

# 先天性赤緑色覚異常の電気生理学的診断法について の研究

## I. 白色光刺激における網膜電図off応答の態度

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 仲里, 博彦 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2297/7989">http://hdl.handle.net/2297/7989</a>

# 先天性赤緑色覚異常の電気生理学的診断法についての研究

## I. 白色光刺激における網膜電図 off 応答の態度

金沢大学医学部眼科学講座 (主任: 米村大藏教授)

仲 里 博 彦

(昭和62年11月12日受付)

網膜電図 (electroretinogram, ERG) の off 応答急峻部を指標として錐体レベルにおける先天性赤緑色覚異常の他覚的検査法を確立するために、先ず網膜動脈閉塞症および視神経萎縮症において off 応答急峻部の臨床応用に即する至適刺激条件を求め、次いでこの至適刺激条件に準拠して色覚正常者群、第1色覚異常 (protan) 者群および第2色覚異常 (deutan) 者群の3群について ERG の off 応答急峻部を記録した。刺激光として白色光を用い、刺激頻度を明・暗等間隔の 4 Hz とした。ERG の off 応答急峻部振幅と晚期視細胞電位 (late receptor potential, LRP) 振幅との関係を求めるために、LRP の分離観察に適する網膜動脈閉塞症において患眼と他眼 (健眼) との間で off 応答急峻部振幅を比較した結果、試みたすべての刺激光強度 (角膜面  $1.0 \times 10^2$  lux から  $5.0 \times 10^3$  lux まで) で患眼と健眼との間の相違は高々 20% であり、したがって 4 Hz の刺激条件における ERG の off 応答急峻部は錐体電位を主に表現すると言える。広範な刺激光強度領域での ERG 波形観察に適する視神経萎縮症において、off 応答急峻部振幅・刺激光強度関係についての dynamic range は角膜面  $1.0 \times 10^2$  lux から  $2.5 \times 10^4$  lux までの  $2.5 \log$  の範囲におよんだ。色覚正常者、第1色覚異常者および第2色覚異常者で耐え得る限度の刺激光強度 (角膜面  $5.0 \times 10^3$  lux) は上記の dynamic range の中にあり、したがって  $5.0 \times 10^3$  lux 以下の刺激光で誘起された off 応答急峻部においては強刺激による振幅飽和の影響は生じていないと言える。白色光刺激で誘起された off 応答急峻部振幅の平均値には、試みたすべての刺激光強度 (角膜面  $1.0 \times 10^2$  lux から  $5.0 \times 10^3$  lux まで) において第1色覚異常者群と色覚正常者群との間および第2色覚異常者群と色覚正常者群との間で推計学的有意差は検出されなかった。白色光刺激による限り、off 応答急峻部を指標として色覚正常者、第1色覚異常者および第2色覚異常者の3者を鑑別出来ないことが明らかとなり、したがって先天性赤緑色覚異常の他覚的診断法を off 応答急峻部を指標として追求しようとする限りにおいては刺激光は色光でなければならないことが示唆された。

---

**Key words** red-green color deficiency, electroretinogram, rapid off-response, cone late receptor potential, white stimulus light

---

先天性赤緑色覚異常に関する臨床検査は、仮性同色表の判読の他に色相パネルの配列、ランタンテスト、アノマロスコープおよび分光視感度測定 (フリッカー法) など数多くある。しかしこれら検査法はすべて被検者の自覚的応答に俟つものであるため、幼若者では検査不能であったり、被検者が検査に応じないなどの場合に実施不能となる限界をもつ。故に、色覚の検査および研究に携わる者の間に被検者の返答を必要とし

ない他覚的検査法の確立を求める強い要望があった。

Brownら<sup>1)2)</sup>は、動物 (サル) 眼の網膜電図 (electroretinogram, ERG) の研究において、錐体の晚期視細胞電位 (late receptor potential, LRP) と杆体の LRP との波形上の相違を off 応答に見出し、サル LRP の off 応答は錐体で急峻 (rapid)、杆体で緩徐 (slow) であることを明らかにした。米村<sup>3)</sup>、Yonemuraら<sup>4)5)</sup>および田辺<sup>6)7)</sup>は、人眼 in vitro ERG の系統的研

---

Abbreviations: CIE, Commission Internationale de l'Eclairage; ERG, electroretinogram; LRP, late receptor potential; V-I curve, amplitude-intensity curve.

究において, sodium aspartate 処理によって分離した P III 成分<sup>9)</sup>の off 応答に rapid decay (急峻部) と slow decay (緩徐部) の存在を指摘し, rapid decay は錐体電位を, slow decay は桿体電位を代表することを明らかにした。さらに米村<sup>3)</sup>, Yonemura ら<sup>4)</sup>および河崎ら<sup>10)</sup>は, ヒト生体眼の ERG において in vitro ERG の rapid decay に対応するところの off 応答急峻部 (rapid off-response) を検出し, これも主として錐体電位を反映することを報告した。以上の経緯により, ERG の off 応答急峻部を指標とすることによって錐体のレベルにおける他覚的臨床検査への道がここに拓かれたのである。

本研究は ERG の off 応答急峻部を指標として錐体レベルにおける先天性赤緑色覚異常の他覚的検査法の確立を意図するものである。本編 (第 I 編) では, 先ず網膜動脈閉塞症および視神経萎縮症において白色光刺激による ERG の off 応答急峻部の態度を調べることによって off 応答急峻部の臨床応用の至適刺激条件を求めた。次いでこの至適刺激条件に準拠して, 色覚正常者群, 第 1 色覚異常者群および第 2 色覚異常者群の 3 群について白色光刺激による ERG の off 応答急峻部を観察した。

## 対象および方法

### I. 対 象

#### 1. 網膜動脈閉塞症例

網膜動脈は網膜の内層および中層を栄養しているから, 網膜動脈閉塞症の患眼では ERG の postsynaptic な電位成分が減弱ないし消失していると考えられる。したがって本症は LRP の分離観察に適する。ERG の off 応答急峻部振幅と LRP 振幅との関係を検討する目的で, 片眼性網膜動脈閉塞症 2 例について白色光刺激による患眼および他眼 (健眼) の ERG を記録した。第 1 症例は右眼 (患眼) に網膜中心動脈本幹の閉塞による網膜中心動脈閉塞症を, 左眼 (健眼) に網膜動脈硬化症 (Sheie H<sub>1</sub>, S<sub>1</sub>) を認めた 78 歳の男性である。右眼および左眼の視力はそれぞれ眼前手動弁 (矯正不能) および 1.0 (矯正不能) であった。両眼に軽度の老人性白内障を呈する以外, 屈折異常など他の眼科的異常所見は認められなかった。第 2 症例は左眼 (患眼) に網膜中心動脈分枝 (下耳側動脈) の閉塞による網膜動脈分枝閉塞症を認めた 43 歳の男性である。左眼および右眼の視力はそれぞれ 0.02 (矯正不能) および 0.2 (1.2×sph-1.25D ⊂ cyl-0.5D Ax80°) であった。中間透光体の混濁など他の眼科的異常所見は認められなかった。上記 2 症例とも, 健眼 (第 1 症例では左眼, 第 2 症例では右眼) による色覚一般検査では異常は検

