

## 微小ファイバーを用いた眼内透過光分光特性の検討

水野 敏博

金沢医科大学眼科学教室

## 要 約

眼内への光透過性については既に幾つかの検討があるが、非摘出水晶体ないしは生体眼で直接これを検討したものは少ない。微小ファイバーを用いて、眼内に入射した可視光、紫外光の透過の状態をみることを試みた。試作の0.6mm径の微小ファイバーを毛様体扁平部より眼内に刺入、水晶体後面～網膜の間で透過光の分光特性、強度を測定した。検討には、家兎眼、猿眼、囊外摘出術後家兎眼を用いた。家兎、猿眼の透明水晶体での透過光は、400nmから360nmにかけて徐々に減衰したが、囊外摘出術後眼では、明らかな減衰は見られなかった。この所見は生体眼と摘出眼でも類似のものであった。眼内に透過する光の特性を眼球内で検出しようとする本実験操作は、無水晶体眼や眼内レンズ挿入眼の生体眼と異なる眼内透過光特性を知るうえで、有用な手段になり得るものと考えた。(日眼会誌 95:967-972, 1991)

キーワード：微小ファイバー、眼内透過光、紫外線、水晶体

Intraocular Light Transmission Characteristics  
Using a Microfiber System

Toshihiro Mizuno

Department of Ophthalmology, Kanazawa Medical University

## Abstract

There have been some reports about light transmission into the vitreous, but few that have been measured directly *in vivo*. The author attempted to measure visible light and ultraviolet light using a microfiber system in the vitreous. Microfibers 0.6 mm in diameter were made. The microfiber system can be inserted into the vitreous at the pars plana and can measure the characteristics and intensity of the transmitted light. We used rabbit, monkey and aphakic rabbit eyes in this study. The light transmission into the vitreous of normal rabbits and monkey eyes gradually decreased from 400 nm to 360 nm, but the light transmission of the aphakic rabbit eyes did not distinctly decreased. This tendency was found *in vivo* and *in vitro*. It was considered that this system is useful to determine the light transmission characteristics of various eye conditions. (*Acta Soc Ophthalmol Jpn* 95: 967-972, 1991)

Key words: Microfiber system, Intraocular transmitted light, Ultraviolet light, Crystalline lens

## I 緒 言

波長300nm以下の紫外線は角膜でほぼ吸収される

が、角膜を透過したそれ以上の長波長紫外線は水晶体で吸収される。この水晶体の眼内入射光吸収に関しては、Boettner<sup>1)</sup>、Lermanら<sup>2)~4)</sup>の検討があるが、それ

別刷請求先：920-02 石川県河北郡内灘町大学1-1 金沢医科大学眼科学教室 水野 敏博

(平成2年11月16日受付, 平成3年1月30日改訂受理)

Reprint requests to: Toshihiro Mizuno, M.D. Department of Ophthalmology, Kanazawa Medical University, 1-1 Daigaku, Uchinada-machi, Kahoku-gun, Ishikawa 920-02, Japan

(Received November 16, 1990 and accepted in revised form January 30, 1991)

らの結果は現在、眼内レンズの開発に大きく貢献している。しかしながら、眼内に入射する光の特性を検討する従来の手段は摘出眼レベルのものであり、正確には生体眼での光の透過状態は予測されたものとどまっていた。著者は先に眼内に挿入可能な光検出装置を微小ファイバーを用いて試作したが<sup>5)</sup>、この装置を用いて水晶体を透過する光の分光特性を生体眼でどの程度のレベルまでできるかを検討してみた。

## II 実験方法, および対象

### 1. 実験装置

眼内透過光の分光特性の測定は、別法<sup>5)</sup>の微小ファイバーによる検出装置を用いて行われた。装置は微小ファイバー、分光器、増幅器、パーソナルコンピュータ、CRTディスプレイ、プリンターから構成されている。使用した微小ファイバーは、外径0.6mm、全長1,150mmで、検知部が上方に0.6×1.0mmの受光部を持ち、130°の曲げ角があるものを用いた(図1, 2)。なお、分光器は、300~700nmまでの波長の測定が可能で、300~400nmまでは、20nm毎の単フィルターを、410~700nmまでは、連続フィルターを使用し、10nm毎の測定が可能である。全波長の測定に要する時間は、80秒である。

