

網膜光障害がニワトリ無水晶体眼の単色光網膜電図に及ぼす影響について

町田 繁樹

岩手医科大学医学部眼科学教室

要 約

ニワトリ無水晶体眼に網膜光障害を与え、その前後で単色光刺激による網膜電図(ERG)を記録することによって錐体の光障害を定量化した。網膜光障害作製の際に、眼前に紫外線吸収(UV)フィルターを設置しなかった紫外線照射群では光障害前、光障害後24時間、3、5、10、15、30日の時点で、また、UVフィルターを設置した非照射群では光障害前および光障害後24時間の時点で青錐体ならびに赤錐体ERGを記録し、青錐体と赤錐体の感度を求めた。光障害後24時間の時点で、紫外線照射群の青錐体の感度は非照射群のそれと比較すると有意

に低下していたが、光障害後5~15日までの間に回復傾向を示した。一方、両群の赤錐体の感度は光障害前と後の間で有意差を認めなかった。今回の程度の網膜光障害では、青錐体は赤錐体よりも光障害を受けやすかったが、その障害は可逆性であった。また、青錐体の光障害には紫外線が主に関与していると考えられた。(日眼会誌98:55-62, 1994)

キーワード：網膜光障害、単色光網膜電図(ERG)、青錐体、赤錐体、紫外線

Evaluation of Retinal Light Damage in Aphakic Chicken Eyes Using Monochromatic ERGs

Shigeki Machida

Department of Ophthalmology, School of Medicine, Iwate Medical University

Abstract

We evaluated light damage to cones using monochromatic electroretinograms (ERGs) in lensectomized chicken eyes. During exposure of the retina to light to produce light damage, an ultraviolet-absorbing (UV) filter was placed in front of some eyes (non-UV irradiated group) and not placed in front of others (UV irradiated group). Blue cone and red cone ERGs were recorded from the UV irradiated group before and at 1, 3, 5, 10, 15, and 30 days after the damage, and from the non-UV irradiated group before and at 1 day after the light exposure. From the ERG·b-wave amplitudes, spectral sensitivities of the blue and red cones were obtained. The blue cone sensitivity of the UV

irradiated group was significantly attenuated compared with the non-UV irradiated group ($p < 0.01$), but recovered between 5 and 15 days after the damage. The present study suggested that the blue cones are more susceptible to light stress than the red cones and that this degree of blue cone damage is reversible. Ultraviolet rays seem to be mainly responsible for light damage to the blue cones. (Jpn Ophthalmol Soc 98:55-62, 1994)

Key words: Light damage, Monochromatic electroretinograms (ERGs), Blue cones, Red cones, Ultraviolet rays

I 緒 言

錐体のなかで、青錐体は光障害に対して最も脆弱であると考えられている¹⁾²⁾。無水晶体眼あるいは紫外線非吸収(non-UV)眼内レンズ挿入眼が強い日光に暴露される

と、毒性の高い近紫外線が網膜に直接達するため、青錐体の光障害を生じる可能性がある²⁾。著者ら³⁾はこれまでに、光障害を与えたニワトリ無水晶体眼の網膜の感度が青錐体では有意に低下し、赤錐体では低下しないことを報告した。また、光障害による青錐体の機能低下は、白

別刷請求先：020 岩手県盛岡市内丸19-1 岩手医科大学眼科学教室 町田 繁樹

(平成5年5月31日受付、平成5年8月4日改訂受理)

Reprint requests to: Shigeki Machida, M.D. Department of Ophthalmology, School of Medicine, Iwate Medical University, 19-1 Uchimaru, Morioka-shi, Iwate-ken 020, Japan

(Received May 31 1993 and accepted in revised form August 4, 1993)

内障術後に強い日光への暴露を契機に発現する赤視症の原因であろうと考えられている⁴⁾⁵⁾。

そこで今回、ニワトリの水晶体を摘出して無水晶体眼とした後に、太陽光に近似した分光特性を有するキセノン光を網膜に照射して急性網膜光障害を作製した。その前後で単色光刺激による網膜電図(ERG)を記録することによって、青錐体および赤錐体の光障害を定量化した。さらに、近紫外線が錐体の光障害に及ぼす影響ならびに錐体の光障害からの回復過程を検討し、赤視症の発現機序についても若干の考察を加えた。

II 対象および方法

1. 対象

日齢 120~180 日で体重 1.2~1.5 kg の成熟ニワトリ(白色レグホン種) 12 匹 12 眼を用いた。昼間は 40~100 lux の明所で、夜間は暗所で飼育し、光障害前に暗順応の負荷は行っていない。ニワトリを塩酸ケタミン(15 mg/kg) およびペントバルビタールナトリウム(30 mg/kg) の筋肉注射により全身麻酔し、ペントバルビタールナトリウム(5.0 mg/kg) を適時追加した。さらに、1% 硫酸アトロピン(0.1 ml) を筋肉注射して気道内分泌を抑制した。