出されなかった。

#### 2. 視神経萎縮症例

視神経萎縮症では強刺激による羞明感が正常眼に比べて軽微であることが知られており, したがって本症患眼は強い刺激光を含む広範な刺激光強度範囲において ERG 波形を観察するのに好都合である。off 応答急峻部振幅・刺激光強度関係についての dynamic range を検討する目的で, 白色光刺激による視神経萎縮症の ERG を記録した。症例は, 慢性動脈閉塞疾患のひとつであるところの Buerger 病 (Thromboangiitis obliterans) を有し, 片眼 (左眼) に視神経萎縮を来した 40 歳の男性である。被検眼 (左眼) には視神経乳頭の蒼白化 (視神経萎縮所見) と 4D の近視が認められたが, 中間透光体の混濁や網膜脈絡膜萎縮などの他の眼科的異常所見はみられなかった。左眼および右眼の視力はそれぞれ光覚弁 (矯正不能) および 0.1 (1.2×sph-6D) であった。右眼による色覚一般検査では異常は検出されなかった。

#### 3. 色覚正常者群

10 歳から 29 歳までの 20 例の色覚正常の男性 (平均年齢 20.3 歳) について白色光刺激による ERG を各例片眼で記録した。被検者 20 例はすべて, 2.5D 未満の屈折異常を除いては他の眼科的および全身的異常を有しなかった。女性に関しては, 色覚一般検査の結果がたとえ正常であったとしても色覚異常の保因者であることがある。したがって本研究における対象を男性に限った。

#### 4. 第 1 色覚異常 (protan) 者群

15 歳から 22 歳までの 13 例の protan の男性 (平均年齢 16.8 歳) について白色光刺激による ERG を各例片眼で記録した。アノマロスコピーによれば 2 色型第 1 色覚異常者 (protanope) が 3 例 (15, 17, 18 歳) で, 異常 3 色型第 1 色覚異常者 (protanomalous) が 10 例 (平均年齢 16.8 歳) であった。被検者 13 例はすべて, 色覚異常ならびに 2.5D 未満の屈折異常を除いては他の眼科的および全身的異常を有しなかった。

#### 5. 第 2 色覚異常 (deutan) 者群

12 歳から 22 歳までの 19 例の deutan の男性 (平均年齢 16.2 歳) について白色光刺激による ERG を各例片眼で記録した。アノマロスコピーによれば 2 色型第 2 色覚異常者 (deuteranope) が 1 例 (17 歳) で, 異常 3 色型第 2 色覚異常者 (deuteranomalous) が 18 例 (平均年齢 16.2 歳) であった。被検者 19 例はすべて, 色覚異常ならびに 2.5D 未満の屈折異常を除いては他の眼科的および全身的異常を有しなかった。

色覚正常者群, 第 1 色覚異常者群および第 2 色覚異常者群では, 矯正視力は全例 1.0 以上であった。

## II. 方 法

## 1. 色覚検査法

ISHIHARA'S Tests for Colour Blindness (38 Plates Edition, 金原出版, 1984), 東京医科大学式色覚検査表 (TMC表, 村上色彩技術研究所, 昭和58年度版), 先天異常用標準色覚検査表 (SPP, 医学書院, 1978), 大熊新色覚異常検査表 (半田屋, 1980), AO H-R-R pseudoisochromatic plates (AO H-R-R表, 第2版, American Optical社) の各仮性同色表, Farnsworth Dichotomous Test Panel D-15 (The Psychological Corporation), 市川式ランタン (高田器械), Nagel アノマロスコープ I 型 (Schmidt u. Haensch社) あるいは Neitz アノマロスコープ OT (Neitz) を色覚検査に用いた。検査は午前10時から午後3時までの間に直射日光が入らない昼光色蛍光灯ランプが点灯した明室 (約200 lux) で行われた。仮性同色表は, TMC表は約45 cmの距離で, 他の検査表は約75 cmの距離で視線と直角をなすように用いられた。市川式ランタン・テストは指標 (ランタン) から5 mの距離で行われた。色覚異常の診断にはアノマロスコープによる所見を主とし, その他の色覚検査成績を併せ用いた。

## 2. ERG 用光刺激装置

刺激光源 (1 kW xenon arc lamp, 色温度 6500°K) は直流安定化電源 (xenon-arc 45, Xebex) により点灯された。光路には吸熱 filter (lamp house 内に設置), 中性 filter, 中性 wedge (optical wedge), 干渉 filter (400 nm から 700 nm まで 10 nm 間隔に 31 枚, 半値幅 8 nm~12 nm, 透過率 28%~38%) および集光レンズが組み込まれた (三双製作所)。ただし, 第 I 編では白色光を刺激光として用いたので干渉 filter を使用していない。刺激光は直径 6 mm の硝子線維束

を介し被検眼に照射された。電磁シャッターを硝子線維束の入光端に設置して矩形波刺激光を得た (図1)。本装置で得られた矩形波刺激光の rise time (シャッターが90%開くまでに要する時間) と decay time (シャッターが90%閉じるまでに要する時間) は, 真空光電管 (5653, RCA) による測定の結果, いずれも約 2 msec であった。白色刺激光の測光に Sanso Lux Meter, Model H-100 (受光器は角補正拡散板および視感度補正フィルター付き光電子増倍管, 三双製作所) を使用し, 最大刺激光強度 (零対数目盛) を被検眼角膜面で  $1.0 \times 10^5$  lux に設定した。

## 3. ERG 記録方法

被検眼瞳孔は 0.5% トロピカミド, 0.5% 塩酸フェニレプリン (ミドリリン P®, 参天製薬) の点眼により直径約 8 mm に散大された。0.4% 塩酸オキシプロカイン (ペノキシール®, 参天製薬) による点眼麻酔後, 瞬目防止のために開眼器 (国際コンタクトレンズ) にて開眼し, 角膜保護のために 2% メチルセルロース液を開眼器内に満たした。次いで関電極 (金環埋込式無色透明コンタクトレンズ電極, 京都コンタクトレンズ) を被検眼に装着し, 不関電極 (銀塩化銀皮膚電極 NT600U, 日本光電) を被検眼と同側の耳朶に, 接地電極 (銀塩化銀皮膚電極 NT600U, 日本光電) を前頭部中央においた。ERG の記録中, 被検眼角膜面と硝子線維束の刺激光射出端との距離が常に 1 cm に保たれるように, 被検者の頭部の位置を検者の一人が必ず監視した。刺激光は被検眼角膜全面を照射した。直径 8 mm に散瞳された正視被検眼において, 本装置による光刺激の直後, Goldmann 視野計による視野検査で視角が約 60 度におよぶ一過性暗点が自覚された。刺激頻度を 4 Hz に設定し, 明・暗等間隔 (明・暗各 125 msec) とした。明順応のための持続的背景光を用いな

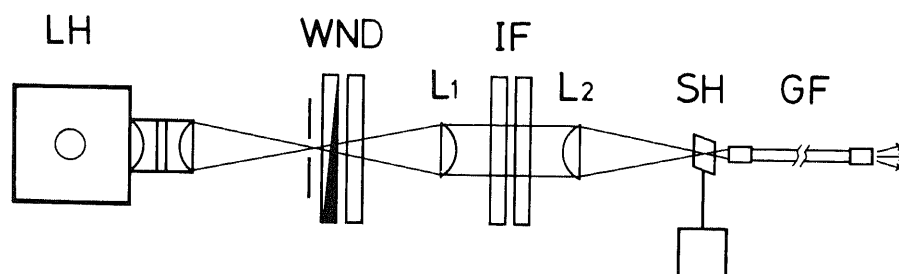


Fig. 1. Diagram of the light source. The letters indicate the following. LH, lamp house (1 kW xenon light source, 6500°K); WND, optical wedge and neutral density filters; IF, interference filters (400 nm~700nm at 10 nm intervals; half band width, 8 nm~12 nm); L1 and L2, lenses; SH, moving coil type electromagnetic shutter having a 2 msec rising and falling time; GF, optical glass fiber (6 mm in diameter). Two lenses and a heat-absorbing filter were installed in the lamp house.

