# 網膜温度上昇とその抑制とに関する実験的研究

第2報 赤外線減光レンズの遮熱効果 (図7,表2)

田 中 利 幸 (岡山大学医学部眼科学教室)

# Retinal Heat-Reducing Effect of Infrared Filter Lens

### Toshiyuki Tanaka

Department of Ophthalmology, Okayama University Medical School

#### 要 約

赤外線減光レンズによる遮熱作用を知る目的で、家兎眼前に1KW 赤外線ビオレットを照射し、赤外線減光レンズ装用下における網膜温度上昇につき調べた。その結果以下の事柄が判明した。1. 網膜温度 (y) の時間 (x) による変化について最小二乗法によりその回帰曲線を求めると、y ( $^{\circ}$ C)  $=38.9-1.85\times0.87^{x}$  ( $\mathcal{F}$ A) の指数関数が得られ、赤外線減光レンズ非装用下の場合に比し $1.9^{\circ}$ C低い温度へ回帰した。従って赤外線減光レンズは遮熱作用を有する。1. 赤外線減光レンズによる遮熱効果は、第1報で報告した調光レンズよりも大きい。1. 日常生活における赤外線減光レンズの装用による網膜温度低下は、たとえ僅かであっても網膜における光化学反応を抑制し、第1報で報告した調光レンズと同様に網脈絡膜変性疾患の進行防止に有用である可能性がある。(日眼 192 1188)

キーワード:網膜温度、赤外線減光レンズ、遮熱効果、脈絡膜循環、網脈絡膜変性症

#### Abstract

The heat-reducing effect of the photochromic filter lenses was demonstrated in a previous on paper. As sunlight includes infrared rays, which are heat rays, infrared filter lenses also seem to have a heat-reducing effect. The purpose of this study was to clarify the heat-reducing effect of the infrared filter lenses. A 1 KW light was shone into the eyes of tame rabbits from a distance of 30cm for one hour, and the rise in temperature of the retina was measured, when an infrared filter lens was placed in front of the eye, the temperature of the retina was found to be lower than without the lens. The heat-reducing effect of the infrared filter lens was thereby confirmed, and the cooling effect of choroidal blood flow was considered to be involved. The heat-reducing effect of the infrared filter lens may reduce the retinal susceptibility to light by lowering its temperature, and may be useful in preventing progressive chorioretinal degeneration. (Acta Soc Ophthalmol Jpn 92: 864—869, 1988)

Key words: Retinal temperature, Infrared filter lens, Heat-reducing effect, Choroidal blood flow, Chorioretinal degeneration

I 緒 言

て注目されており、網膜温度は脈絡膜循環によって一定に調整されている事が明らかになっている1)~3). 著者は、第1報にて眼底網膜における調光レンズの遮熱

近年,網膜温度が網脈絡膜変性疾患の進行因子とし

別刷請求先:700 岡山市鹿田町 2 — 5 — 1 岡山大学医学部眼科学教室 田中 利幸(昭和63年 2 月17日受付)Reprint requests to: Toshiyuki Tanaka, M.D. Dept, of Ophthalmol., Okayama Univ. Medical School 2-5-1 Shikata-cho, Okayama 700, Japan (Accepted February 17, 1988)

昭和63年5月10日 151—(865)

作用並び脈絡膜循環との関連について検討し、その結果遮熱効果並びに脈絡膜循環による冷却作用及び網脈絡膜変性疾患の進行防止の可能性について報告したり、ここで太陽光には熱線である赤外線も含まれているため赤外線減光レンズも眼底網膜においては遮熱作用を有すると思われる。赤外線減光レンズの網膜温度に及ぼす影響については未だ報告された例はなく、著者は赤外線ビオレットの赤外線に対する、赤外線減光レンズ(SOFLUX-S3CC plano, NIKON)の遮熱作用につき検討した。その結果、赤外線減光レンズは眼底網膜において遮熱作用を有する事が明らかとなったのでここに報告する。

## II 実験方法

## 1. 実験材料

角膜,中間透光体に異常なく,倒像眼底検査で眼底 に異常の認められない体重 2~3Kg の成熟白色家兎20 羽20眼,並びに赤外線減光レンズ (Fig. 1),および赤

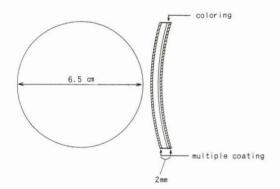


Fig. 1 The infrared filter lens

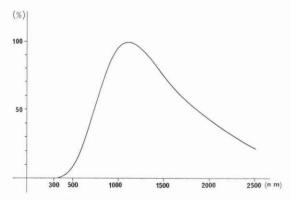


Fig. 2 The relative energy each wave lenth of the biolite.