2. 無水晶体眼の作成法

照射光のうち、近紫外線も網膜に達するように、対象の右眼を無水晶体眼とした。全身麻酔下で、非脱分極性筋弛緩剤である塩化ツボクラリン(0.09 mg) を前房内に注入して極大散瞳を得た⁶⁾。角膜の 10 時部から 26 G の注射針を前房内に刺入してヘパリン加生理食塩水で前房内を灌流しながら、角膜の 12 時部位から 26 G の注射針を水晶体内に刺入して前嚢と後嚢以外の水晶体内容および前嚢下の水晶体上皮を吸引した。その後、瞬膜を切除し、酢酸デキサメタゾン(0.3 ml) を眼瞼結膜下に注入して手術を終了した。手術後、トブラマイシンとリン酸ベタメタゾンナトリウムの点眼を 3 回/日、10 日間継続した。

3. 網膜光障害の作成装置(図 1) および作成法

太陽光に近似した分光特性を有する 500 W のキセノンアークランプ(XW-500, 三双製作所)を光源とし、その光を石英レンズで集光し、直径 5 mm の石英ファイバーオプティクスで眼前 5 mm に導いた。対象眼を非脱分極性筋弛緩剤である臭化バンクロニウム⁷⁾の点眼により極大散瞳⁷⁾し、近紫外線を吸収しない polymethylmethacrylate 製のコンタクトレンズ型の散光板を角膜上に置いて網膜全体が照射されるようにした。その時の照射光の強度を角膜面上でラジオメーター(470 D 型, 三双製作所)を用いて測定し、12 W/m²になるように石英中性フィルターおよび石英オプティカルウエッジフィルターで調光した。なお、同じラジオメーターで測定した直射日光(7月の正午)の強度は 97.7±5.5 W/m²で

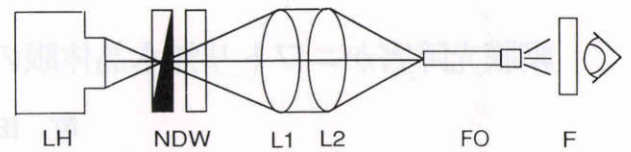


図 1 網膜光障害の作成装置。

LH: キセノンアークランプ, NDW: 石英中性フィルターと石英オプティカルウエッジの混合型フィルター, L: 石英レンズ, FO: 石英ファイバーオプティクス, F: 紫外線吸収フィルター。

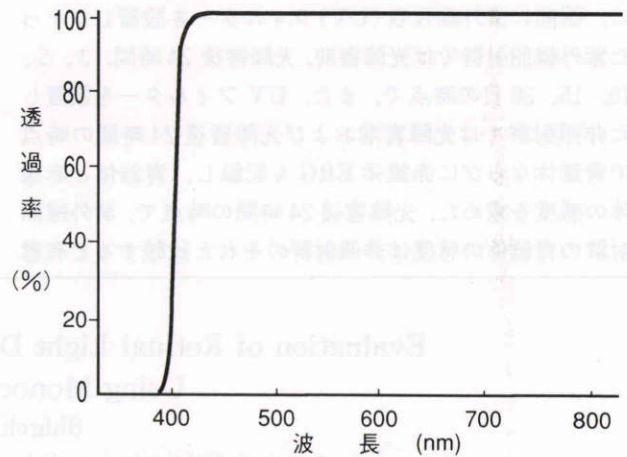


図 2 紫外線吸収フィルターの透過率曲線。

あった。

無水晶体眼作成後、2 週間以上経過した時点で網膜の光障害を作成した。網膜光障害は体温の影響を受ける⁸⁾ため、光照射中、直腸温の測定を 30 分毎に行い、保温器(PS-C, サクラ精機)を用いることにより体温を 40.8±0.3°C に保った。照射時間は、5 時間/日の照射を 2 日連続で行い、照射中は角膜上皮を乾燥から保護するために室温の生理食塩水を 15 分毎に点眼した。対象のうち 5 眼については、ファイバーオプティクスと散光板との間に紫外線吸収フィルター(UV フィルター)を設置し、他の 5 眼には UV フィルターを設置せずに光を照射した。UV フィルターを設置したものを紫外線非照射群、設置しなかったものを紫外線照射群とした。用いた UV フィルターの透過率曲線を図 2 に示す。

4. 単色光 ERG 記録のための刺激および順応装置(図 3)

光源として 500 W のキセノンアークランプ(XW-500, 三双製作所)を直流安定化電源(XD-25, 三双製作所)で点灯し、光路を刺激光および順応光を得るための 2 光路に分けた。刺激光の光路に中性フィルター、オプティカルウエッジフィルターおよびターレット型干渉フィルターを置いた。干渉フィルターは 400~460 nm(20 nm 間隔)の 4 枚と 500~660 nm(20 nm 間隔)の 9 枚であり、それらの半値幅は 7~9 nm、透過率は 30~34% である。単色光を電磁シャッターを経て、Y 字型ファイバーオプ