かった。ERG は時定数 2 秒で増幅 (網膜電位測定装置 MES-3102, 日本光電) (1 kHz で 3 db 減衰) された後, データレコーダー (NFR-3515, Sony) (周波数特性: DC~2.5 kHz) を用いて磁気テープに記録され, データ処理装置 (ATAC-350, 日本光電) によって 40 ないし 100 回の加算平均波形として描写され計測に供された。時定数 2 秒で増幅記録した ERG の off 応答急峻部と直流増幅で記録したそれとの間には, 本研究の目的に支障をきたすほどの差異は検出されなかった。成績に示す ERG 波形では, 下向きの振れは眼球前極側 (角膜側) 陰性方向を, 上向きの振れは眼球前極側 (角膜側) 陽性方向をあらわす。

#### 4. 推計学的検定法

群間の平均値の差の検定には Student's t-test を用い,  $p < 0.05$  の場合を有意差ありと判定した。

### 成 績

#### I. 4 Hz 反復刺激による ERG 波形

図 2 に, 本研究で採用した刺激頻度 4 Hz の条件における白色光刺激によって得られた色覚正常男性 (20 歳) の ERG (80 回加算平均波形) を示す。on 応答と

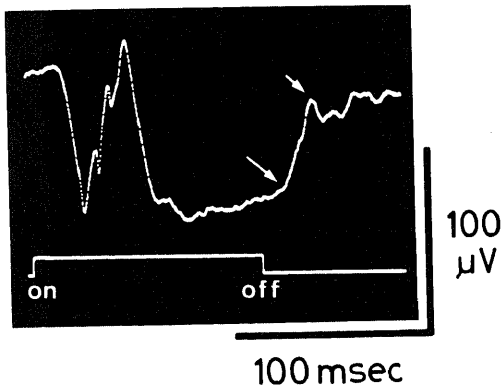


Fig. 2. A typical ERG from a normal subject (20-year-old male) in response to repetitive rectangular stimuli of  $1.0 \times 10^5$  lux at the cornea. The waveform is average of 80 responses. The pupil was maximally dilated, and the stimulus frequency was 4 Hz with equal light and dark intervals throughout the present study. The beginning and end of the rapid off-response are indicated by the long and the short arrows respectively. Upward deflection signifies that the electrode on the cornea is positive. The rectangular waveform at the bottom indicates the onset (upward deflection) and termination (downward deflection) of the stimulus light. The amplifier time constant was 2 sec in Figs. 2, 3, 5 and 7.

して下向き a 波, 上向き b 波および b 波に重畳する律動様小波が見られ, off 応答として上向き off 応答急峻部とそれに続く off 小波が見られる。長い矢印は off 応答急峻部の起始部を示し, 短い矢印は off 応答急峻部の頂点を示す。図 2 で明らかなように, 4 Hz 反復刺激による ERG では off 応答を a 波, b 波, 律動様小波などの on 応答から見分けることが出来た。本例では角膜面  $1.0 \times 10^5$  lux の白色光刺激によって  $46 \mu V$  の off 応答急峻部振幅が惹起された (図 2)。

#### II. 網膜動脈閉塞症の成績

図 3, 図 4, 図 5 および 図 6 に, 片眼性網膜動脈閉塞症 2 例の成績を示す。図 3 に, 本幹閉塞型の症例 (78 歳, 男性) において白色光刺激によって得られた ERG (50 回加算平均波形) を, 患眼 (左欄) および他眼 (健

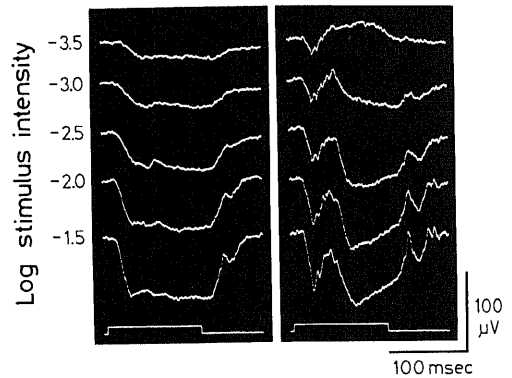


Fig. 3. ERG waveforms in a patient (78-year-old male) with unilateral central retinal artery occlusion. Each waveform is an average of 50 responses. Left column, the affected eye. Right column, the fellow eye. Zero log units of stimulus intensity corresponds to  $1.0 \times 10^5$  lux at the cornea in Figs. 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 and 11.

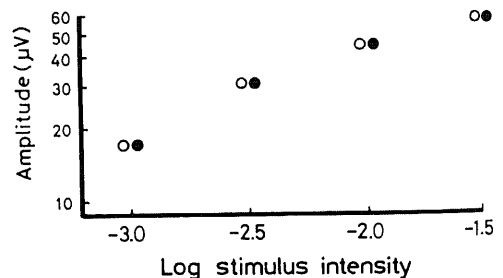


Fig. 4. Amplitude of the rapid off-response in a case of unilateral central retinal artery occlusion as a function of stimulus intensity on a log-log plot. Solid and open circles refer to the affected eye and the fellow eye respectively. Data are from Fig. 3.

眼, 右欄) について示す。患眼では, 健眼に比べて postsynaptic な機序による b 波が試みたすべての刺激光強度 (-3.5 log から -1.5 log まで) で著しく減弱し, その結果 P III に対応する波形が観察された。すなわち患眼では網膜近位部のしかも広範な障害が窺われた。off 応答急峻部振幅は患眼および健眼で刺激の増強とともに増大した。弱刺激 (-3.5 log, 角膜面  $3.0 \times 10^3$  lux) では, off 応答急峻部は患眼よりも健眼で不明瞭であった。健眼では off 応答急峻部の観察に -3.0 log (角膜面  $1.0 \times 10^3$  lux) 以上の刺激光強度が必要であった。off 応答急峻部に続いてあらわれる off 小波は, 健眼では -2.5 log (角膜面  $3.0 \times 10^2$  lux) 以上の刺激光強度で観察されたが, 患眼では最強刺激 -1.5 log (角膜面  $3.0 \times 10^4$  lux) によっても明瞭ではなかった (図 3)。

図 4 に, 図 3 から求めた off 応答急峻部振幅・刺激光強度関係を患眼 (黒丸) と他眼 (健眼, 白丸) について示す (log-log plot)。本例の患眼および健眼における off 応答急峻部振幅は, 試みた刺激光強度のすべてで等しかった (-3.0 log で  $17 \mu\text{V}$ , -2.5 log で  $31 \mu\text{V}$ , -2.0 log で  $44 \mu\text{V}$ , -1.5 log で  $57 \mu\text{V}$ ) (図 4)。

図 5 に, 分枝閉塞型の症例 (43 歳, 男性) において白色光刺激によって得られた ERG (100 回加算平均波形) を患眼 (左欄) および他眼 (健眼, 右欄) について示す。患眼では, b 波は減弱しながらもその振幅は健眼の b 波振幅に比べ最小 50% (-2.3 log) から最大 80% (-1.3 log) の割合で残存し, 律動様小波は試

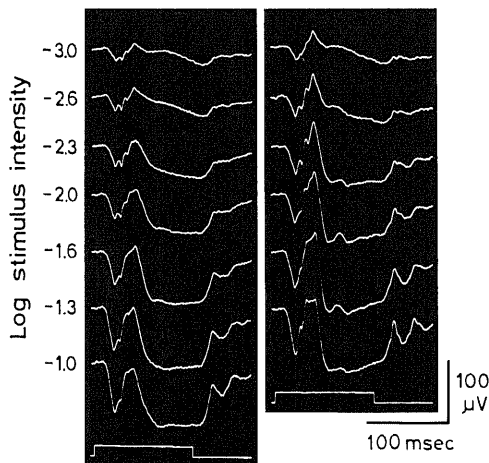


Fig. 5. ERG waveforms in a patient (43-year-old male) with unilateral branch retinal artery occlusion. Each waveform is an average of 100 responses. Left column, the affected eye. Right column, the fellow eye.