光源はキセノン光とし、平行光線束を使用した。検討は十分な強度が得られる360~600nmの光について

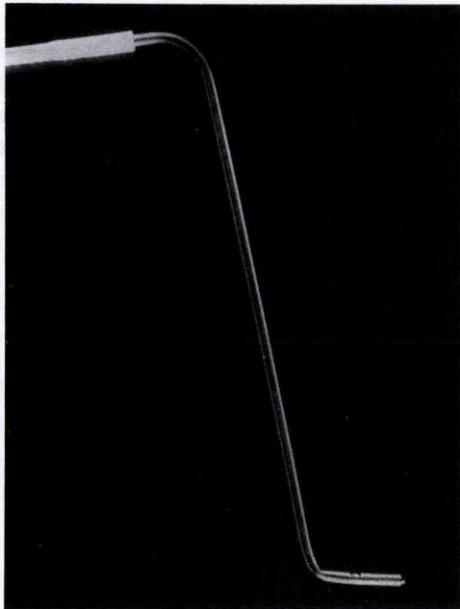


図1 微小ファイバー

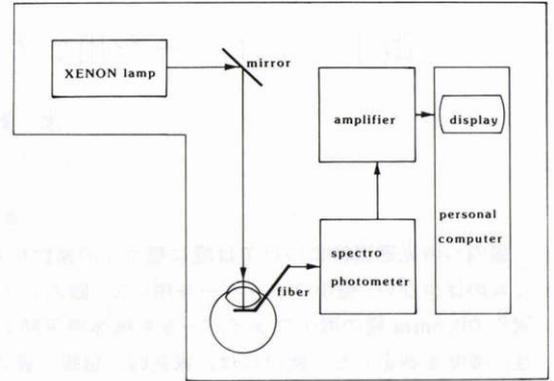


図2 装置のブロックダイアグラムを示す

行った。透過光の強度は、光源から直接ファイバーに入射する光線の強度に対する透過光強度の比率を相対エネルギー値として表した(相対エネルギー値: 眼内透過光強度/直接ファイバーに入射する光線強度)。

### 2. 対象

実験の対象とした動物眼は、透明水晶体を有する有色家兎眼、30羽、30眼、有色家兎人工的無水晶体眼3羽、3眼と、体重2.7kgの透明水晶体を有するカンクイ猿眼1匹、1眼である。

### 3. 実験方法

#### 1) 有色家兎眼

##### (1) 生体眼

0.5%トロピカマイド、および0.5%塩酸フェニレフリン(ミドリンP<sup>®</sup>)により散瞳後、塩酸ケタミン(ケタラルール50<sup>®</sup>) 30mg/kg筋注により全身麻酔下に固定器に固定し以下の実験操作を行った。毛様体扁平部の強膜に小切開を加え、この部より微小ファイバーの光検知部を眼内に挿入し、水晶体後囊直下、網膜前面(網膜面より2mm水晶体寄り)の2点で、眼内に入射した光の分光特性をみた(図3)。測定中は角膜の乾燥を防ぐため生理食塩水の頻回点眼を行った。

##### (2) 摘出眼

0.5%トロピカマイド、および0.5%塩酸フェニレフリン(ミドリンP<sup>®</sup>)により散瞳後眼球を摘出し、摘出眼を固定ホルダーの上に固定した後、前記生体眼での観察と同様に強膜切開部より微小ファイバーを挿入し、硝子体内の2点で水晶体を透過した後の光線の分光特性をみた(図4)。