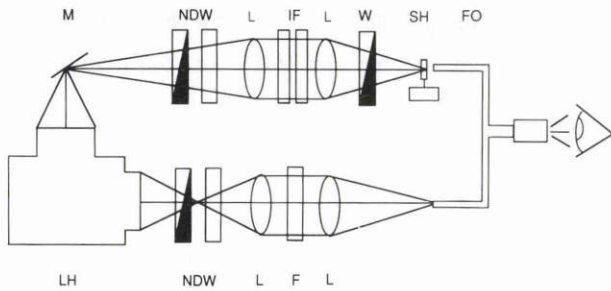


図3 刺激および順応装置。(上段が刺激光, 下段が順応光の光路)

LH: キセノンアークランプ, M: 表面鏡, NDW: 中性フィルターとオプティカルウエッジの混合型フィルター, L: レンズ, IF: 干渉フィルター, W: オプティカルウエッジフィルター, SH: 電磁シャッター, FO: Y字型ファイバーオプティクス, F: 黄色あるいは青色フィルター。

ティクス的一端を通して角膜面上1.5 cmの位置に導いた。このファイバーオプティクスの電磁シャッター側および角膜側の直径はそれぞれ0.5と1.5 cmである。各波長の単色光の強度をラジオメーター(470 D型, 三双製作所)を用いて測定したところ, 最強強度が角膜面上で41.5 mW/m²であった。この強度を0.0 log unit とした。

順応光の光路には中性フィルター, オプティカルウエッジフィルターおよび黄色フィルター(No. 3-69, Corning Glass Works)あるいは青色フィルター(No. 47 B, Wratten Gelatin Filter Kodak)を設置し, 得られた順応光をY字型ファイバーオプティクスの他端を通して角膜面に導いた。

5. ERGの記録法

ERGの記録は紫外線照射群では光障害前, 障害後24時間, 3, 5, 10, 15および30日の時点で, また, 紫外線非照射群では光障害前および障害後24時間の時点で行った。被検眼の極大散瞳を確認した後, ニワトリを卓上用シールドボックス内に固定した。乳白色プラスチックコンタクトレンズ型金電極(川畑式電極の改変型, 京都コンタクトレンズ)を関電極とし, 網膜全体が刺激および順応されるようにした。不関電極および接地電極としては銀・塩化銀の平皿電極をそれぞれ鶏冠と後頸部皮膚上に設置した。

黄色光順応下で400~460 nmの4色の刺激光を用いて青錐体のERG(青錐体ERG)を, また青色光順応下で500~660 nmの9色の刺激光を用いて赤錐体のERG(赤錐体ERG)を記録した。刺激光の強度は中性フィルターとオプティカルウエッジフィルターによって調整し, -1.2~-0.1 log unit (0.1 log unit 間隔)の12種類の強度を用いた。刺激時間および刺激頻度をそれぞれ10 msecおよび2 Hzとし, 得られた応答を交流増幅器(MEB-5210, 日本光電)を介して, low cut filter および

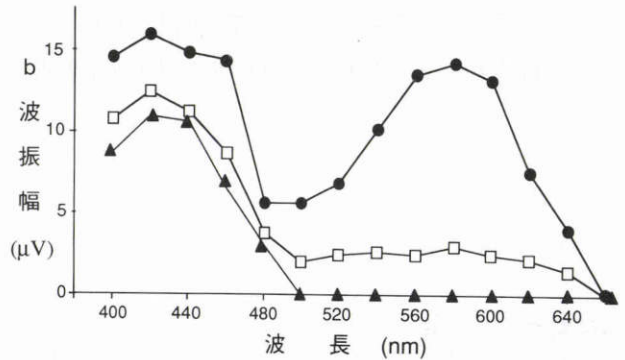


図4 黄色光順応下での網膜電図(b波振幅)のスペクトル応答曲線。

黒丸: 1 W/m², 四角: 2.5 W/m², 黒三角: 5 W/m²。

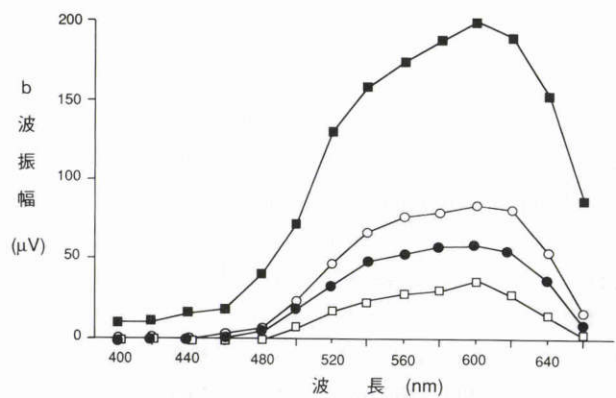


図5 青色光順応下での網膜電図(b波振幅)のスペクトル応答曲線。

黒四角: 暗順応, 丸: 0.5 W/m², 黒丸: 1 W/m², 四角: 2 W/m²。

high cut filter をそれぞれ5 Hz と 500 Hz に設定して加算記録した。加算回数は青錐体ERGの記録には256回, 赤錐体ERGの記録には64回とした。