みたすべての刺激光強度 (-3.0 log から -1.0 log まで) で観察された。これらの所見は, 眼底所見, 視機能検査所見などを参照すれば, 患眼における網膜近位部のしかも限局した範囲の障害に対応していると考えて良い。off 応答急峻部は患眼および健眼において刺激光強度 -3.0 log で観察され, その振幅は刺激の増強とともに増大した。健眼における off 小波は, -2.6 log (角膜面  $2.5 \times 10^2$  lux) の刺激光強度で観察され始め, 刺激の増強とともに一層明瞭になった。患眼における off 小波は, -1.6 log (角膜面  $2.5 \times 10^3$  lux) 以上の刺激光強度で観察されたが健眼におけるほど明瞭ではなかった (図 5)。

図 6 に, 図 5 から求めた off 応答急峻部振幅・刺激光強度関係を患眼 (黒丸) と他眼 (健眼, 白丸) について示す。本例の患眼および健眼における off 応答急峻部振幅は, それぞれ -3.0 log で  $12 \mu\text{V}$  と  $12 \mu\text{V}$ , -2.6 log で  $19 \mu\text{V}$  と  $21 \mu\text{V}$ , -2.3 log で  $27 \mu\text{V}$  と  $31 \mu\text{V}$ , -2.0 log で  $36 \mu\text{V}$  と  $41 \mu\text{V}$ , -1.6 log で  $48 \mu\text{V}$  と  $54 \mu\text{V}$ , -1.3 log で  $59 \mu\text{V}$  と  $65 \mu\text{V}$  であり, 患眼に比し健眼でわずかに大きかった。off 応答急峻部振幅について, 健眼と患眼との差の, 患眼に対する割合 (健眼の振幅と患眼の振幅との差/患眼の振幅) (%) を求めれば, -3.0 log で 0%, -2.6 log で 10%, -2.3 log で 15%, -2.0 log で 14%, -1.6 log で 13%, -1.3 log で 10% であった (平均 10.3%) (図 6)。

### III. 視神経萎縮症の成績

図 7 に, 片眼性視神経萎縮症例 (40 歳, 男性) の患眼における白色光刺激によって得られた ERG (80 回加算平均波形) を示す。本例の患眼における off 応答急峻部は, -3.0 log の刺激光強度で観察され, その振幅は刺激光強度 -0.6 log (角膜面  $2.5 \times 10^4$  lux) 近傍まで

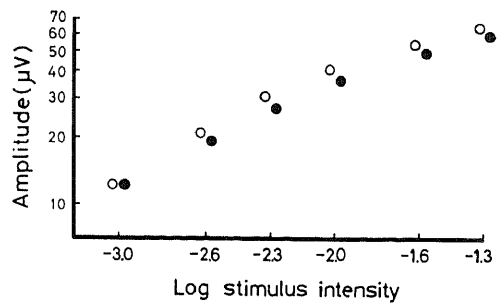


Fig. 6. Amplitude of the rapid off-response in a case of unilateral branch retinal artery occlusion as a function of stimulus intensity on a log-log plot. Solid and open circles refer to the affected eye and the fellow eye respectively. Data are from Fig. 5.

刺激の増強とともに増大した。本例患眼の off 小波は、 $-2.6 \log$  の刺激光強度で観察され始めて刺激の増強とともに一層明瞭になっていったが、 $-0.3 \log$  (角膜面  $5.0 \times 10^4 \text{ lux}$ ) の強刺激では再び不鮮明になった。

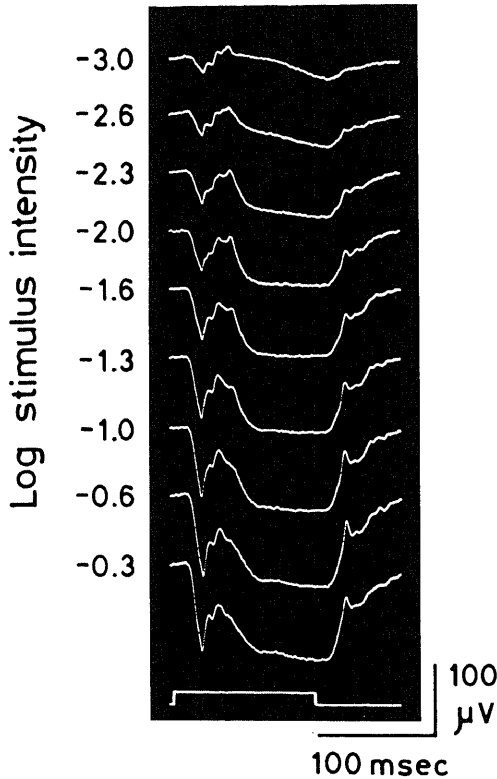


Fig. 7. ERG waveforms in a patient (40-year-old male) with optic nerve atrophy. Each waveform is an average of 80 responses.

本例患眼における off 応答急峻部ならびに off 小波の閾値は、正常眼 (図 3 右欄, 図 5 右欄) におけるそれに近似していた。一般に正常眼では白色光の  $-1.3 \log$  (角膜面  $5.0 \times 10^3 \text{ lux}$ ) を上まわる強刺激は差明のために試みる事が出来なかったが、本例患眼では強刺激による差明感が正常眼に比べ軽微であった結果、 $-0.3 \log$  の刺激光強度に至るまで ERG を記録出来た (図 7)。

図 8 に、図 7 から求めた off 応答急峻部振幅・刺激光強度関係を示す。off 応答急峻部振幅は刺激の増強とともに増大し、刺激光強度  $-0.6 \log$  で最大 ( $88 \mu\text{V}$ ) に達した。off 応答急峻部振幅・白色刺激光強度関係についての dynamic range は、刺激光強度  $-3.0 \log$  から  $-0.6 \log$  までの  $2.5 \log$  におよんだ。刺激光強度  $-2.0 \log$  (角膜面  $1.0 \times 10^3 \text{ lux}$ ) では、本例患眼においても正常眼 (図 2) の off 応答急峻部振幅 ( $46 \mu\text{V}$ ) と同等の振幅 ( $47 \mu\text{V}$ ) が惹起された (図 8)。

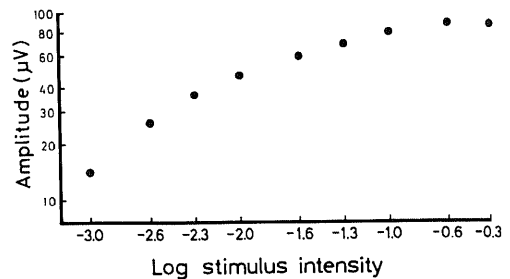


Fig. 8. Amplitude of the rapid off-response in a case of optic nerve atrophy as a function of stimulus intensity on a log-log plot. The amplitude of the rapid off-response reached a maximum at a stimulus intensity of  $-0.6 \log$  units. Data are from Fig. 7.

