述べる。

III. 結 果

1. 各屈折要素の拡がりと平均値

20歳代成人の正視100眼の各屈折要素の最大, 最小とその差および平均値は表1のとおりである。眼軸長は最大25.2mm, 最小21.0mmでそ

表1 正視眼の屈折要素(mm)

本邦における20歳代101眼の屈折要素を示す。

	最 大	最 小	差	平均 $\pm$ SD
眼 軸 長	25.2	21.0	4.2	23.1 ± 0.8
角膜曲率半径 (角膜屈折力)	8.23 (40.3)	7.11 (46.7)	1.12 (6.4)	7.67 ± 0.22 (43.3 $\pm$ 1.3)
前房深度	4.0	2.2	1.8	3.3 ± 0.4
水晶体厚	4.4	3.1	1.3	3.5 ± 0.3
硝子体	18.2	14.7	3.5	16.1 ± 0.2

の差は4.2mm, 平均は 23.1 ± 0.8 mmであった。ちなみに, 男では平均 23.4 ± 0.8 mm, 女では 22.9 ± 0.7 mmで両者間に有意な差($P < 0.05$)をみとめた。角膜曲率半径は, 写真解析による垂直水平方向の値の平均を用いたが両者の差の最大は0.32mmで乱視度に換算して1.85Dであった。等値球面としての角膜曲率半径は最大8.23mm, 最小7.11mm, 差は1.12mmで平均 7.67 ± 0.22 mmであった。屈折度換算では, 最大46.7D, 最小40.3D, で, 差は6.4D, 平均は 43.3 ± 1.3 Dであった。前房深度は最大4.0mm, 最小2.2mm, 差は1.8mmで平均は 3.3 ± 0.4 mm, 水晶体厚は最大4.4mm, 最小3.1mm, 差は1.3mmで平均 3.5 ± 0.3 mmであった。硝子体長は最大18.2mm, 最小14.7mmで, 差は3.5mm, 平均は 16.1 ± 0.2 mmであった。

2. 各屈折要素の頻度分布

図1 各屈折要素の頻度分布

眼軸長, 角膜曲率半径, 前房深度は平均値にピークをもつ正規分布型のパターンをとる。水晶体厚は2峰性, 硝子体長は15mmあたりにピークをもつ左肩あがりのパターンを示した。

各屈折要素の%頻度分布を図1に示す。眼軸長、角膜曲率半径、および前房深度の3者は各々の平均値あたりにピークを有する正規分布に近い分布パターンをとるが、水晶体厚は3.25mm代と3.75mm代に2つのピークを持つ2峰性のパターンを示した。硝子体長は15mmで急峻な立ち上がりを示し、硝子体長の増加につれてなだらかに漸減した。

3. 眼軸長と他の屈折要素の関係

眼軸長に対する他の屈折要素との相関をみたのが図2である。横軸に眼軸長、縦軸に他の屈折要素の値をとり、眼軸長0.1mmごとにプロットした。同一眼軸長に2眼以上あるときは、平均値の上下にSDを付記した。従ってSDの示されていないものは1眼のみの値である。図のごとく、眼軸長に対して角膜曲率半径、前房深度、硝子体長はいずれも正の相関を、水晶体厚は弱い負の相関を示した。

4. 眼軸長と角膜曲率半径

眼軸長と角膜曲率半径の関係を取り出したのが図3である。縦軸右には角膜屈折力を示す。眼軸長と角膜曲率半径の関係を直線に回帰すると、 $y=1.22x-20.5$ の回帰式が得られる。これを正視直線と称した。さらに、眼軸長の平均±SDの範囲に含まれる群(22.3-23.9mm)を平

図2 眼軸長と他の屈折要素の関係

均的眼軸群、それより眼軸の長いもの(23.9-25.2mm)を長眼軸群、短いもの(21.0-22.3mm)を短眼軸群の3群に分けた。平均的眼軸群のうち、角膜曲率半径の平均±SDの範囲に含まれるもの(図中の長方形内)を平均的正視群と称した。この平均的正視群のそれよりも角膜曲率半径の大きい群、逆に小さい群の3群の間では、他の屈折要素すなわち、前房深度、水晶体厚及び硝子体長の間に有意な差を認めなかった。