III 結果

1. 青錐体および赤錐体ERGの単離記録

ニワトリ無水晶体眼2眼を対象として用い, 青錐体および赤錐体からの応答を単離して記録するための適切な順応光の強度を求めた。

青錐体応答の単離のための黄色光順応については, 1, 2.5あるいは5 W/m²の黄色光順応下で, 400~660 nm (20 nm 間隔)の14色(強度:-0.3 log unit)の刺激光を用いてERGを記録し, 得られたb波振幅からスペクトル応答曲線を求めた(図4)。1および2.5 W/m²の順応光強度では, 420 nm と 580 nm に振幅のピークを形成したが, 5 W/m²の順応光強度では420 nmのみにピークを有する単峰性のスペクトル応答曲線が得られた。したがって, 緑および赤錐体の応答は5 W/m²の黄色光順応下で抑制されると考えられ, 以下の青錐体ERGの記録には5 W/m²の強度による黄色光順応を用いることとし

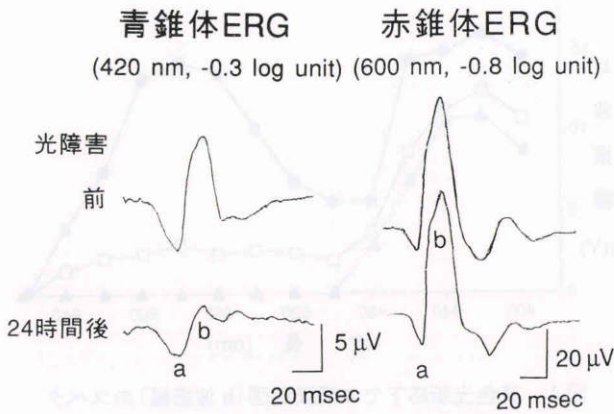


図6 紫外線照射群の光障害前と光障害後24時間の青錐体および赤錐体網膜電図(ERG)波形の1例。光障害後に青錐体のERG・b波の振幅が低下している。

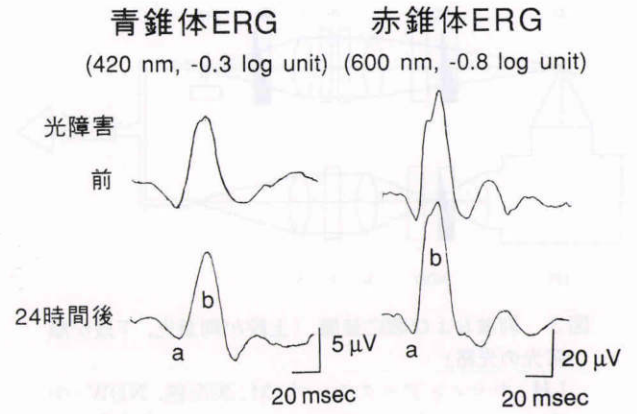


図7 紫外線非照射群の光障害前と光障害後24時間の青錐体および赤錐体網膜電図(ERG)波形の1例。青錐体の光障害後のERG・b波の振幅の低下は軽微である。

た。

赤錐体応答の単離のための青色光順応については、暗順応および0.5, 1ならびに2 W/m²の青色光順応下で、400~660 nm (20 nm 間隔)の14色(強度:-0.8 log unit)の刺激光を用いてERGを記録し、得られたb波振幅からスペクトル応答曲線を求めた(図5)。すべての順応条件下で、スペクトル応答曲線のピークは600 nmにあり、順応強度の変化に伴いピークが移動することはなかった。また、400~460 nmの刺激光で発現する青錐体の応答は1 W/m²の青色光順応下で抑制されていたので、以下の赤錐体ERG記録のための青色光順応の強度を1 W/m²とした。

2. 光障害前および障害後24時間の青錐体および赤錐体ERG波形

図6に紫外線照射群、図7に紫外線非照射群の光障害前と障害後24時間の青錐体および赤錐体ERGの波形の1例を示した。この場合の青錐体および赤錐体ERGの刺激光の波長と強度は、それぞれ420 nmと-0.3 log unitおよび600 nmと-0.8 log unitである。紫外線照射群(図6)において、青錐体ERG・b波の振幅は光障害前および障害後24時間でそれぞれ12.1 μVと4.9 μVであり、障害後に低下していた。また、赤錐体ERG・b波の振幅は光障害前および障害後24時間でそれぞれ63.2 μVと64.8 μVで、光障害後でも変化しなかった。一方、紫外線非照射群(図7)では、青錐体ERG・b波振幅は光障害前および障害後24時間でそれぞれ10.0 μVと9.4 μVであり、光障害後にわずかに低下した。また、赤錐体ERG・b波振幅は光障害前および障害後24時間でそれぞれ56.2 μVと57.0 μVであり、光障害後でも変化しなかった。

3. 光障害前および障害後24時間のb波振幅のスペクトル感度曲線(図8~11)