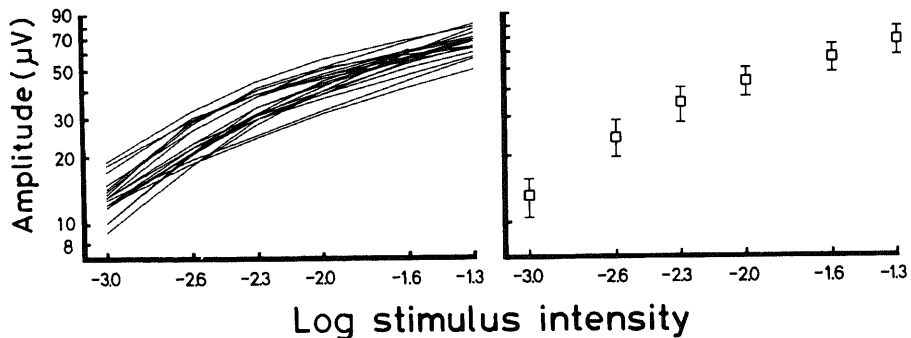


Fig. 9. Amplitude of the rapid off-response in 20 normal subjects (10- to 29-year-old males) as a function of stimulus intensity on a log-log plot. Left: Individual amplitude-intensity (V-I) curves of the rapid off-response. Right: Means (solid curve) and standard deviations (vertical lines) of the amplitude of the rapid off-response ( $M \pm S.D.$ ).

IV. 色覚正常者群の成績

図9の左に、色覚正常者群(20例, 平均年齢20.3歳)において白色光刺激によって得られた off 応答急峻部の振幅対刺激光強度曲線 (amplitude-intensity curve, V-I 曲線) (log-log plot) を示す。20例中2例では、差明のために $-1.3 \log$ の刺激光強度でERG記録を実施出来なかった。off 応答急峻部振幅は、試みた全例で試みた限りの刺激光強度範囲( $-3.0 \log$ から $-1.3 \log$ まで)で刺激の増強とともに増大した(図9左)。

図9の右に、色覚正常者群における off 応答急峻部振幅の各刺激光強度での平均値と標準偏差(±S.D.)を、それぞれ白四角とそれに付した縦線分であらわす。色覚正常者群において白色光刺激によって得られた off 応答急峻部振幅の平均値は、 $-3.0 \log$ で $13 \mu V$ 、 $-2.6 \log$ で $24 \mu V$ 、 $-2.3 \log$ で $34 \mu V$ 、 $-2.0 \log$ で

$44 \mu V$ 、 $-1.6 \log$ で $56 \mu V$ 、 $-1.3 \log$ で $68 \mu V$ であった(図9右)。

V. 第1色覚異常 (protan) 者群の成績

図10の左に、第1色覚異常者群(13例, 平均年齢16.8歳)において白色光刺激によって得られた off 応答急峻部のV-I曲線を示す。白丸を付した曲線は protanopes (3例)のV-I曲線を、他は protanomals (10例)のV-I曲線をあらわす。13例中2例では、差明のために $-1.3 \log$ の刺激光強度でERG記録を実施出来なかった。off 応答急峻部振幅は、試みた全例で刺激の増強とともに増大した(図10左)。

図10の右に、第1色覚異常者群における off 応答急峻部振幅の各刺激光強度での平均値と標準偏差(±S.D.)を、それぞれ黒丸とそれに付した縦線分であらわし、色覚正常者群の成績(白四角とそれに付した縦線分, 図9右)と比較して示す。第1色覚異常者群にお

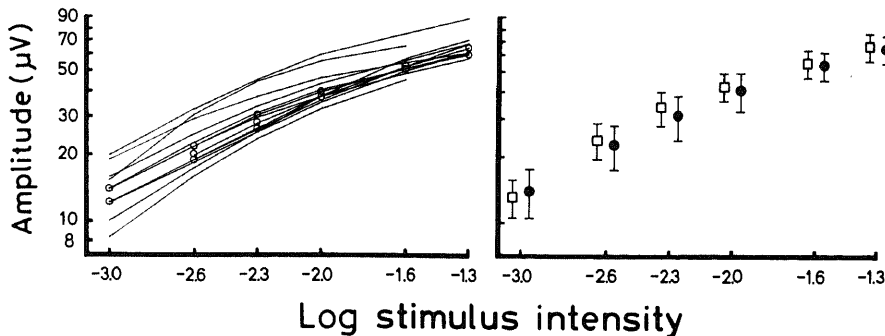


Fig. 10. Amplitude of the rapid off-response in 13 protans (12- to 22-year-old males) as a function of stimulus intensity on a log-log plot. Left: Individual V-I curves of the rapid off-response in 3 protanopes (open circles) and in 10 protanomals. Right:  $M \pm S.D.$  of the amplitude of the rapid off-response in protans (solid circles) and in normal subjects (open squares; data are from Fig. 9).

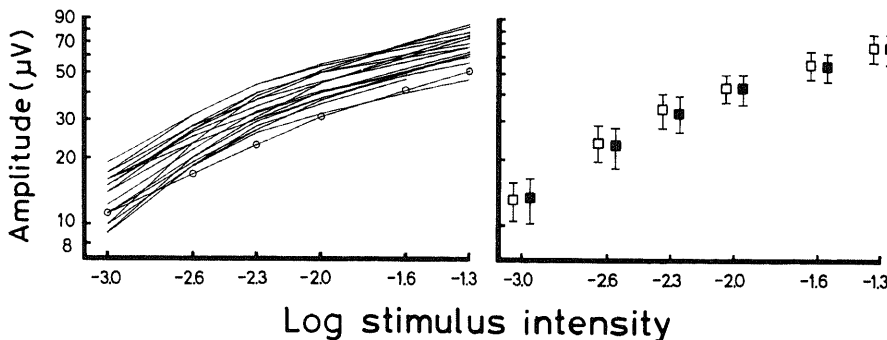


Fig. 11. Amplitude of the rapid off-response in 19 deutans (12- to 22-year-old males) as a function of stimulus intensity on a log-log plot. Left: Individual V-I curves of the rapid off-response in one deuteranope (open circles) and in 18 deuteranomals. Right:  $M \pm S.D.$  of the amplitude of the rapid off-response in deutans (solid squares) and in normal subjects (open squares; data are from Fig. 9).



いて白色光刺激によって得られた off 応答急峻部振幅の平均値は、 $-3.0 \log$  で  $14 \mu V$ 、 $-2.6 \log$  で  $23 \mu V$ 、 $-2.3 \log$  で  $32 \mu V$ 、 $-2.0 \log$  で  $42 \mu V$ 、 $-1.6 \log$  で  $55 \mu V$ 、 $-1.3 \log$  で  $66 \mu V$  であった。第 1 色覚異常者群における off 応答急峻部振幅の平均値の色覚正常者群のそれに対する割合（第 1 色覚異常者群の平均値/色覚正常者群の平均値）（%）は、 $-3.0 \log$  で 108%、 $-2.6 \log$  で 96%、 $-2.3 \log$  で 94%、 $-2.0 \log$  で 95%、 $-1.6 \log$  で 98%、 $-1.3 \log$  で 97% であった。白色光刺激によって得られた off 応答急峻部振幅の平均値においては、第 1 色覚異常者群と色覚正常者群との間には試みたいずれの刺激光強度（ $-3.0 \log$  から  $-1.3 \log$  まで）でも推計学的有意差は検出されなかった（図 10 右）。

#### IV. 第 2 色覚異常 (deutan) 者群の成績

図 11 の左に、第 2 色覚異常者群 (19 例、平均年齢 16.2 歳) において白色光刺激によって得られた off 応答急峻部の V-I 曲線を示す。白丸を付した曲線は deuteranope (1 例) の V-I 曲線を、他は deuteranomals (18 例) の V-I 曲線をあらわす。19 例中 2 例では、羞明のために  $-1.3 \log$  の刺激光強度で ERG 記録を実施出来なかった。off 応答急峻部振幅は、試みた全例で刺激の増強とともに増大した（図 11 左）。

