

網膜温度上昇とその抑制とに関する実験的研究

第1報 調光レンズの遮熱効果 (図5, 表3)

田 中 利 幸 (岡山大学医学部眼科学教室)

Experimental Study on Retinal Temperature

1. Heat-Reducing Effect of the Photochromic Filter Lens

Toshiyuki Tanaka

Department of Ophthalmology, Okayama University Medical School

要 約

調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、調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. 最小二乗法により回帰曲線を求めると $y (^{\circ}\text{C}) = 39.6 - 3.40 \times 0.86^x$ (分) という指数関数が得られ、調光レンズ非装用下の場合に比し1.2 $^{\circ}\text{C}$ 低い温度へ回帰した。従って調光レンズは遮熱作用を有する。2. 日常生活における調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、その結果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 91:988-992, 1987)

キーワード：網膜温度，調光レンズ，遮熱効果，脈絡膜循環，網脈絡膜変性症

Abstract

By changing their color in accordance with the strength of the light rays, photochromic filter lenses have as their main effect the reduction of light. In everyday use, however, they also seem to have a heat-reducing effect, as sunlight includes infrared rays, which are heat rays. The purpose of this study was to clarify the heat-reducing effect of photochromic 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 a photochromic filter lens was placed in front of the eyes, the temperature of the retina was found to be lower than without the lens. The heat-reducing effect of photochromic filter lenses was thereby confirmed. It is possible that the heat-reducing effect obtained by using the photochromic filter lens, reducing the level of retinal susceptibility to light by lowering its temperature, in addition to the primary effect of reducing light, constitutes a means of suppressing the chemical reaction to light, and may be useful in preventing the advance of chorioretinal degeneration. (Acta Soc Ophthalmol Jpn 91: 988-992, 1987)

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

I 緒 言

ある種の網脈絡膜腫瘍において温熱療法なるものが

試みられており、組織の温度というものが注目されている。又網脈絡膜変性疾患において、網膜温度が病変の進行に重要な役割を演じている事が最近報告されて

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

Reprint requests to: Toshiyuki Tanaka, M.D. Dept. of Ophthalmol., Okayama Univ. Medical School
2-5-1 Shikata-cho, Okayama 700, Japan

(昭和62年4月14日受付) (Accepted April 14, 1987)

いる。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おり、従って網膜温度の実験的研究は、網脈絡膜疾患の病態究明やその治療に関して必要欠くべからざるものである。近年遮光用眼鏡として用いられている調光レンズは、光線の強さに応じてその色調を変える事により分光透過率を変え、その結果遮光作用を主作用とするものであるが、太陽光には熱線である赤外線も含まれているため眼底網膜においては遮熱作用も有すると思われる。調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を用いて、調光レンズ(CPF 550 plano, Corning 社)の遮熱作用につき検討した。その結果調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41羽41眼、並びに調光レンズ(Fig. 1)、又赤外線源として波長1,200nmにピークをもち波長300nm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を用いた。

2. 手術

家兎耳静脈に22G エラストー針を挿入留置し、pentobarbital sodium 25.9mg/kg (Somnoplex[®]) 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、夏目製作所)に家兎を固定し、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、河本式開眼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刀を用いて幅約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500 μ m)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基部を強膜に縫合し、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。先端部が網膜内にはないもの、あるいは後部硝子体中に極微量出していないもの、及び周囲に出血

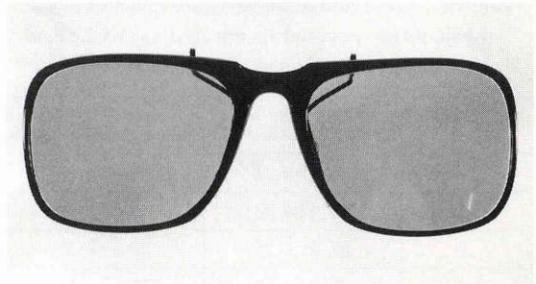


Fig. 1 The photochromic filter lens

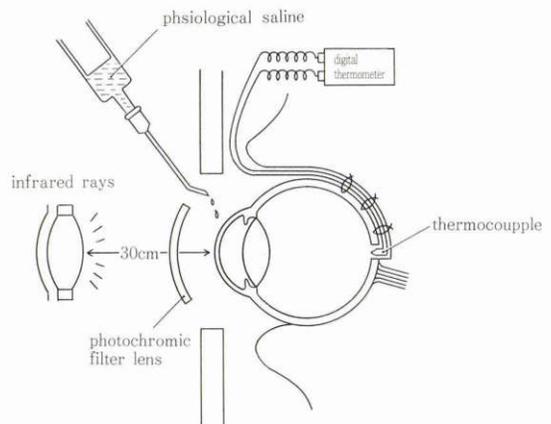


Fig. 2 A schematic diagram of the measurement of the temperature of a rabbit retina exposed to infrared rays