紫外線照射群および紫外線非照射群の各5眼につい

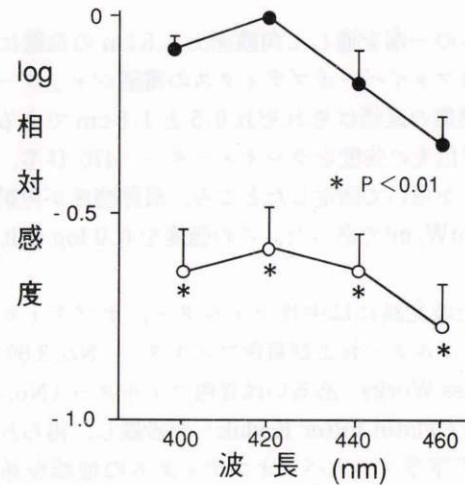


図8 紫外線照射群の光障害前と光障害後24時間における青錐体網膜電図(b波振幅)のスペクトル感度曲線。

黒丸:光障害前,丸:光障害後24時間,バーは標準偏差(図9,10,11についても同じ)。青錐体の感度は光障害後に有意(p<0.01)に低下している。

て、光障害前と障害後24時間の青錐体および赤錐体のERG・b波振幅の波長別のlog相対感度を5眼の平均値±標準偏差によって求め、図にプロットしてスペクトル感度曲線を描いた。この際の基準電位を青錐体ERGでは5 μV、赤錐体ERGでは50 μVとし、光障害前の420 nmと600 nmにおける感度を0.0 logとした。さらに、各波長における光障害前と障害後24時間の感度間での統計学的有意差をt検定を用いて求めた。

青錐体の感度は、紫外線照射群(図8)において、光障害前では400, 420, 440および460 nmの各波長でそれぞれ-0.08±0.03, 0, -0.15±0.08および-0.33±0.08 log相対感度であったが、光障害後24時間では低下し、それぞれ-0.63±0.10, -0.58±0.10, -0.63±0.09および-0.76±0.10 log相対感度となった。この低下は障害前に比較していずれも有意(p<0.01)であった。

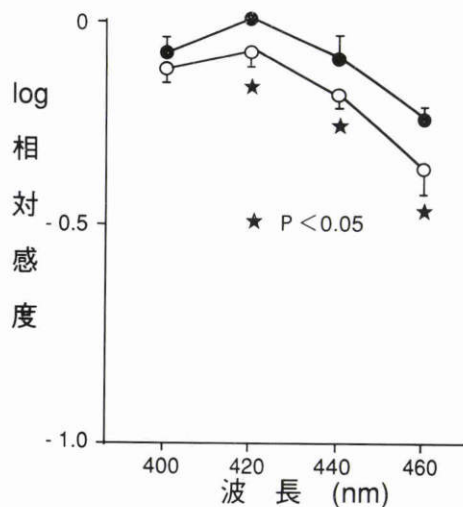


図 9 紫外線非照射群の光障害前と光障害後 24 時間における青錐体網膜電図 (b 波振幅) のスペクトル感度曲線。

青錐体の感度は光障害後に 400 nm を除いて有意 ($p < 0.05$) に低下している。

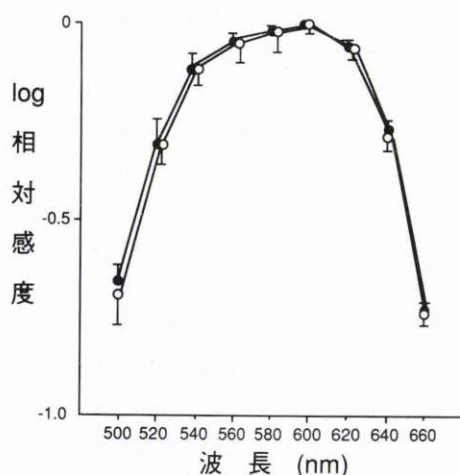


図 10 紫外線照射群の光障害前と光障害後 24 時間における赤錐体網膜電図 (b 波振幅) のスペクトル感度曲線。

赤錐体の感度は光障害前後で有意差はない。

一方、紫外線非照射群の青錐体の感度 (図 9) は、光障害前では 400, 420, 440 および 460 nm の各波長でそれぞれ -0.08 ± 0.03 , 0 , -0.09 ± 0.05 , -0.23 ± 0.02 log 相対感度であったが、障害後 24 時間では軽度低下して -0.12 ± 0.03 , -0.08 ± 0.03 , -0.18 ± 0.03 および -0.35 ± 0.06 log 相対感度となった。この低下は障害前に比較して 400 nm を除いて有意 ($p < 0.05$) であった。しかし、この紫外線非照射群の低下を照射群と比較すると紫外線照射群の方が有意 ($p < 0.01$) に低い値であった。