図 11 の右に、第 2 色覚異常者群における off 応答急峻部振幅の各刺激光強度での平均値と標準偏差 ( $\pm S.D.$ ) を、それぞれ黒四角とそれに付した縦線分であらわし、色覚正常者群の成績 (白四角とそれに付した縦線分、図 9 右) と比較して示す。第 2 色覚異常者群において白色光刺激によって得られた off 応答急峻部振幅の平均値は  $-3.0 \log$  で  $13 \mu V$ 、 $-2.6 \log$  で  $23 \mu V$ 、 $-2.3 \log$  で  $33 \mu V$ 、 $-2.0 \log$  で  $43 \mu V$ 、 $-1.6 \log$  で  $55 \mu V$ 、 $-1.3 \log$  で  $69 \mu V$  であった。第 2 色覚異常者群における off 応答急峻部振幅の平均値の色覚正常者群のそれに対する割合（第 2 色覚異常者群の平均値/色覚正常者群の平均値）（%）は、 $-3.0 \log$  で 100%、 $-2.6 \log$  で 96%、 $-2.3 \log$  で 97%、 $-2.0 \log$  および  $-1.6 \log$  で 98%、 $-1.3 \log$  で 99% であった。白色光刺激によって得られた off 応答急峻部振幅の平均値においては、第 2 色覚異常者群と色覚正常者群との間には試みたいずれの刺激光強度（ $-3.0 \log$  から  $-1.3 \log$  まで）でも推計学的有意差は検出されなかった（図 11 右）。

#### 考 察

先ず、米村<sup>9)</sup>、Yonemura ら<sup>4)5)</sup>および田辺<sup>6)7)</sup>の人眼 in vitro ERG の研究で明らかにされた多くの事実の中から、sodium aspartate を作用させることによって

分離した人眼 P III において off 応答急峻部が専ら錐体系に対応することを示す証拠を列挙してみよう。第 1 に、人眼 P III off 応答急峻部では波形、極性などがサルなどの動物について報告<sup>11)12)</sup>された錐体電位のそれらに合致する。第 2 に、人眼 P III off 応答急峻部では sodium aspartate や sodium glutamate に対する抵抗性が高い。すなわち人眼 P III off 応答急峻部には postsynaptic な電位成分の関与が少ない。第 3 に、人眼 P III off 応答急峻部では閾値が高い。すなわち人眼 P III off 応答急峻部は明所視レベル（網膜面約 6 lux 以上）で出現する。第 4 に、人眼 P III off 応答急峻部では明順応に対する抵抗性が高い。すなわち人眼 P III off 応答急峻部の閾値は、網膜面約 6 lux 未満の明順応レベルではほとんど影響を受けずに網膜面約  $6 \times 10$  lux 以上の明順応によって Weber の法則に従って上昇する。第 5 に、人眼 P III off 応答急峻部では暗順応経過は短時間で終了して Rushton によるヒト中心窩視物質の回復曲線<sup>13)</sup>と対応する。以上（第 1 から第 5 まで）は刺激光が白色光の場合の成績であるが、さらに決定的な根拠は単色光刺激による波長特性に求められる。すなわち第 6 として、人眼 P III off 応答急峻部では可視光領域における分光感度曲線は試みた限りの基準電位のすべてで頂点波長を 550 nm 近傍に持つ単峰性曲線であり、国際照明委員会 Commission Internationale de l'Eclairage の決定による人眼明所視比視感度曲線 CIE 10<sup>14)</sup>に頂点波長ならびに形状においてよく対応する。以上の 6 つが、人眼 in vitro ERG の研究において明らかにされた、off 応答急峻部が専ら錐体活動を反映することを示す証拠となる事実である。

一般臨床の ERG 検査においては、off 応答急峻部が主に錐体活動に由来することを示す臨床的知見を Kawasaki ら<sup>15)</sup>の報告に見ることが出来る。すなわち、Kawasaki ら<sup>15)</sup>は ERG の off 応答急峻部が杆体一色型色覚の症例では欠如するが先天性停止性夜盲の症例では維持されることをみた。米村ら<sup>16)</sup>は、網膜中心動脈本幹の閉塞による網膜中心動脈閉塞症の患眼では、ERG 記録において網膜の中層から内層に由来する応答は減弱ないし消失するが外層に由来する応答は温存されることをみ、本症患眼が P III 波形の分離観察に適することに着目した。Yonemura ら<sup>5)</sup>は本症患眼において 0.3 Hz の白色光反復刺激による ERG 記録を試みた結果、人眼 in vitro ERG の研究における P III に相当する波形とその off 応答急峻部を臨床 ERG 検査において初めて記録することに成功した。河崎ら<sup>17)</sup>は ERG 記録時間短縮のために刺激頻度を明・暗等間隔の 4 Hz に設定し、正常人眼において ERG off 応答急峻

部振幅の分光感度曲線を求めた。河崎ら<sup>10)</sup>が正常人眼で求めた off 応答急峻部振幅の分光感度曲線は上記の人眼 in vitro ERG の成績と同様に人眼明所視比視感度曲線 CIE10<sup>14)</sup> によく対応し、臨床 ERG 検査に有用である刺激条件 (4 Hz 反復刺激) においても off 応答急峻部が主に錐体電位を反映することが示された。

著者は ERG 記録時間を短縮して被検者の負担を軽減するために河崎ら<sup>10)</sup>の刺激条件 (4 Hz 反復刺激) を採用した。ERG の off 応答急峻部振幅と晚期視細胞電位 (late receptor potential, LRP) 振幅との関係を求めるために、片眼性網膜動脈閉塞症 2 例 (本幹閉塞型および分枝閉塞型) について患眼と他眼 (健眼) との間で off 応答急峻部振幅を比較した。その結果、本幹閉塞型症例の患眼においては人眼 in vitro ERG の研究で sodium aspartate 処理によって得られた P III に相当する波形が記録されて網膜近位部の広汎な障害が窺われたが、その off 応答急峻部振幅には健眼との間に相違をみることはなかった (図 3, 図 4)。分枝閉塞型症例の患眼においては b 波および律動様小波が一部残存して網膜近位部の限局性の障害が推測され、その off 応答急峻部振幅には健眼との間に高々 15% の相違がみられたに過ぎない (図 5, 図 6)。河崎ら<sup>17)</sup>が刺激頻度 4 Hz の白色光によって求めた本症の off 応答急峻部では、患眼と他眼 (健眼) との間の振幅の相違は角膜面  $6.7 \times 10$  lux から  $6.7 \times 10^2$  lux までの刺激光強度範囲で 10 ないし 20% にとどまったという。因みに河崎ら<sup>17)</sup>が用いた刺激光強度は、本編 (第 I 編) の刺激光強度の  $-3.2$  log から  $-2.2$  log までの範囲に相当し、これは off 応答急峻部の閾値に近い刺激光強度である。著者が本症に試みた刺激光強度の範囲は  $-3.0$  log から  $-1.3$  log までにおよび、河崎ら<sup>17)</sup>の場合に比して約 1.0 log 広がった。本症の患眼と他眼 (健眼) との間の off 応答急峻部振幅の相違は著者の成績では高々 15% (図 6) であり、off 応答急峻部の閾値近傍の刺激によって得られた河崎ら<sup>17)</sup>の成績では最大 20% 程度であって両者の値は互いに近似した。したがって、4 Hz の反復刺激条件における ERG の off 応答急峻部振幅と LRP 振幅との相違は高々 20% であろうと評価される。

図 3, 図 4, 図 5 および図 6 において、off 応答急峻部振幅は正常眼で耐え得る限度の強刺激 ( $-1.3$  log) に至るまで刺激の増強とともに増大し、いまだ飽和に達していない。off 応答急峻部振幅・刺激光強度関係についての dynamic range を把握するためには、 $-1.3$  log より強い刺激光強度範囲で ERG を記録する必要がある。視神経萎縮眼では強刺激光による羞明感が正常眼に比べ軽微である。著者は本症患眼におい