や浮腫のあるものは除外した。

3. 照射方法

厚さ約1cmの発泡スチロールに厚さ15 μ mのアルミ箔を張り、直径3cm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約1.5cm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の距離に調光レンズを装着し同様の計測を行なった。さらに調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滴下した(Fig. 2)。照射前後の直腸温を別の熱電対にて測定した。室温は全例18~20 $^{\circ}$ Cに保った。

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

Exposure time (min)	Without the lens (mean±SE, °C) n=20	With the lens (mean±SE, °C) n=15
0	35.8±0.27	36.0±0.28
1	36.6±0.23	36.6±0.29
2	37.2±0.20	37.0±0.29
3	37.9±0.19	37.5±0.32
4	38.4±0.19	37.9±0.37
5	38.7±0.18	38.2±0.39
6	39.1±0.19	38.3±0.40
7	39.4±0.18	38.5±0.39
8	39.5±0.19	38.6±0.40
9	39.7±0.20	38.7±0.40
10	39.8±0.20	38.8±0.40
12	39.9±0.19	39.0±0.43
14	40.0±0.18	39.0±0.43
16	40.1±0.17	39.2±0.43
18	40.1±0.16	39.3±0.43
20	40.2±0.16	39.3±0.43
25	40.3±0.19	39.2±0.44
30	40.4±0.21	39.0±0.50
35	40.4±0.23	39.4±0.51
40	40.5±0.24	39.5±0.50
45	40.7±0.27	39.7±0.52
50	40.6±0.21	39.3±0.60
55	40.7±0.22	39.5±0.49
60	40.7±0.23	39.9±0.47

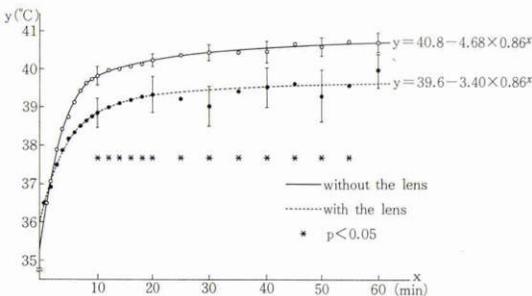


Fig. 3 The average temperature changes in the rabbit retina exposed to infrared rays with and without the lens, and the regression curves. *: statistically significant alteration

III 結果

照射前の網膜温度は、 $35.8 \pm 0.27^\circ\text{C}$ (mean±SE, n=20) であった。網膜温度は経時的に上昇し、照射60分後には $40.7 \pm 0.23^\circ\text{C}$ となった。45分後と55分後とは統計学的に有意差はなく、照射45分後にはほぼ平衡状態に達したと考えられた。マイクロコンピュータ(5900型, SEIKO)を用いて最小二乗法により帰帰曲線を求めると、 $y(^\circ\text{C}) = 40.8 - 4.63 \times 0.86^x$ (分) という指数関数が得られた。調光レンズ装用下では60分後には $39.9 \pm 0.47^\circ\text{C}$ (mean±SE, n=15) となり、非装用下に比べて 0.7°C 低い温度で平衡状態となった。同様に帰帰曲線を求めると、 $y(^\circ\text{C}) = 39.6 - 3.40 \times 0.86^x$ (分)

Table 2 The average temperature changes in the rabbit retina exposed to infrared rays before taking off the lens, and 5 minutes after taking it off, and 5 minutes after putting on the lens a second time, and the differences between each of these values

	(mean±SE, °C) n=6
(1) Before taking off the lens	39.9±0.27
(2) 4.9±0.3minutes after taking the lens off	40.8±0.33
(3) 4.7±0.2minutes after putting on the lens a second time	40.2±0.29
(2) - (1)	0.85±0.14
(2) - (3)	0.60±0.12