図3 眼軸長と角膜曲率半径の関係

図中の直線を正視直線と呼ぶ。この直線から左上へずれると遠視、右下へずれると近視が強くなる。平均的正視群は、眼軸長と角膜曲率半径の代表的な組み合わせである。

そこで次に、平均的眼軸群、長眼軸群そして短眼軸群の3群において他の屈折要素を検討した。

5. 眼軸群別の屈折要素

今回対象とした正視101眼のうち、平均的眼軸を示したものは72眼71.3%であり、長眼軸群は14眼13.9%、短眼軸群は15眼14.8%であった。これら3群における屈折要素の平均を表2に示した。3群の各屈折要素は互いに有意な差をみると、長眼軸群では、平均的眼軸群にくらべて眼軸が長いのは勿論のことながら、角膜はflatで前房は深く、水晶体は薄くて硝子体は長いという結果となり短眼軸群では、角膜はsteepで眼軸は短く、前房は浅く、水晶体は厚くて硝子

体は短いという特徴を示した。この結果をまとめて図示したのが図4である。

表2 眼軸群別の屈折要素

略号は各々、AL:眼軸長、CC:角膜曲率半径、AD:前房深度、LT:水晶体厚、VL:硝子体長、平均的眼軸群の各屈折要素に対し、無印は $p < 0.001$ 、*印は $p < 0.01$ 、**印は $p < 0.05$ で、何れも有意差を認めた。

	n	%	AL	CC	AD	LT	VL
平均的眼軸群	72	71.3	23.1	764.3	3.3	3.7	16.1
長眼軸群	14	13.9	24.5	793.5	3.6*	3.5*	17.4
短眼軸群	15	14.8	21.9	753.5*	2.9*	3.8**	15.1

図4 眼軸群別の屈折要素の比較 図中の略号は表2を参照。

IV. 考 按

著者らは以前、成熟雄猫の角膜曲率半径を測り、8.04 mmとややflatながらヒト角膜とほぼ同等であるというデータを得た。そのネコの屈折度はミドリ散瞳下では+1.5Dであった。ネコの眼球はたかだか直径10数mmと思われる。しかし前房は決して浅くない。短眼軸に深前房そしてヒト並の角膜曲率半径を持ちながらほぼ

正視を示すためには、強い屈折力をもつ球状水晶体が存在するであろうことは想像に難くない。Gordonら⁵⁾は、未熟児及び新生児の生体計測をおこない、角膜は成人よりややsteepであるが、それにもまして、相対的に水晶体が厚く球状を呈していることが、正視化の大きな要因としている。年齢と共に眼屈折は変化するが、特に眼球の成長過程において眼屈折要素の組み合わせは劇的に変化する⁶⁾⁻¹²⁾。このような小児の眼屈

折要素や、加齢による水晶体硬化—核性近視の問題を論じるとき、正常成人での平均的眼屈折要素を知ることは極めて重要である。さらに、眼内レンズ度数のより正確な計算式を求めるための基礎資料としても、様々の屈折度について、その屈折要素の組み合わせの広がり把握しておく必要が不可欠であると考え。このような目的で、本報において、眼屈折要素を計測し、解析を加えた。

正視眼の眼屈折要素については、過去に多くの報告がある^{13)–15)}。眼軸長計測にX線光覚法^{16), 17)}を用いていた時代は、超音波計測法¹⁸⁾の出現以後に比較して、その測定精度に問題があり、ここでは取り上げないが、超音波計測法による報告にしても、小児から高齢者まで幅広い年齢を一括して対象としているものが多く、著者らの結果と直接的比較が困難である。その上、それらの報告は、学童近視の発生要因の解明や強度近視の眼屈折要素の解析を主目的としている。従って、年齢と屈折度を限定してその屈折要素の広がりを探ろうとする本報の試みは新しい主題として意義があるものと考え。さらにより根本的な問題は、従来の報告があくまで屈折度を基準として、その屈折度とそれを構成する屈折要素との相関を論じていることである。そもそも屈折度自体が各要素の組み合わせの結果とし成り立つものである以上、各々の屈折要素との相関を論じて明快な結論を導き出せなかったのはいわば自明である。そこで本報では対象を厳しく限定した上で、各屈折要素同士の相関を検討した。