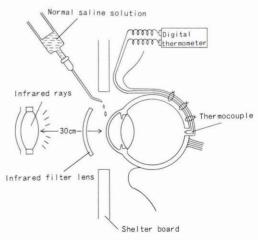
外線源として波長1,200nm にピークをもち波長300 nm から2,500nm の輻射熱を有する松下電器製1KW 暖房用赤外線ビオレット (Fig. 2) を用いた.

#### 2. 手術

家 東 耳 静脈 に22G エラスター針を 挿入 留置し、 pentobarbital sodium 25.9mg/kg (Somnopentyl® 0.4ml/kg) を 3 分間かけてゆっくり静注し、以後適宜 追加を行ない全身麻酔を行なった。押田式家兎固定器 (KN-317型、夏目製制所)に家東を固定し、被験眼を 0.5%トロピカミドと0.5%塩酸フェニレフリンの混合 液 (Mydrin P®) にて散瞳後、河本式開瞼器をかけ角 膜輪部に4-0絹糸にて制御糸をかけた。 眼球を下転 させ眼球上部球結膜を剝離し、上直筋並びに上斜筋を 切離後,強膜を露出した。後極部強膜に角膜輪部に平 行に剃刃を用いて幅約1mm 程度の切開を加え, さらに 徐々に脈絡膜及び網膜まで極めてわずかの硝子体が脱 出するまで切開を進めた。同部にアルメル(CA)とク ロメル (CC) よりなる熱電対の先端 (外径約500μm) を網膜内に固定状態となるように挿入し、8-0デキ ソンにて先端附近の熱電対茎部を強膜に縫合し、 さら に瞬間接着剤(アロンアルファ)を用いて強膜への接 着固定を行なった。 倒像眼底鏡にて全例に先端部の位 置の確認を行なった。 先端部が網膜内にないもの、あ るいは後部硝子体中に極微量出ていないもの, 及び周 囲に出血や浮腫のあるものは除外した.

## 3. 照射方法

厚さ約1cm, 大きさ10cm×10cmの発泡スチロール



**Fig. 3** A schematic diagram of the measurement of the temperature of a rabbit retina expessed to infrared rays

に厚さ15µmのアルミ箔を張り,直径2cmの穴をあけ, 眼球のみを照射するように眼前に置いた。さらに体部 を照射せぬように体部を同じアルミ箔を張った厚さ 1.5cm×40cmの板で覆った。眼前30cmの距離より赤 外線ビオレットを照射し、熱電対に接続したデジタル 表面温度計(HPD-2000型,安立計器)にて照射直前から照射後10分までは1分毎に、20分までは2分毎に、 以後5分毎に60分まで経時的に網膜温度を計測した。 又眼前5cmの距離に赤外線減光レンズを装用し同様 の計測を行なった。さらに赤外線減光レンズの除去と 装用の繰り返しが網膜温度変化に及ぼす影響を検討した。

照射中は角膜と結膜の乾燥防止のために1分間に約 10滴の速さで生理食塩水を前眼部に落下した(Fig. 3).

眼球照射の際には、照射部分をなるべく瞳孔領に限局するようにして、強膜照射による後極部網膜への熱の伝導を防いだ。直腸温は第1報にて照射前後の有意差がなかったため測定しなかった。室温は全例18~20℃に保った。又赤外線減光レンズ非装用群および調光レンズ装用群については、第1報"で報告した実験結果を使用した。

## III 結 果

照射前の網膜温度は、 $36.8\pm0.28$   $\mathbb{C}$  (mean  $\pm$  SE, n=10) であった。赤外線減光レンズ装用下において網膜温度は経時的に上昇し、照射60分後には $38.7\pm0.18$   $\mathbb{C}$  となった。18分後と60分後とには統計学的に有意差はなく、照射18分後にはほぼ平衡状態に達したと考えられた。網膜温度(y)の時間(x)による変化を最小二乗法により指数曲線へ回帰させると、y ( $\mathbb{C}$ )=38.9 $-1.85 \times 0.87$  ( $\mathbb{C}$ ) という指数関数が得られた。

t 検定にて、赤外線減光レンズ装用下並びに第1報 で得られた非装用下の各時間における網膜温度の平均 値の差の検定を行なうと、照射6分後より、5%の確 率水準で有意差がみられた(Table 1, Fig. 4).