#### 2) 無水晶体有色家兎眼

塩酸ケタミン(ケタラルール50<sup>®</sup>)の30mg/kg筋注による全身麻酔下で、水晶体囊外摘出術をし、術後1週

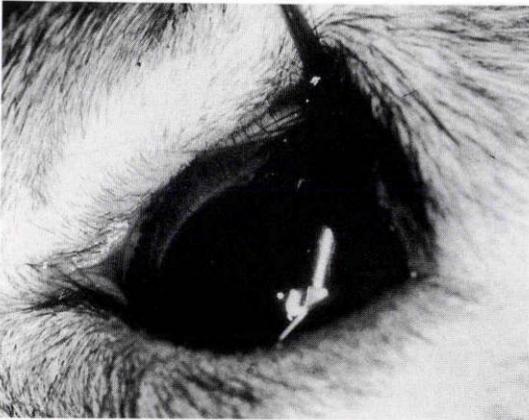


図3 生体眼における測定

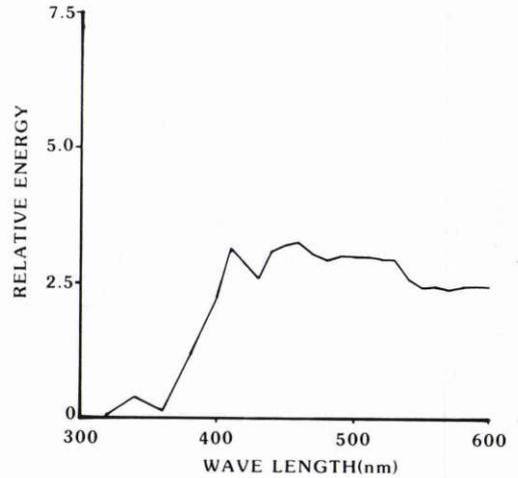


図5 有色家兎眼水晶体後囊直下の計測値（生体眼）

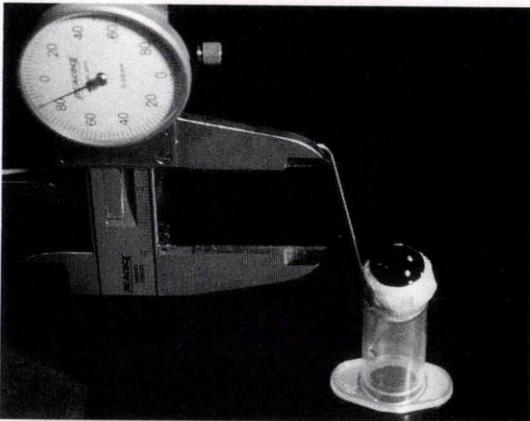


図4 摘出眼における測定

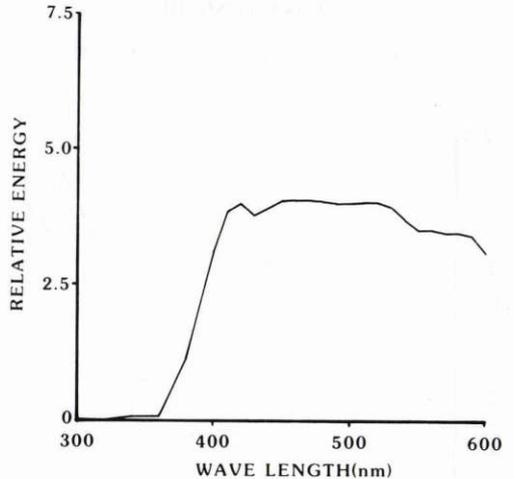


図6 有色家兎眼水晶体後囊直下の計測値（摘出眼）

間を経過した無水晶体眼を前記実験1)-(2)と同様の方法で摘出し、硝子体内の2点で入射光の分光特性をみた。

3) 猿眼

0.5%トロピカマイドおよび0.5%塩酸フェニレフリン(ミドリンP®)により散瞳後、塩酸ケタミン(ケタラール50®) 15mg/kg 筋注により全身麻酔後固定し、毛様体扁平部の強膜切開部より微小ファイバーを挿入し、水晶体後囊直下の1点で水晶体透過後の入射光の分光特性をみた。

III 結果

1. 有色家兎眼水晶体後囊直下の計測値

家兎眼生体下での水晶体後囊直下では、透過光の相対エネルギー値は、360~420nmの範囲で徐々に増加し、430nmでやや低下した後、440~530nmでは3.0、

540~600nmでは2.5とほぼ一定の値を示した(図5)。

摘出眼でも同様の傾向を示し相対エネルギー値は360~420nmで徐々に増加し、430nmでわずかに低下した後、440~530nmで4.0、540~600nmで3.5と一定の値を示した(図6)。