赤錐体の感度は、紫外線照射群 (図 10) および非照射群 (図 11) において、光障害前と障害後 24 時間との間で有意差を認めなかった。

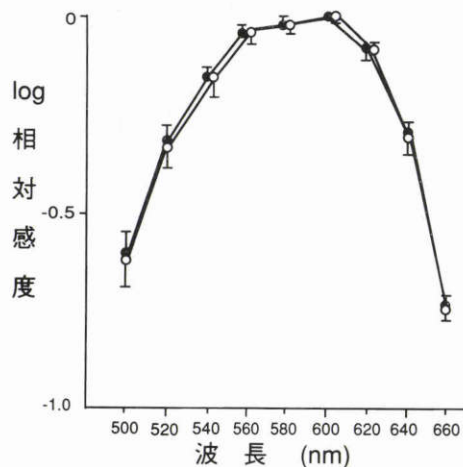


図 11 紫外線非照射群の光障害前と光障害後 24 時間における赤錐体網膜電図 (b 波振幅) のスペクトル感度曲線。

赤錐体の感度は光障害前後で有意差はない。

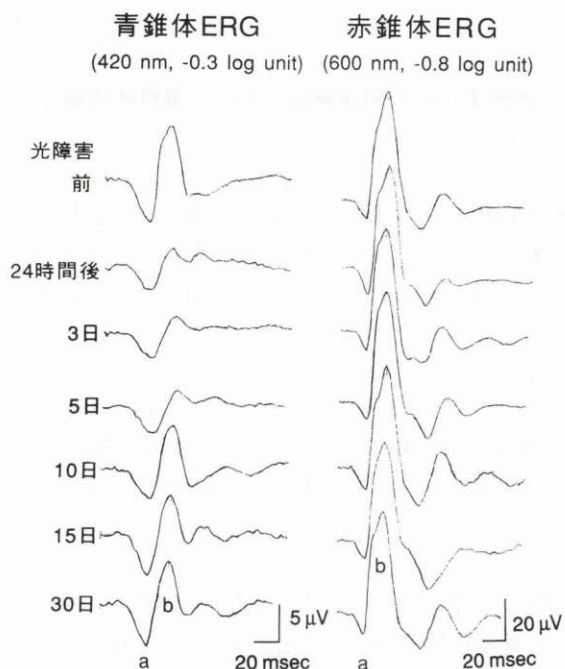


図 12 光障害からの回復過程における青錐体および赤錐体網膜電図 (ERG) の波形変化。

光障害後、青錐体の ERG・a および b 波振幅は著明に低下するが、時間経過に伴い回復する。赤錐体 ERG の波形と振幅は経過中変化しない。

4. 光障害からの回復過程における ERG 波形変化

上記の紫外線照射群の 5 眼の光障害前、障害後 24 時間、3、5、10、15 および 30 日における青錐体および赤錐体の ERG を記録し、図 12 にその波形の 1 例を示した。この場合の青錐体および赤錐体 ERG の刺激光の波長と強度は、それぞれ、420 nm と -0.3 log unit および 600 nm と -0.8 log unit である。障害後に低下した青錐体 ERG・a 波および b 波の振幅は 5 日目まではほとんど変化がなかったが、5 ~ 15 日目にかけて増大し、回復傾

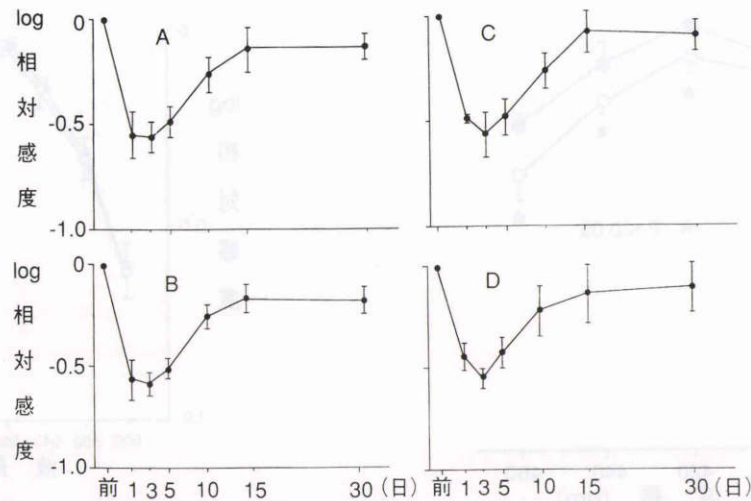


図 13 光障害からの回復過程における刺激波長別の青錐体網膜電図 (ERG) の感度の変化。

A: 400 nm, B: 420 nm, C: 440 nm, D: 460 nm. 青錐体の感度は、光障害後 3 日目に最小値となり、5~15 日にかけて回復傾向を示す。

向を示した。一方、赤錐体 ERG においては観察期間中に波形の変化は認められなかった。

5. 光障害からの回復過程における青錐体の感度の変化 (図 13)

上記の紫外線照射群の光障害前および障害後各時点の青錐体 ERG・b 波振幅 (基準電位: $5 \mu V$) の log 相対感度を刺激光の波長 (400~460 nm で 20 nm 間隔の 4 色) 別に求め、光障害前の感度を 0.0 log unit とし、障害後の感度をそれとの差で図 13 に表した (5 眼の平均値 \pm 標準偏差)。いずれの色光による刺激でも、障害後の青錐体の感度は、3 日目に最小 (-0.61 ないし -0.56 log 相対感度) となり、5~15 日目にかけて回復傾向を示し、30 日目で -0.19 ないし -0.08 log 相対感度まで上昇した。