平衡状態において、赤外線減光レンズの除去 $5.6\pm$ 0.3 (mean $\pm$ SE, n=10) 分後には網膜温度は $0.92\pm$ 0.05 $^{\circ}$ C上昇し、あらたな平衡状態となり、再装用 $5.4\pm$ 0.6分後には $0.95\pm0.08$  $^{\circ}$ C下降し、新たな平衡状態となった (Table 2, Fig. 5). t 検定にて 5%の確率水準にて温度上昇、下降とも有意差がみられた。

角結膜乾燥防止のために点眼した生理食塩水による 温度の動揺並びに低下はみられなかった.

Table 1 The average temperature changes in the rabbit retina exposed to infrared rays with and without the infrared filter lens

| Exposure time (min) | Without the lens (mean ± SE, °C) n = 20 | With the lens (mean±SE, °C) n=10 |
|---------------------|---|----------------------------------|
| 0                   | 35.8±0.27                               | 36.8±0.28                        |
| 1                   | 36.6±0.23                               | 37.2±0.28                        |
| 2                   | 37.2±0.20                               | 37.5±0.28                        |
| 3                   | 37.9±0.19                               | 37.7±0.21                        |
| 4                   | 38.4±0.19                               | 37.9±0.27                        |
| 5                   | 38.7±0.18                               | 38.0±0.26                        |
| 6                   | 39.1±0.19                               | 38.2±0.25                        |
| 7                   | 39.4±0.18                               | 38.3±0.24                        |
| 8                   | 39.5±0.19                               | 38.3±0.22                        |
| 9                   | 39.7±0.20                               | 38.4±0.21                        |
| 10                  | 39.8±0.20                               | 38.4±0.21                        |
| 12                  | 39.9±0.19                               | 38.5±0.20                        |
| 14                  | 40.0±0.18                               | 38.5±0.19                        |
| 16                  | 40.1±0.17                               | 38.6±0.20                        |
| 18                  | 40.1±0.16                               | 38.6±0.19                        |
| 20                  | 40.2±0.16                               | 38.7±0.19                        |
| 25                  | 40.3±0.19                               | 38.8±0.21                        |
| 30                  | 40.4±0.21                               | 38.8±0.21                        |
| 35                  | 40.4±0.23                               | 38.8±0.22                        |
| 40                  | 40.5±0.24                               | 38.8±0.23                        |
| 45                  | 40.7±0.27                               | 38.7±0.20                        |
| 50                  | 40.6±0.21                               | 38.7±0.19                        |
| 55                  | 40.7±0.22                               | 38.7±0.18                        |
| 60                  | 40.7±0.23                               | 38.7±0.18                        |

# IV 考 按

電極の先が太いため、網膜内への固定は困難であり、 実際には一部網膜前の硝子体の温度をも測定している 事になるが、Scwartzら50の硝子体後部の温度と網膜 表面の温度差は少ないとの報告から網膜部の温度と考 えて差し支えない。

実験に用いた SOFLUX-S3CC レンズはその分光透 過率曲線が Fig. 6 のごとくであり、赤外線減光作用以 外に紫外線と一部の可視光線に対する減弱作用を併せ 持つ. しかし Geeraets ららの家兎眼内透過率曲線より 明らかなように、紫外線はその殆どが角膜、水晶体で 吸収される. 従ってこのレンズの紫外線減弱作用は、

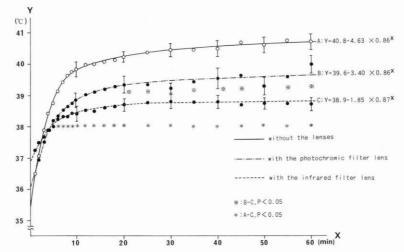


Fig. 4 The average temperature changes in the rabbit retina exposed to infrared rays with and without the lenses, and the regression curves. ☀, ∗: statistically significant alteration

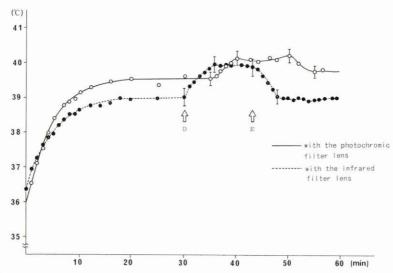
**Table 2** The average temperature changes in the rabbit retina exposed to infrared rays before taking off the lens, and  $5.6\pm0.3$  minutes after taking it off, and  $5.4\pm0.6$  minutes after putting on the lens a second time, and the differences between each of these values

|   | (mean±SE,<br>°C) n=10 |
|---|-----------------------|
| (1) Before taking off the lens                                  | 39.1±0.21             |
| (2) $5.6 \pm 0.3$ minutes after taking the lens off             | 40.0±0.21             |
| (3) $5.4\pm0.6$ minutes after putting on the lens a second time | 39.0±0.19             |
| (2)-(1)   | 0.92±0.05             |
| (2)-(3)   | 0.95±0.08             |