2. 有色家兎眼網膜前面の計測値

生体眼では、360~420nmにかけて相対エネルギー値は徐々に増加し、430nmで低下した後、440~510nmでは10.0とほぼ一定で、520~580nmでは7.5から10.0の値を示した(図7)。

摘出眼では、360~420nmで相対エネルギー値は徐々に増加し、430nmで低下した後、440~510nmで17.0、520~580nmで14.0~16.8の値を示した(図8)。

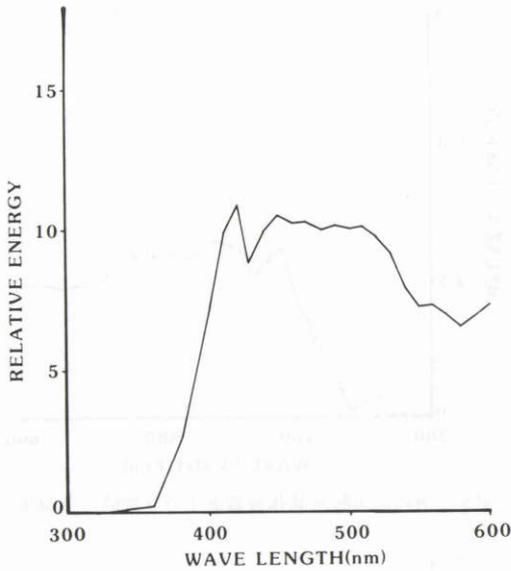


図7 有色家兎眼網膜前面の計測値（生体眼）

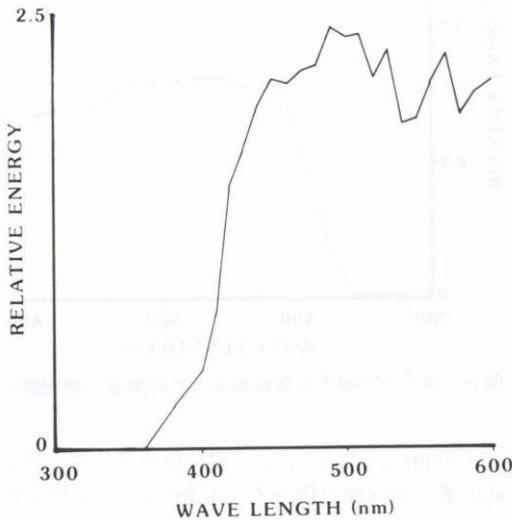


図8 有色家兎眼網膜前面の計測値（摘出眼）

### 3. 摘出家兎無水晶体眼後囊直下の計測値

360nm で相対エネルギー値は2.0, 380nm で3.0, 440nm で2.9, 410nm で3.5, 430~600nm では2.5前後でほぼ一定の値を示した（図9）。