て  $-0.3$  log までの強い光刺激を試みる事が出来た。パターン反転刺激などの特殊な刺激によらない限り<sup>18)-21)</sup>、通常の ERG (flash ERG) においては視神経節細胞や視神経線維の電気活動は検知し難いとされる。したがって視神経萎縮眼における flash ERG は異常を呈しないと考えられる。実際、米村ら<sup>22)</sup>は絶体緑内障の in vitro ERG において、組織学的に視神経節細胞がほとんど消失した網膜であったにもかかわらず明瞭な a 波, b 波, 律動様小波, off 応答急峻部および off 小波を記録し、ERG は正常であることを報告した。故に、off 応答急峻部を観察するための被検眼に視神経萎縮眼を採用して良いと言える。著者が求めた視神経萎縮眼の ERG においても、正常眼で求めた ERG (図 2, 図 3 右欄, 図 5 右欄) 同様に a 波, b 波, 律動様小波, off 応答急峻部および off 小波が観察された (図 7)。off 応答急峻部振幅・白色刺激光強度関係についての dynamic range は、 $-3.0$  log から色覚正常者、第 1 色覚異常者および第 2 色覚異常者で耐え得る限度の強刺激 ( $-1.3$  log) をさらに  $0.7$  log 上まわり、 $-0.6$  log に至るまでの  $2.5$  log の範囲におよんだ (図 7, 図 8)。色覚正常者群、第 1 色覚異常者群および第 2 色覚異常者群において耐え得る限度内の刺激光強度 ( $-1.3$  log 以下) を用いれば、off 応答急峻部は強刺激による振幅飽和の影響を受けていないと言え、色覚正常者群、第 1 色覚異常者群および第 2 色覚異常者群の間の off 応答急峻部振幅の関係を歪み無く知ることが出来る。

仮性同色表を誤読するなどの理由により、先天性赤緑色覚異常者においては色覚機構の一部が欠如していると考える (欠如説) が従来の主流であった。Rushton<sup>23)24)</sup>が retinal densitometry によって達成した成績、すなわち 2 色型赤緑色覚異常者 (protanope および deuteranope) の中心窩における錐体視物質 (chlorolabe および erythrolabe) の一部欠如を示す他覚的検査所見は、色覚異常の原因についての上記の欠如説と矛盾はしないかもしれない。しかしはたしてそのように単純に考えて良いであろうか。錐体電位を表現するものとしての off 応答急峻部の有する特徴および 2 色型赤緑色覚異常者における Rushton の成績<sup>23)24)</sup>に鑑みれば、色覚正常者群との比較において第 1 色覚異常者群や第 2 色覚異常者群での off 応答急峻部振幅の低値を予想して然るべきであろう。この考えを検証するために、色覚正常者群、第 1 色覚異常者群および第 2 色覚異常者群の 3 群について白色光刺激による off 応答急峻部の V-I 曲線を求めた (図 9 左, 図 10 左, 図 11 左)。次いで、第 1 色覚異常者群と色覚正常者群との間および第 2 色覚異常者群と色覚正常者群

との間で off 応答急峻部振幅の平均値を比較したところ (図 10 右, 図 11 右), 結果は予想に添わなかった。すなわち, 白色光刺激によって得られた off 応答急峻部振幅の平均値においては, 第 1 色覚異常者群および第 2 色覚異常者群のいずれでも色覚正常者群との間に推計学的有意差は検出されず, この結果は従来の欠如説では説明出来ない。この予想外の結果に対する可能な説明として少なくとも次の 2 つが考えられよう。第 1 に, Rushton<sup>23)24)</sup>の retinal densitometry による成績が中心窩において得られたものであることから, 第 1 色覚異常者や第 2 色覚異常者における錐体の異常が中心窩とそれに近接する微小な網膜領域に限定しているとすれば, 著者の刺激方法で記録された ERG の off 応答急峻部は広範な網膜領域の錐体由来するが故に, 第 1 色覚異常者や第 2 色覚異常者の比較的少数の錐体における異常を off 応答急峻部をもっては検出し得なかったのかも知れない。第 2 に, 色覚正常者, 第 1 色覚異常者および第 2 色覚異常者の 3 者の錐体の数に関する仮説が報告されている。Wald<sup>25)</sup>は中心窩において選択的色順応法によって緑錐体および赤錐体の視感度を心理物理学的に測定した結果, 第 1 色覚異常者群では緑錐体の極大波長 (545 nm) における視感度が, 第 2 色覚異常者群では赤錐体の極大波長 (568 nm) における視感度がいずれも色覚正常者群に比して高いことを指摘し, 色覚正常者に比べて第 1 色覚異常者では赤錐体が少なく緑錐体が多く, 第 2 色覚異常者では緑錐体が少なく赤錐体が多いとする仮説を提唱した。したがって, 色覚正常者群, 第 1 色覚異常者群および第 2 色覚異常者群の 3 群の間には錐体の数の総和にみるべき差異が無いが故に, 白色光刺激によって求めた ERG の off 応答急峻部振幅には 3 群間の相違が現われなかったものかも知れない。

先天性赤緑色覚異常の錐体レベルでの他覚的診断法を光刺激法によって追求しようとする限りにおいては, その活路を off 応答急峻部の波長特性の追求に見出さねばならないであろう。

## 結 論

ERG の off 応答急峻部を指標として錐体レベルにおける先天性赤緑色覚異常の他覚的検査法を確立するために, 先ず網膜動脈閉塞症および視神経萎縮症において off 応答急峻部の臨床応用に即する至適刺激条件を求め, 次いでこの至適刺激条件に準拠して色覚正常者群, 第 1 色覚異常 (protan) 者群および第 2 色覚異常 (deutan) 者群の 3 群について白色光の 4 Hz 反復刺激による ERG の off 応答急峻部を記録し, 以下の結果を得た。

1. ERG の off 応答急峻部振幅と晩期視細胞電位 (LRP) 振幅との関係を求めるために, LRP の分離観察に適する網膜動脈閉塞症において患眼と他眼 (健眼) との間で off 応答急峻部振幅を比較した結果, 試みたすべての刺激光強度 (角膜面  $1.0 \times 10^2$  lux から  $5.0 \times 10^3$  lux まで) で off 応答急峻部振幅の患眼と健眼との間の相違は高々 20% であった。したがって, 4 Hz の刺激条件における ERG の off 応答急峻部は錐体電位を主に表現すると言える。

2. 広範な刺激光強度領域での ERG 波形観察に適する視神経萎縮症において, off 応答急峻部振幅・刺激光強度関係についての dynamic range は角膜面  $1.0 \times 10^2$  lux から  $2.5 \times 10^4$  lux までの 2.5 log の範囲におよんだ。色覚正常者, 第 1 色覚異常者および第 2 色覚異常者で耐え得る限度の刺激光強度 (角膜面  $5.0 \times 10^3$  lux) は上記の dynamic range の中にあり, したがって  $5.0 \times 10^3$  lux 以下の刺激光で誘起された off 応答急峻部においては強刺激による振幅飽和の影響は生じていないと言える。

3. 白色光刺激で誘起された off 応答急峻部振幅の平均値には, 試みたすべての刺激光強度 (角膜面  $1.0 \times 10^2$  lux から  $5.0 \times 10^3$  lux まで) において, 第 1 色覚異常者群と色覚正常者群との間および第 2 色覚異常者群と色覚正常者群との間で推計学的有意差は検出されなかった。したがって, 白色光刺激による限り off 応答急峻部を指標として色覚正常者, 第 1 色覚異常者および第 2 色覚異常者の 3 者を鑑別出来ないことが明らかとなった。先天性赤緑色覚異常の他覚的診断法を off 応答急峻部を指標として追求しようとする限りにおいては, 刺激光は色光でなければならないことが示唆された。

## 謝 辞

稿を終えるに臨み, 終始御懇篤なる御指導と御校閲を賜りました恩師米村大蔵教授に深甚の謝意を捧げます。御助言, 御教示を賜りました河崎一夫助教授に深謝いたします。また本研究に御協力下さいました田辺讓二講師, 川口 泉学士, 花崎秀敏学士ならびに田辺久芳学士に感謝いたします。

## 文 献

- 1) Brown, K. T. & Watanade, K.: Isolation and identification of a receptor potential from the pure cone fovea of the monkey retina. *Nature*, **193**, 958-960 (1962).
- 2) Brown, K. T. & Watanabe, K.: Rod receptor potential from the retina of the night monkey. *Nature*, **196**, 547-550 (1962).