本実験においては意味がなく、本実験においては赤外線減光作用を主作用とすると考えて差し支えない。又ここで赤外線減光レンズの分光透過率並びに分光反射率、赤外線ビオレットの波長特性および Geeraets らのの家兎眼内透過率曲線より、赤外線減光レンズ装用下の赤外線ビオレット照射時に家兎眼内網膜へ到達する波長特性は Fig. 7 のごとくになる。実験結果は可視光線の一部を含む特殊な波長に対する結果とも言えるが、光源の71%は赤外線であり熱線であるので遮熱効果を論ずるにあたって問題はない。

赤外線ビオレット照射中に赤外線減光レンズ装用下では網膜温度は経時的に上昇したが、回帰曲線は非装用下に比べて1.9℃低いものとなった。又平衡状態における赤外線減光レンズの除去と再装用の繰り返し実験においても温度の変化に有意差があった。従って、赤外線減光レンズには眼底網膜において遮熱作用のある事が判明した。

眼内照射ではなく、単なる30cm の距離にある赤外 線減光レンズ非装用下の電極の照射のみでは、その温 度上昇は105℃以上にも達する. 赤外線減光レンズ装用 下で、網膜温度が38.6℃にて平衡状態となるためには なんらかの冷却作用が働いているのは明らかである. 脈絡膜の血流量は眼内循環の85%以上を占めており、 又単位重量当たり脳皮質の4倍もの血流量がある1). 網膜温度は脈絡膜循環とは密接な関係があることが推 測され、第1報で報告した調光レンズ装用下同様、や はり赤外線減光レンズ装用下でも脈絡膜循環による冷 却作用が働いたためと思われる。又赤外線減光レンズ 装用下では、装用していないものに比べて27分早い18 分後に平衡状態となったが、赤外線減光レンズ装用に よる遮熱効果のため、より早期から脈絡膜循環による 冷却効果が現われたためと思われる。 赤外線減光レン ズ装用下の網膜温度の変化の回帰曲線は, 第1報で報 告した調光レンズ装用下の回帰曲線に比し0.7℃低い 温度であった、又平衡状態におけるレンズの除去並び に再装用実験において, 温度の上昇及び下降率も調光



**Fig. 5** The average temperature changes in the rabbit retina exposed to infrared rays after taking off the lenses, and putting them on a second time. D: taking off the infrared filter lens E: putting on the infrared filter lens a second time

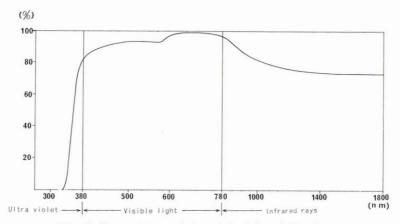
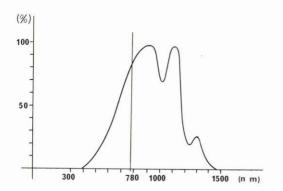


Fig. 6 Per cent transmission of the infrared filter lens



レンズよりも赤外線減光レンズの方が大きかった。又 平衡状態となるに要する時間は赤外線減光レンズ装用 下の方が調光レンズ装用下に比し、17分早かった。従っ て今回用いた赤外線減光レンズの方が第1報で報告し た調光レンズよりも遮熱効果がより大きいものと思わ れる。

Fig. 7 The relative energy of each wave length reaching the rabbit retina exposed to infrared rays

遮熱効果はレンズの分光透過率並びに分光反射率が 大きな役割を占める。今回用いた赤外線減光レンズは 第1報で報告した調光レンズと違って、紫外線や温度 刺激に対して分光透過率の変化がない。調光レンズは 高温刺激に対して分光透過率を上昇させるが、赤外線 減光レンズはこの作用がなく、従ってより強力に遮熱 効果が現われたものと思われる。