### 4. 猿眼水晶体後囊直下の計測値

360~450nm で相対エネルギー値は徐々に増加し, 450~600nm の範囲では2.0~2.3とほぼ一定の値を示した（図10）。

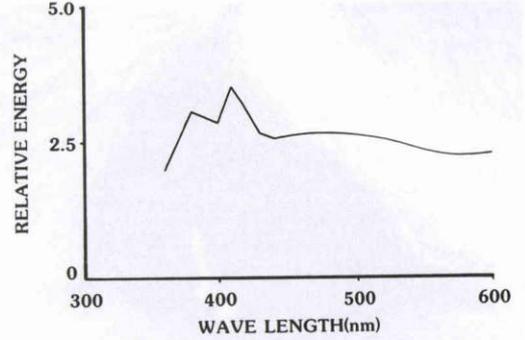


図9 摘出家兎無水晶体眼後囊直下の計測値

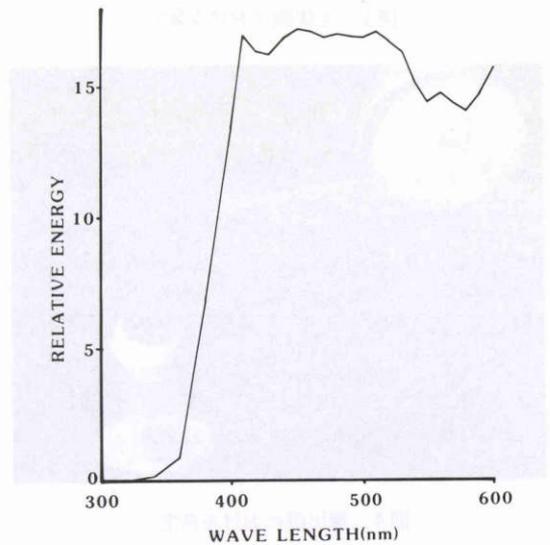


図10 猿眼水晶体後囊直下の計測値

## IV 考 按

眼内に入射する光もその短波長成分の大部分は、角膜、水晶体で吸収されることはよく知られている。水晶体を透過する光線がどれほどその特性が変化するかも摘出水晶体レベルで検討されている。Boettner<sup>1)</sup>, Lerman<sup>2)-4)</sup>は人眼を材料に対象水晶体の年齢と光透過率の関係を示している。摘出した水晶体をセルに入れ、これを分光光度計で測定したものである。わが国でも山地ら<sup>6)</sup>が牛眼を用い、摘出水晶体を材料に同様な検討をしている。

紫外線的水晶体での吸収については、坂東ら<sup>7)</sup>は、水晶体中の蛍光色素3-OH キヌレン O-B-グルコシドを近紫外線フィルターと仮定すると、老化と共に補助

フィルターの数が増加し、可視光の透過率を犠牲にして、紫外線を吸収しているであろうことを数理的に解析した。

また、水晶体摘出後の猿眼<sup>8)</sup>、人眼<sup>9)10)</sup>の紫外線による網膜障害、あるいは、術中の手術顕微鏡による網膜障害<sup>11)~14)</sup>などの報告も多く、更に紫外線非吸収眼内レンズ (PMMA) 移植術後の CME の発生率が、紫外線吸収眼内レンズ移植のものより高いなどの報告もある<sup>15)</sup>。

このように眼組織に様々な損傷を惹起する紫外線は、基礎的にも、臨床的にも極めて重要且つ、興味ある主題であり、角膜、水晶体、網膜などを対象とした検討が今までに数多くなされており、日常臨床に大きく貢献してきた。しかし、大きく眼組織全体に及ぼす光毒性という観点からは、まだ検討手段そのものにも発展の余地はあるものと思われる。従来この種の検討の多くは摘出眼レベルで行われていた。今回の検討では、摘出眼球の計測は、20分以内に行われた。少なくともこの程度の時間内であれば、摘出眼であっても生体眼と同じレベルの計測結果が得られることも明らかになった。実験手技上、全てを生体眼の状態で行うことには未だ無理があるが、水晶体を単独に取り出して行う従来の検討法よりは、水晶体が眼球内にとどまった状態での計測の方がより臨床には有用な情報を与えるものと考えたい。

眼球を大きく損なうことなく、生体レベルで透過光を検知するには現段階では未だ制限がある。本検討でも構成組織の大きさが異なる家兎眼と猿眼では同レベルの検討は出来なかった。即ち、網膜前面での光検知は、猿眼では行えなかった。実験操作は摘出した眼球を材料とする時の方が容易、且つ、安定したデータが得られるが、今回は、生体、摘出眼両レベルでの結果を比較する目的で両検討を同数眼行った。

家兎眼での検討の限り、生体眼、摘出眼での透過光の分光特性の傾向に大きな差はなかったため、この二つを同レベルで解析してもよいと考えた。角膜を通過して透過した白色光は、水晶体を通過した時点で短波長側の大部分が吸収されていることは従来の検討通りであった。しかし、本実験系で確認できる400nm以下の波長域の光線は、減衰はしながらも確実に水晶体を透過しており網膜まで達していると思われた。本検討とは別に、本実験と同じ光源を用いて家兎紫外線非吸収眼内レンズ移植眼の光透過性を検討している<sup>5)</sup>。この結果、および従来の検討を参考にすると、家兎眼で