- 3) 米村大蔵: 人眼網膜電図の研究. 日眼, 81, 1632-1665 (1977).
- 4) Yonemura, D. & Kawasaki, K.: Electro-physiological study on activities of neuronal and non-neuronal retinal elements in man with reference to its clinical application. Jpn. J. Ophthalmol., 22, 195-213 (1978).
- 5) Yonemura, D. & Kawasaki, K.: New approaches to ophthalmic electrodiagnosis by retinal oscillatory potential, drug-induced responses from retinal pigment epithelium and cone potential. Doc. Ophthalmol., 48, 163-222 (1979).
- 6) 田辺譲二: 人眼および家兎眼の in vitro ERG スペクトル感度. 日眼, 80, 1033-1048 (1976).
- 7) 田辺譲二: 人摘出眼杯 ERG スペクトル感度, 明所視 ERG の研究. 日眼, 83, 279-291 (1979).
- 8) Furukawa, T. & Hanawa, I.: Effects of some common cations on electroretinogram of the toad. Jpn. J. Physiol., 5, 289-300 (1955).
- 9) Hanawa, I. & Tateishi, T.: The effect of aspartate on the electroretinogram of the vertebrate retina. Experientia, 26, 1311-1312 (1970).
- 10) 河崎一夫, 米村大蔵, 田辺譲二, 山本幸子: 視細胞機能の他覚的検査法と臨床応用. 臨眼, 32, 639-645 (1978).
- 11) Brown, K. T.: The electroretinogram: Its components and their origins. Vision Res., 8, 633-677 (1968).
- 12) Arden, G. B. & Tansley, K.: The spectral sensitivity of the pure-cone retina of the grey squirrel (*Sciurus carolinensis leucotis*). J. Physiol., 127, 592-602 (1955).
- 13) Rushton, W. A. H.: Physical measurement of cone pigment in the living human eye. Nature, 179, 571-573 (1957).
- 14) Wyszecki, G. & Stiles, W. S.: Color Science. Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulas, p.252-263, John Wiley & Sons Inc., New York, 1967.
- 15) Kawasaki, K., Tsuchida, Y. & Jacobson, J. H.: Positive and negative deflections in the off response of the electroretinogram in man. Am. J. Ophthalmol., 72, 367-375 (1971).
- 16) 米村大蔵, 河崎一夫, 白倉弘子, 柳田 隆, 山本幸子: 網膜中心動脈閉塞症の ERG と EOG. 日眼, 81, 323-329 (1977).
- 17) 河崎一夫, 米村大蔵, 仲里博彦, 若林謙二, 白尾裕, 坂井尚登: 網膜電図における明所視過程の研究. 日眼, 84, 1574-1580 (1980).
- 18) Maffei, L. & Fiorentini, A.: Electroretinographic responses to alternating gratings before and after section of the optic nerve. Science, 211, 953-955 (1981).
- 19) 白尾 裕, 河崎一夫, 米村大蔵, 輪島良平: Pattern reversal 刺激によるカエル ERG, 網膜内層由来について. 日眼, 87, 357-362 (1983).
- 20) Schuurmans, R. P. & Berninger, T.: Luminance and contrast responses recorded in man and cat. Doc. Ophthalmol., 59, 187-197 (1985).
- 21) 太田秀俊, 田村敏博, 河崎一夫, 米村大蔵: 人眼パターン ERG の陰性波およびその緑内障における減弱. 日眼, 90, 882-887 (1986).
- 22) 米村大蔵, 河崎一夫, 柴田二郎, 田辺譲二, 森田嘉樹, 松原藤継: 慢性緑内障の網膜電図と網膜組織学的所見. 臨眼, 28, 815-820 (1974).
- 23) Rushton, W. A. H.: A cone pigment in the protanope. J. Physiol., 168, 345-359 (1963).
- 24) Rushton, W. A. H.: A foveal pigment in the deuteranope. J. Physiol., 176, 24-37 (1965).
- 25) Wald, G.: Defective color vision and its inheritance. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A., 55, 1347-1363 (1966).

**Electrodiagnosis of Congenital Red-Green Color Deficiency ( I ) Electroretinographic Rapid Off-Response to White Stimulus Light** Hirohiko Nakazato, Department of Ophthalmology, School of Medicine, Kanazawa University, Kanazawa 920—J. Jusen Med. Soc., 96, 1075—1086 (1987)

**Key words:** red-green color deficiency, electroretinogram, rapid off-response, cone late receptor potential, white stimulus light

**Abstract**

The rapid off-response of the human electroretinogram (ERG) is photopic. The major part of the rapid off-response evoked by repetitive stimulation at 2 or 4 Hz results from the off-response of the cone late receptor potential (LRP), although its minor part may be comprised of postsynaptic components. The purpose of the present study is to establish an objective method of detecting congenital red-green color deficiency (protan, deutan) at the receptor level of the retina using the electroretinographic rapid off-response. The optimum stimulus intensity to evoke the rapid off-response was determined in unilateral central retinal artery occlusion, unilateral branch retinal artery occlusion and unilateral optic nerve atrophy. White stimulus light from a xenon discharge tube was used at a frequency of 4 Hz with equal light and dark intervals. In the eye with retinal artery occlusion, the postsynaptic response from the retina was suppressed and the LRP was isolated. The difference of the amplitude of the rapid off-response between the eye with retinal artery occlusion and the control fellow eye was less than 20% in the stimulus range so far tested ( $1.0 \times 10^2$  to  $5.0 \times 10^3$  lux at the cornea). The eye with optic nerve atrophy was suitable for recording the ERG over a wide range of stimulus intensity because of the loss of photophobia. The amplitude of the rapid off-response was saturated at a stimulus intensity of  $2.5 \times 10^4$  lux at the cornea in the eye with optic nerve atrophy. The most intense stimulation applicable to normal, protan and deutan subjects was  $5.0 \times 10^3$  lux at the cornea. The amplitude of the rapid off-response evoked by this stimulation ( $5.0 \times 10^3$  lux at the cornea) was not saturated in normal, protan and deutan subjects. The rapid off-response to white stimulus light was recorded in 20 normal subjects (10- to 29-year-old males), 13 protans (12- to 22-year-old males, 3 protanopes and 10 protanomals) and 19 deutans (12- to 22-year-old males, 1 deuteranope and 18 deuteranomals). The mean amplitude of the rapid off-response showed no significant difference between protans and normals, or deutans and normals within the stimulus range tested ( $1.0 \times 10^2$  to  $5.0 \times 10^3$  lux at the cornea). Protans and deutans could not be detected by the rapid off-response objectively, as long as white stimulus light was used. These results suggest that the stimulus light must be chromatic to detect congenital red-green color deficiency by the rapid off-response.