Gorn & Kuwabara は<sup>7)</sup>光照射が視細胞の変性を引 き起こす事を明らかにし,又 Dowling ら8), Wolbarsht ら9は変性網膜において遮光が網膜変性の進行を遅ら せる事を述べている。厚生省の網膜色素変性症調査研 究班は網膜色素変性症の進行予防に遮光眼鏡の装用を 勧めている10)。これらの事から、光化学反応が網脈絡膜 変性疾患の進行因子である事が推察される。 ここで, 高度の網膜温度の上昇は視細胞蛋白に変性を引き起こ すが、軽度の眼内温度の上昇は拡散により視細胞には 直接には影響を及ぼさないと一般に考えられており, Noell ら<sup>11)</sup>も low lebel の光照射による障害は熱によ るものではないと述べている。しかし Ward ら12)13)に よると赤毛ザルにおいて上昇した体温や網膜温度は, 強力光に対し網膜をより焼灼されやすくすると言う. さらに Noell らいは, 熱ではなく光による網膜障害が, 体温や網膜温度の上昇により、より増強される事を証 明し、又その効果が網膜変性ラットにおいて正常ラッ トよりさらに著しい事を発見した. Friedman & Kuwabara<sup>14)</sup>も、赤毛ザルにおいて同様の事を推測し ている。Parver ら3)は体温と網膜温度は密接な関係に ある事を示し,又Worbarsht ら<sup>15)</sup>は網脈絡膜変性疾患 においては体温の上昇を防ぐべき事を推察している. これらの事から、網脈絡膜変性疾患の増悪因子として 網膜温度の上昇が考えられる.

Worbarsht ら15は赤外線フィルターの使用により 眼底に到達するエネルギーは1/3に減ると考察している。著者が用いた赤外線ビオレットの放射照度は240 mw/cm²/sec と強力で日常経験し得ないものではあるが、著者の実験から、赤外線減光レンズは眼底において遮熱効果を有する事が明らかになった。従って赤外線減光レンズの日常生活における装用は、たとえ軽 微であれ、常に眼底網膜において遮熱効果を発揮する ため、第1報で報告した調光レンズ同様に網脈絡膜変 性疾患の進行防止に有用である可能性がある。 擱筆にあたり, 御懇篤なる御指導, 御校閲を賜わった恩師 松尾信彦教授に深謝いたします.

本論文の要旨は第91回日本眼科学会総会で発表した。

#### 文 献

- 松尾信彦:脈絡膜循環の特異性。日眼 84:2147 -2206, 1980.
- Meyer-Schwickerath G: Light Coagulation. St Louis, C.V. Mosby, 1960.
- Parver LM, Auker C, Carpenter CO: Choroidal blood flow as a heat dissipating mechanism in the macula. Am J Ophthalmol 89: 641

  —646, 1980.
- 4) 田中利幸:網膜温度上昇とその抑制とに関する実験的研究. 1. 調光レンズの遮熱効果. 日眼 91: 988-992, 1987.
- Schwartz B, Feller MR: Temperature gradients in the rabbit eye. Invest Ophthalmol 1:513, 1962.
- Geeraets WJ, Berry ER: Ocular spectral characterics as related to hazards from lasers and other light sources. Am J Ophthalmol 66: 15-20, 1968.
- Gorn RA, Kuwabara T: Retinal damage by visible light: A physiologic study. Arch Ophthalmol 77: 115—118, 1967.
- Dowling JE, Sidman RL: Inherited retinal dystrophy in the rat. J Cell Biol 14: 73—109, 1962
- Wolbarsht ML, Allen R, Beatrice E, et al: Letter to the editor. Invest Ophthalmol Visual Sci 19: 1124, 1980.
- 10) 厚生省特定疾患網膜色素変性症調査研究班(班長三島濟一):昭和51年度研究報告書,東京,厚生省, 13,1977.
- 11) Noell WK, Walker VS, Kang BS, et al: Retinal damage by light in rats. Invest Ophthalmol 5: 450—473, 1966.
- 12) Ward B, Bruce WR: Chorioretinal burn: Body temperature dependence. Ann Ophthalmol 3: 898—900, 1971.
- 13) Ward B, Bruce WR: Role of body temperature in the definition of retinal burn threshold. Invest Ophthalmol 10: 955—958, 1971.
- 14) Friedman E, Kuwabara T: The retinal pigment epithelium. Arch Ophthalmol 80: 265—279, 1968.
- 15) Wolbarsht ML, Landers MB, Anderson WB: Retinitis pigmentosa: Clinical management based on current concepts. Clinical Implications of Current Research, 181—191, 1977.

(第91回日眼総会原著)