IV 考 按

網膜の光障害については、従来から形態学、電気生理学、心理物理学あるいは生化学などの多方面から研究がなされている。電気生理学的見地からの報告の多くは、杆体優位網膜を有するラット⁹⁾¹⁰⁾を用いて、暗順応下で記録される ERG・a および b 波を検討の対象としており、錐体 ERG については検討がなされていない。今回は、光障害が錐体に及ぼす影響を調べるため、錐体優位の網膜を有するニワトリを対象とした。

ニワトリの錐体としては、その最大吸光度特性が $417^{11)}$ 、 $449^{11)}$ 、 $497^{12)}$ および $569 \text{ nm}^{12)}$ にある 4 種類が報告されている。黄色光で順応することにより中波長と長波長光に感受性のある錐体はその色素が褪色して感受性が低下するため、短波長光に感受性のある錐体の電気応答を単離することができる。5 W/m² の黄色光順応下で記録された ERG・b 波の振幅および感度の波長特性は 420 nm にピークがあった (図 4, 8, 9)。このことから、今回の黄色光順応下で記録した ERG は主に 417 nm に

最大吸光度特性のある錐体由来すると考えられる。一方、青色光順応下では短波長および中波長光に感受性のある錐体の色素が褪色して、569 nm に最大吸光度特性をもつ錐体の応答を単離できたと考えられる。

網膜光障害の作成の際に用いたキセノン光は太陽光に近似した分光特性を有し、紫外線、可視光線および赤外線を含んでいる¹³⁾。ガラスは紫外線の大部分を吸収するので、今回の網膜光障害の作成に用いた光学系にはすべて石英製のものを用いて、近紫外線が対象眼に達するようにした。網膜が日常環境下で被る光障害は地面、水面あるいは雪面などからの反射する散乱光によると考えられている¹⁴⁾。そこで今回は、網膜光障害を作成する際に、眼内に入る光を散乱させて網膜全体が照射されるように角膜面上にコンタクトレンズ型の散光板を設置した。

網膜光障害の主病変部は、視細胞および網膜色素上皮層である¹⁰⁾。Lanum¹⁵⁾は、視細胞の核の変化が軽度であれば網膜光障害は可逆性であると述べている。また、Noell¹⁰⁾は、ラットの網膜光障害は網膜色素上皮層が障害されれば不可逆性となるが、網膜色素上皮層が正常に保たれば網膜は光障害から回復するとした。このように障害が軽度で視細胞の核と色素上皮層が保持されていれば網膜は光障害から回復する。今回の青錐体 ERG の感度が回復傾向を示したことから、今回の程度の光障害では青錐体の核と網膜色素上皮層の障害は軽度であったと考えられる。

Ham ら¹⁶⁾は、325 および 350 nm の近紫外線は 441 nm の青色光よりも 6 倍の網膜毒性があるとしている。この有害性の高い近紫外線は水晶体によって吸収されるため、有水晶体眼では網膜まで達することはない。しかし、白内障手術による無水晶体眼あるいは non-UV 眼内レンズ挿入眼では、近紫外線が網膜に直接達するため、近紫外線による網膜の光障害が危惧される。白内障手術後

の囊胞様黄斑浮腫の発症率¹⁷⁾や血液—網膜関門の破綻¹⁸⁾が、UV レンズ挿入眼では non-UV レンズ挿入眼に比較して有意に少ないとされている。これらの研究結果は、慢性紫外線暴露に対する UV レンズの保護効果を示すものである。光障害後 24 時間における紫外線非照射群の青錐体の感度低下は、紫外線照射群に比較して有意に軽度であった(図 8, 9)。このことから、UV フィルターは急性の網膜光障害の予防にも有用と考えられる。

Harwerth ら¹⁾は、ある一定のエネルギーを有する青あるいは緑色光をサル眼に照射して網膜光障害を作成し、その前後で青、緑および赤錐体の感度を心理物理的方法で求めた。その結果、緑色光によって生じた緑錐体あるいは赤錐体の光障害は可逆性があったが、青色光によって生じた青錐体の光障害は不可逆性であった。このことから、青錐体は他の錐体に比較して光障害に対して脆弱であると述べている。また、Werner ら²⁾は、片眼に non-UV レンズ、他眼に UV レンズを挿入した症例を対象にして、UV レンズ挿入後約 2 年ならびに non-UV レンズ挿入後 5 年経過した時点で心理物理的方法を用いて青、緑および赤錐体のそれぞれの感度を求めた。その結果、non-UV レンズ挿入眼の青錐体の感度のみが UV レンズ挿入眼に比較して有意に低下していた。このことから、慢性の紫外線暴露が光障害に脆弱である青錐体を障害していると述べている。図 8~11 に示したように、光障害後 24 時間の感度は、青錐体では有意に低下し、赤錐体では低下しなかった。この結果から、ニワトリ無水晶体眼の青錐体は赤錐体よりも急性光障害を受けやすいことが確認された。光障害に対する青錐体の脆弱性の理由として、青錐体色素が他の錐体色素よりも近紫外線を多く吸収することが考えられる。また、青錐体は中心性網脈絡症や網膜剝離などの網脈絡膜疾患において他の錐体よりも障害を受けやすい¹⁹⁾²⁰⁾。このことから、青錐体は様々な障害および疾患に対して脆弱であると考えられる。