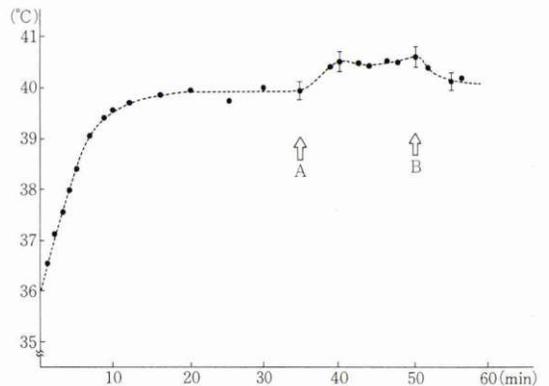


Fig. 4 The average temperature changes in the rabbit retina exposed to infrared rays after taking off the lens, and putting it on a second time. A: taking off the lens B: putting on the lens a second time

Table 3 The average temperature changes in the rabbit rectum before and after exposure to infrared rays

	The rectal temperature (mean \pm SE, $^{\circ}$ C) n=10
Before exposure	37.76 \pm 0.25
After exposure	37.62 \pm 0.31

という装用していないものに比べて1.2 $^{\circ}$ C低い温度へ回帰する指数関数が得られた。照射35分後と55分後とは統計学的に有意差はなく、照射35分後にはほぼ平衡状態に達したと考えられた(Table 1, Fig. 3)。t検定にて、調光レンズ装用下並びに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、5%の確率水準で有意差がみられた。又平衡状態において、調光レンズの除去4.9 \pm 0.3 (mean \pm SE, n=6)分後には0.85 \pm 0.14 $^{\circ}$ C上昇し、再装用4.7 \pm 0.2分後には0.60 \pm 0.12 $^{\circ}$ C下降し、新たな平衡状態となった(Table 2, Fig. 4)。t検定にて5%の確率水準にて有意差がみられた。照射前後における直腸温には有意差はみられなかった(Table 3)。

IV 考 按

今回用いた電極は、その先が太いため網膜内に挿入固定する事は困難で、実際には網膜前の硝子体の温度をも測定している事になるが、Schwartzら¹⁾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。しかし硝子体後部の温度と網膜表面の温度との間には時間的なずれがある事が考えられ、得られた温度上昇曲線より実際の網膜温度上昇はもう少し急峻であるかも知れない。

調光レンズは、紫外線や低温刺激に対してレンズに含まれるAgCl \rightarrow Ag $^{+}$ + Cl $^{-}$ の反応が1分以内に起こりダークニング状態となるが、暗所では比較的速やかに逆の反応が起こる事によりライトニング状態となり、従って可逆性を有する。又調光レンズは、ライトニング状態では550nm未満の短波長光を97%以上遮断し、550nm以上の可視光線の透過率の減弱は僅かである。その分光透過率曲線は90%へ回帰する指数曲線を描き、750nm以上の赤外線は90%を透過させるが、逆にダークニング状態では550nm以上の可視光線や赤外線の透過率をライトニング状態以上に減弱させる。実験中すべて調光レンズはダークニング状態となった。これは赤外線ビオレットの照射光に含まれる微量の紫

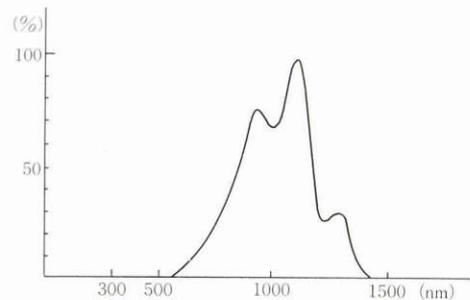


Fig. 5 The relative energy of each wave length reaching the rabbit retina exposed to infrared rays

外線(300nm~400nm)並びにその近辺の波長光に反応したためと思われる。ここで赤外線ビオレットの波長特性と Geeraetsら²⁾の家兎眼内透過率曲線並びに調光レンズのダークニング状態の分光透過率から、赤外線ビオレット照射時における家兎眼内網膜へ到達する波長特性を調べると Fig. 5のごとくなる。実験結果は一部可視光線を含むこれらの特殊な波長に対する結果とも言えるが、これらは94%が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網膜温度は経時的に上昇したが、調光レンズ装用下の回帰曲線は非装用下に比べて1.2 $^{\circ}$ C低いものとなった。又平衡状態における調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、調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。