超音波計測については、hard probeの測定装置を用いたため、soft probeの値に比べて若干、眼軸長、前房深度については短く出る可能性¹⁹⁾は否定できないが、熟練した験者が、角膜への圧迫を極力排除しながら測定を行っており、信頼できる数値であると考え。その結果は表1のとおりで、眼軸長の最大は25.2mm、最小は21.0mmと、4.2mmの差がある。単純に考えても、7–8D程度の開きがあることにあり、一言で正視と片づけるわけには行かないことが判る。同時に、他の屈折要素がこの眼軸を補正して初めて正視となっていることも明らかであ

る。超音波眼軸長の計測については、荒木¹⁵⁾は20–39歳、 ± 0.5 Dの正視50眼の平均値は 24.0 ± 0.9 mm、河越²⁰⁾は20–29歳、 ± 3.0 D、44眼で 23.9 ± 1.1 mm、神谷²¹⁾は6–88歳、0– 0.75 D、109眼で 23.1 ± 1.1 mmと報告しており、今回の著者らの 23.1 ± 0.8 mmは神谷の結果に最も近い。対象のとり方が同一基準でないため直接的比較はできないが、各報告に差があるのは、測定機器の差によるところが大きいものと考えられる。角膜曲率の計測には、著者らはフォトケラトスコープによる写真解析によったが、その測定精度はすでに証明されている²²⁾。角膜曲率半径の最大は8.23mm、最小は7.11mmで屈折力に換算($n=1.332$)して6.4Dの開きがある。先の眼軸長の広がりと考え合わせれば、正視であるための条件として、長眼軸にflatな角膜、短眼軸にsteepな角膜の組み合わせが不可欠であることが容易に想像できる。著者らの結果では、 7.67 ± 0.22 mmであったが、同様な方法では、長谷川ら²³⁾の平均年齢18.0歳の正視22眼に於て7.82mmという報告がある。さらに、前房深度の最大最小の差が1.8mm、水晶体厚が1.3mm、また硝子体長が3.5mmであった。硝子体長の広がりが4.2mmより小さいことは、正視であるための条件として、前房深度および水晶体厚の2つの要素が何らかの役割を担っていることを示唆している。

こうしてみると、眼屈折要素のうち最も大きな変動幅を持っているのは眼軸長であることが判る。従ってこの眼軸長に対して他の屈折要素がどのように対応するかということは非常に興味のあるところである(図2)。角膜曲率半径は眼軸の増加につれ、増大する。すなわち角膜はflat化し、角膜屈折力は逆に減少する。この関係は相関係数0.71と有意な相関を示し、直線に回帰される。眼軸長の21mm代および24mm以上では例数が少なくバラつきがある。また21mm代の短眼軸では、調節麻痺剤を使用していないことによる潜伏遠視の混入の可能性があり、結果的に相関を悪くしていると考えられる。前房深度も眼軸に対して正の相関を示し、眼軸が長くなると前房は深くなっていく。水晶体厚は眼軸に対して低い負の相関を示すが、変動幅も

小さく、明瞭な相関があるとは言い難い。硝子体長は眼軸に対して最も高い正の相関を示し、眼軸が長くなれば硝子体も長くなっている。眼軸長と角膜曲率半径の関係を別に抜き出したのが図3であるが、図中の正視直線は、正視であるための代表的な組み合わせを意味する。この直線から左上へずれる程、屈折度が遠視に傾き、右下へずれる程近視に傾く。この直線は他の屈折度においても同様に引くことができ、従って、ある屈折度においてその角膜曲率がわかれば、およそその眼軸長を知ることができる。

このように、正視眼においては眼軸長と角膜曲率半径とが高い相関で相補的關係にあることが判った。このことは所¹⁴⁾も指摘しているが、他の屈折要素、すなわち前房深度と水晶体厚には同様の関係はないだろうか。傾向としては図2のとおりであるが、これらの関係を詳細に検証した報告はない。今回、著者らは眼軸長を3群に分けた上で、各群間における前房深度と水晶体厚の値に有意差を証明し、正視化への関与を明らかにした。

これらのバランスが崩れて正視から逸脱したものが屈折異常である。しかし、集団検診での屈折度分布において、正視にピークを持つ正規分布を示すことからわかるように、眼屈折要素の組み合わせり方には、正視化へ向けての何らかの方向性があるように思われる。そのメカニズムが何であるかは、学童の近視発生要因の解明ともあいまって、今後の研究に待たねばならない。