は角膜を透過した紫外線の吸収能は水晶体の皮質、核部にあるものと考えられる。家兎眼で後囊を残した無水晶体眼では360~400nmの光は後囊を通過し眼内に透過していることが実験結果3から明らかである。より人間に近い構造を持つ猿の透明水晶体の光透過の状態も1眼ではあったが、本検討では行なった。360~420nmの光はこの猿眼でも水晶体を透過し、さらに眼内へと透過していた。加齢に伴いこの透過の程度が低くなることは、Boettner<sup>1)</sup>、Lermanら<sup>2)~4)</sup>の検討からも予測できるが、人眼(成人眼)で水晶体を透過する一部領域の紫外線レベルは、今回検出した猿眼のものよりは更に低いものと考えられる。

眼内に透過する紫外線の光は、有水晶体眼に比べると当然のことながら無水晶体眼では多くなっている。この状態に紫外線非吸収の眼内レンズが挿入されると、透過する光の強度(相対エネルギー値)は増強されることが想像される。別に行なった家兎眼眼内レンズ挿入眼での計測結果と今回の水晶体摘出眼での計測結果を比較しても、紫外線非吸収眼内レンズ後面では360nmまでの波長域の光が透過していた。無水晶体眼に挿入する眼内レンズが紫外線カットであることはやはり望ましいと考える。

混濁水晶体ではその混濁状態により果たしてどれ程の光がそこでブロックされるのかも興味ある。又、材質を含めさまざまな種類の眼内レンズの開発、評価などにも今後本検討手段は応用出来るものと考えられる。

稿を終えるに当たり、御指導、御校閲を賜りました佐々木教授に深謝いたします。また、本研究の遂行にあたり数々のご助言をいただきました本学客員教授、前千葉大学工学部の江森康文教授に感謝いたします。

#### 文 献

- 1) Boettner EA, Wolter JR: Transmission of the ocular media. Invest Ophthalmol 1: 776-783, 1962.
- 2) Lerman S, Borkman R: Spectroscopic evaluation and classification of the normal, aging and cataractous lens. Ophthalmol Res 8: 335-353, 1976.
- 3) Lerman S: In vivo and in vitro biophysical studies on human cataractogenesis. Lens Research 3(1-2): 137-160, 1986.
- 4) Lerman S: Chemical and physical properties of the normal and aging lens: Spectroscopic (UV, fluorescence, phosphorescence, and NMR) analysis. Am J Optom Physiol Opt 64: 11-22, 1987.

- 5) 水野敏博, 佐々木一之: 微小ファイバーを用いた眼内透過光分光測定装置の試作とその使用経験. 金医大誌 16: 71-76, 1991.
- 6) 山地良一, 山本 坦: 眼屈折体の光の吸収に関する研究(第4報) 紫外, 可視, 近赤外部. 日眼会誌 58: 275-278, 1954.
- 7) 坂東正康, 三国郁夫, 尾羽沢大: ヒト水晶体の近紫外線フィルター. 日眼会誌 88: 1471-1476, 1984.
- 8) Ham TWJ, Mueller HA, Ruffolo JJ Jr, et al: Action spectrum for retinal injury from near-ultraviolet radiation in the aphakic monkey. Am J Ophthalmol 93: 299-306, 1982.
- 9) Jaffe NS, Clayman HM, Jaffe MS: Cystoid macular edema after intracapsular cataract extraction with and without an intraocular lens. Ophthalmology 89: 25-29, 1982.
- 10) Jampol LM: Aphakic cystoid macular edema (A hypothesis). Arch Ophthalmol 103: 1134-1135, 1985.
- 11) Jampol LM, Kraff MC, Sanders DR, et al: Near-UV radiation from the operating microscope and pseudophakic cystoid macular edema. Arch Ophthalmol 103: 28-30, 1985.
- 12) Berler DK, Peyser R: Light intensity and visual acuity following cataract surgery. Ophthalmology 90: 933-936, 1983.
- 13) Irvine AR, Wood I, Morris BW: Retinal damage from the illumination of the operating microscope. Arch Ophthalmol 102: 1358-1365, 1984.
- 14) 小泉恵里子, 原田敬志, 齋藤 昭, 他: 眼内レンズ挿入後に発生した light-induced maculopathy. 臨眼 41: 492-493, 1987.
- 15) Kraff MC, Sanders DR, Jampol LM, et al: Effect of an ultraviolet-filtering intraocular lens on cystoid macular edema. Ophthalmology 92: 366-369, 1985.