ここで、眼内照射ではなく単なる30cmの距離にある電極の照射のみではその温度上昇は105 $^{\circ}$ C以上にも達する。調光レンズ非装用において、照射開始45分後に網膜温度が40.7 $^{\circ}$ C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。脈絡膜の血流は眼内循環の85%以上を占めており、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る。従って冷却作用は主として Geeraetsら³⁾や畑⁴⁾⁵⁾も述べているように、脈絡膜循環によるものと思われる。調光レンズ装用下では、装用していないものに比べて0.7 $^{\circ}$ C低い温度で同じように平衡状態となった。やはり調光レンズ装用下においても脈絡膜循環による冷却作用が働いたためと思われる。又調光レンズ装用下では、装用していないものに比べて10分早い35分後に平衡状態となったが、調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。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。又、実験前後の直腸温に有意差はなく、赤外線をよく反射するアルミ箔を表面に張った板を用いて眼外への照射を防いだため、眼内への照射のみでは全身的な発熱を来たさなかったものと思われる。

Gorn & Kuwabara⁹⁾は光照射が視細胞外節に変性を来たす事を述べており、Dowling⁷⁾は、遺伝性網膜変性ラットにおいて、遮光が網膜変性の進行を遅らせる事を明らかにした。Wolbarsht⁸⁾は網膜色素変性症において同様の遮光効果を推測している。わが国においても、厚生省の網膜色素変性症調査研究班⁹⁾がその報告書の中で遮光眼鏡の装用を推奨している。ここで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、Noell¹⁰⁾も low level 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 Ward¹¹⁾¹²⁾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なるという。さらに Noell¹⁰⁾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。Friedmann & Kuwabara¹³⁾も、赤毛ザルにおいて同様の事を推測している。Wolbarsht¹⁴⁾も赤外線フィルターを使用すると網膜に到達するエネルギーが約1/3に減る事から、赤外線フィルターの眼科機器への使用を勧めている。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。著者が用いた赤外線ビオレットの放射熱量は1KWと強力で、晴天時の地表散乱光を考慮した太陽エネルギー密度は約0.1W/cm²である事に比べ、日常経験しえないものではある。しかし太陽光の降り注ぐ屋外において調光レンズは速やかにダークニング状態となるため、日常生活においてもたとえ軽微であれ眼底網膜において遮熱効果を発揮すると思われる。従って調光レンズの装用は、本来の遮光作用に加えてその遮熱作用により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。

擧筆にあたり、御懇篤なる御指導、御校閲を賜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51回日本中部眼科学会にて発表した。

文 献

- 1) Schwartz B, Feller MR: Temperature gradients in the rabbit eye. Invest Ophthalmol 1: 513, 1962.
- 2) Geeraets WJ, Berry ER: Ocular spectral characteristics as related to hazards from lasers and other light sources. Am J Ophthalmol 66: 15—20, 1968.
- 3) Geeraets WJ, Ham WT: Rate of blood flow and effect on chorioretinal burns: Preliminary report. Arch Ophthalmol 68: 88—91, 1962.
- 4) 畑 文忠: 赤外線の家兎網膜におよぼす影響について。(II) 赤外線照射による網膜部の温度変化。日眼 84: 96—100, 1980.
- 5) 畑 文忠: 赤外線の家兎網膜におよぼす影響について。(IV) 網膜部の温度変化と脈絡膜循環との関係。日眼 84: 953—962, 1980.
- 6) Gorn RA, Kuwabara T: Retinal damage by visible light: A physiologic study. Arch Ophthalmol 77: 115—118, 1967.
- 7) Dowling JE, Sidman RL: Inherited retinal dystrophy in the rat. J Cell Biol 14: 73—109, 1962.
- 8) Wolbarsht ML, Allen R, Beatrice E, et al: Letter to the editor. Invest Ophthalmol Visual Sci 19: 1124, 1980.
- 9) 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.
- 10) Noell WK, Walker VS, Kang BS, et al: Retinal damage by light in rats. Invest Ophthalmol 5: 450—473, 1966.
- 11) Ward B, Bruce WR: Chorioretinal burn: Body temperature dependence. Ann Ophthalmol 3: 898—900, 1971.
- 12) Ward B, Bruce WR: Role of body temperature in the definition of retinal burn threshold. Invest Ophthalmol 10: 955—958, 1971.
- 13) Friedman E, Kuwabara T: The retinal pigment epithelium. Arch Ophthalmol 80: 265—279, 1968.
- 14) Wolbarsht ML, Landers MB, Anderson WB: Retinitis pigmentosa: Clinical management based on current concepts. Clinical Implications of Current Research, 181—191, 1977.