V 要 約

1. 正常な若年成人の正視101眼について、眼屈折要素を計測しその拡がりと組み合わせを検討した。
2. 眼軸長に対する他の屈折要素の関係において角膜曲率半径、前房深度、硝子体長は正の相関を、水晶体厚は弱い負の相関を示した。
3. 眼軸長別に平均的眼軸群、長眼軸群、短眼軸群の3群に分けて、他の屈折要素を検討したところ、すべての要素において群間に有意差を認めた。
4. 長眼軸群では角膜はflatで前房は深く水晶

体は薄かったのに対し、短眼軸群では角膜はsteepで前房は浅く、水晶体は厚くて、いずれも正視化に向けて相補的關係にあることが判った。

(稿を終えるにあたり、御校閲いただいた深見嘉一郎教授に感謝いたします)

参考文献

- 1) Curtin, B.J.: The posterior staphyloma of pathologic myopia, Trans. Am. Ophthalmol. Soc., 75: 67-86, 1977.
- 2) Curtin, B.J. and Karlin, D.B.: Axial length measurement and fundus changes of the myopic eye, Am. J. ophthalmol., 71: 42-53, 1971.
- 3) 所 敬他: 強度近視の視機能障害とその病態に関する研究, 日眼81; 330-339, 1977.
- 4) 福下公子, 村松知幸, 所 敬: 強度近視における後部ぶどう腫の頻度, 厚生省特定疾患網脈絡膜萎縮症調査研究班, 昭和55年度報告書; 29-32, 1981.
- 5) Gordon, R.A. and Donzis, P.B.: Refractive development of the human eye, Arch. Ophthalmol., 103: 785-789, 1985.
- 6) Sorsby et al: Refraction and its components during the growth of the eye from the age three, Medical Council Specil Report Series No. 301, Her Majesty's Stationary Office, London, 1961.
- 7) Larsen, J.S.: The sagittal growth of the eye; IV Ultrasonic measurement of the axial length of the eye from birth to puberty, Acta Ophthalmol., 49: 873-886, 1971.
- 8) 山本由起雄他: 未熟児眼の超音波的観察, 第5報, 哺乳期における眼軸長変化, 眼紀, 29; 1748-1759, 1978.
- 9) 平野史郎他: 未熟児眼の超音波的観察, 第6報, 眼軸長の構成因子の成長勾配, 日眼83; 1679-1693, 1979.
- 10) 立神英宣, 文 順永, 山本 節: 小児の眼軸長について, 眼紀31; 574-578, 1980.
- 11) 神野順子: 小児眼の眼軸長計測に関する研究, 第I報, 眼軸長構成因子の成長勾配, 日眼85; 993-1005, 1981.
- 12) Inagaki, Y.: The rapid change of corneal curvature in the neonatal and infancy, Arch. Ophthalmol., 104: 1026-1027, 1986.
- 13) 天野清範: 生体眼軸長の他覚的測定成績, 日眼62; 1828-1840, 1958.
- 14) 所 敬: 写真による水晶体屈折力測定に関する研究(第4報)眼屈折要素間の分析検討, 日眼66; 110-127, 1962.

- 15) 荒木 実：超音波による眼屈折の研究(第3報)屈折要素の相関について，日眼66；128-147, 1962.
- 16) 大塚 任，金藤峰子：近視の眼軸の長さ和水晶体屈折力，日眼55；100-111, 1951.
- 17) 大野住男：X線光覚により計測せる若年者の生体眼軸長と眼屈折力の相関の分析的研究，日眼60；460-481, 1956.
- 18) Nakajima, A., Kimura, T. and Yamazaki, M. ; Applications of ultrasound in biometry of the eye, Ultrasonics in Ophthalmology (ed. : Goldberg, R.E.), 124-139, Saunders, Philadelphia, 1967.
- 19) 中条真也他：理想的な眼軸長計測法の追究，眼臨81；756-760, 1987.
- 20) 河越睦郎：眼科超音波計測に関する研究(第1報) 正常人眼の眼軸長計測成績，日眼77；743-752, 1973.
- 21) 神谷貞義他：新しい視点からみた学校近視の解析(その5)超音波による眼球構成要素，とくに，眼軸長と水晶体の成長について，眼紀36；2052-2060, 1985.
- 22) 丸山節郎他：フォトケラトグラムによる角膜形状計算システム，日コ・レ誌22；36-42, 1980.
- 23) 長谷川滋他：フォトケラトグラムよりの角膜形状—1，角膜形状，主に中心部と周辺部の比較検討，日コ・レ誌23；208-214, 1981.