白内障術後の併発症のひとつに赤視症がある。赤視症の多くは強い日光への暴露を契機として発現することから、日光による網膜障害の赤視症発現への関与が考えられる。Laurence ら⁴⁾と Werner ら⁵⁾は、無水晶体眼あるいは non-UV レンズ挿入眼が強い日光に暴露されると、網膜毒性の高い近紫外線が網膜に直接達することにより、青錐体の光障害が生じ、赤錐体の相対的な機能亢進状態となって赤視症が発現すると推察している。光障害後 24 時間の青錐体感度の低下が、紫外線非照射群では照射群に比較して軽微であるため、紫外線吸収フィルターは青錐体を光障害から保護し、赤視症の発現を予防すると考えられる。赤視症を繰り返す症例に紫外線吸収フィルターを装用させると赤視症の再発を予防できるとの報告²¹⁾および UV レンズ挿入眼では赤視症が発現しないとする報告⁴⁾⁵⁾は、今回の研究と同様に紫外線が赤視症の発現に関与することを示唆している。

白内障手術時の UV 眼内レンズの挿入あるいは術後の UV フィルターの装用が、術後の青錐体の光障害の予防に有用であると考えられた。

稿を終えるにあたり、御指導と御校閲を賜りました田澤豊教授に深謝いたします。

文 献

- 1) Harwerth RS, Sperling HG: Effects of intense visible radiation on the increment-threshold spectral sensitivity of the rhesus monkey eye. *Vision Res* 15: 1193—1204, 1975.
- 2) Werner JS, Steel VG, Pfoff DS: Loss of human photoreceptor sensitivity associated with chronic exposure to ultraviolet radiation. *Ophthalmology* 96: 1552—1558, 1989.
- 3) 町田繁樹, 福田 敦, 森 敏郎, 高橋洋司, 田澤 豊: 青錐体の光障害に対する紫外線吸収フィルターの保護効果. *眼紀* 44: 566—572, 1993.
- 4) Lawrence HM, Reynolds TR: Erythrospiral phototoxicity associated with non-ultraviolet-filtering intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 15: 569—572, 1989.
- 5) Werner JS, Spillmann L: UV-absorbing intraocular lenses: Safety, efficacy, and consequences for the cataract patient. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 227: 248—256, 1989.
- 6) Kern TJ: Lens extraction by phacoemulsification in two raptors. *J Am Vet Med Assoc* 185: 1403—1406, 1984.
- 7) 福田 敦: ニワトリ眼の単色光 ERG・c 波の検討—杆体性 c 波と錐体性 c 波の分離について—. *日眼会誌* 93: 599—609, 1989.
- 8) de Lint PJ, van Norren D, Toebosch AMW: Effect of body temperature on threshold for retinal light damage. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 33: 2382—2387, 1992.
- 9) Kuwabara T: Retinal recovery from exposure to light. *Am J Ophthalmol* 70: 187—198, 1970.
- 10) Noell WK: There are different kinds of retinal light damage in the rat. In: Williams TO, et al (Eds): *The Effects of Constant Light on Visual Processes*. Plenum Press, New York, 3—28, 1980.
- 11) Fager LY, Fager RS: Chicken blue and chicken violet, short wavelength sensitive visual pigments. *Vision Res* 21: 581—586, 1981.
- 12) Bowmaker JK, Knowles A: The visual pigments and oil droplets of the chicken retina. *Vision Res* 17: 755—764, 1977.
- 13) 川上元郎: 標準照明装置. 日本色彩学会: 色彩科学ハンドブック. 東京大学出版会, 東京, 71—81, 1985.
- 14) Weiter J: Phototoxic changes in the retina. In: Miller D (Ed): *Clinical Light Damage to the Eye*. Springer-Verlag, New York, 79—125, 1987.
- 15) Lanum J: The damaging effects of light on the retina. Empirical findings, theoretical and practical implications. *Surv Ophthalmol* 22: 221—249, 1978.
- 16) Ham WT Jr, Mueller HA, Ruffolo JJ Jr, Guerry

D III, Guerry RK: Action spectrum for retinal injury from near-ultraviolet radiation in the aphakic monkey. *Am J Ophthalmol* 93: 299-306, 1982.

17) **Kraff MC, Sanders DR, Jampol LM, Lieberman HL:** Effect of an ultravioletfiltering intraocular lens on cystoid macular edema. *Ophthalmology* 92: 366-369, 1985.

18) 前久保久美子, 萱澤文男, 三宅謙作: 紫外線の偽水晶体眼血液網膜柵に及ぼす慢性効果. *IOL* 1: 99-102, 1987.

19) 阿部春樹, 守田 潔: Maxwell 視により分離される blue cone の眼底疾患における選択的障害と色光視野. *日眼会誌* 84: 1591-1602, 1980.

20) 横山 実: 眼病と青の感覚. *臨眼* 33: 111-125, 1979.

21) **Jordan DR, Valberg JD:** Dyschromatopsia following cataract surgery. *Can J Ophthalmol* 21: 140-143, 1986.