

ERG off 応答急峻部の臨床応用

—先天性赤緑色覚異常の程度との相関について—(図3, 表3)

花崎 秀敏・仲里 博彦・田辺 久芳
 齊藤 友護・田辺 譲二・河崎 一夫 (金沢大学医学部眼科学教室)
 米村 大蔵

The ERG Rapid Off-response in Different Grades of Abnormality
 in Congenital Red-green Color Deficiency

Hidetoshi Hanazaki, Hirohiko Nakazato, Hisayoshi Tanabe,
 Yugo Saitoh, Jhoji Tanabe, Kazuo Kawasaki
 and Daizo Yonemura

Department of Ophthalmology Kanazawa University School of Medicine

要 約

先天性赤緑色覚異常の程度を社会適性判定基準(馬嶋)に従って微度・弱度・中等度・強度の4群に分類し、この異常の程度とERG off 応答急峻部(広範囲の網膜の錐体電位を反映)の分光感度比との相関について検討した。ERG off 応答急峻部の600nmでの感度に対する500nmでの感度の比 sensitivity quotient (S.Q.)の平均値には、protanの4群の間あるいはdeutanの4群の間で有意差があるとは言えなかった。したがって、先天性赤緑色覚異常の程度は、中心窩領域内での量的・質的な錐体の異常あるいは錐体より近位の伝達系の異常により決定されるとの仮説が成り立つ余地がある。またS.Q.がprotanおよびdeutanの微度の症例においても弱度以上と同様に明らかな異常値を示し、S.Q.が微度異常の検出に有用であることが判明した。(日眼 91: 860—864, 1987)

キーワード: 赤緑色覚異常, 程度判定, 網膜電図, off 応答急峻部, 微度異常

Abstract

We studied the sensitivity quotient (S.Q.) of the electroretinographic rapid off-response ($S.Q. = S_{500}/S_{600}$) in 66 cases of congenital red-green color deficiency. They were classified into four grades—strong, moderate, mild and very mild—on the basis of Majima's classification for social adaptability. The log S.Q. did not differ among the four grades in protans or in deutans. We discussed the pathogenesis in terms of the grade of abnormality in congenital red-green color deficiency. It should be emphasized that the S.Q. of the rapid off-response is definitely abnormal even in protans or deutans with minimal abnormality by psychophysical examinations. (*Acta Soc Ophthalmol Jpn* 91: 860—864, 1987)

Key words: red-green color deficiency, classification of grade, electroretinogram, rapid off-response, minimal anomaly

別刷請求先: 920 金沢市宝町13-1 金沢大学医学部眼科学教室 米村 大蔵

Reprint requests to: Daizo Yonemura, M.D. Dept. of Ophthalmol., School of Med., Kanazawa Univ.
 13-1 Takara-machi, Kanazawa 920, Japan

(昭和62年4月22日受付) (Accepted April 22, 1987)

I 緒 言

先天性赤緑色覚異常者には、仮性同色表をほとんど正読する程度の軽い症例から、各種の色覚検査で異常を呈する程度の強い症例まで幅広く存在する。

職業適性あるいは社会適性を知る目的で種々の色覚異常程度判定法が従来考案されているが^{1)~3)}、色覚異常の程度が視路のどのレベルの障害を反映するののかについては、十分に研究されていないように思われる。

著者らはこれまでに、ERG 諸波のうちで主に錐体電位で構成される off 応答急峻部^{4)~6)}を、先天性赤緑色覚異常の診断に応用してきた^{7)~13)}。ERG off 応答急峻部を用いることの利点として、他覚診断が可能であることのほかに、錐体機能の異常を検出しようことが挙げられる。今回は先天性赤緑色覚異常者の異常の程度と ERG off 応答急峻部の長短 2 波長における分光感度比との相関を検討し、異常の程度を決定づける障害の部位について考察した。

II 方法および対象

先天性赤緑色覚異常者において色覚一般検査を行ない、表 1 に示す馬嶋の社会適性判定基準³⁾に従って程度を判定し、微度・弱度・中等度・強度の 4 群に分類した。次に各症例ごとに ERG off 応答急峻部の分光感度を測定し、仲里ら⁹⁾の方法に従って長短 2 波長における分光感度の比を求めた。ただし仲里ら⁹⁾は 480nm の感度の 620nm の感度に対する比を求めたが、今回対象とした protan の症例の中に 620nm 刺激において基準電位とした 20 μ V の振幅を惹起し得ないものが多数あったので、今回に限り 500nm の感度の 600nm の感度に対する比 (sensitivity quotient, S.Q.) を求めた。また正常者における度数分布は S.Q. に比して log S.Q. でより正規分布に近いことが χ^2 検定により判明しているので、以後平均値の差の検定などの統計処理を対数

Table 1. Majima's classification for social adaptability of color vision defectives (Majima, 1972).

程度表	ランタン	D-15	判定
H-R-R表 } 大熊表 } T.M.C.表 } いずれか 2種類以上を 全表正読	pass	pass	微度
弱度以上	pass	pass	弱度
弱度以上	fail	pass	中等度
弱度以上	fail	fail	強度

値 (log S.Q.) について行なった。

ERG 記録方法は前報⁷⁾⁸⁾に準じた。

第 1 色覚異常 29 名 (すべて男性, 9 歳~22 歳, 平均 15.6 歳) および第 2 色覚異常 36 名 (すべて男性, 9 歳~25 歳, 平均 15.7 歳) を対象とした。

III 結 果

表 2 に第 1 異常者 29 名の, 表 3 に第 2 異常者 36 名の

Table 2. Age, sex, type, grade and log S.Q. in 29 protan subjects. P and PA mean protanopia and protanomalia respectively.

No.	年齢	性別	型	程度	log. S.Q.
1	18	男	P	中	0.61
2	15	男	P	強	0.96
3	16	男	P	強	0.84
4	13	男	P	強	0.67
5	9	男	P	強	0.57
6	15	男	P	強	0.74
7	18	男	P	強	0.62
8	12	男	P	強	0.82
9	16	男	P	強	0.72
10	14	男	P	強	0.62
11	15	男	P	強	0.62
12	17	男	P	強	0.57
13	16	男	PA	弱	0.56
14	17	男	PA	中	0.65
15	15	男	PA	弱	0.74
16	16	男	PA	弱	0.76
17	16	男	PA	中	0.71
18	14	女	PA	中	0.67
19	17	男	PA	中	0.76
20	13	男	PA	弱	0.65
21	18	男	PA	微	0.76
22	16	男	PA	中	0.67
23	17	男	PA	弱	0.56
24	12	男	PA	弱	0.59
25	15	男	EPA	弱	0.59
26	15	男	PA	弱	0.80
27	17	男	PA	中	0.85
28	22	男	PA	弱	0.56
29	18	男	PA	弱	0.56

Table 3. Age, sex, type, grade and log S.Q. in 36 deutan subjects. D and DA mean deuteranopia and deuteranomalia respectively.

No.	年齢	性別	型	程度	log S.Q.
1	17	男	D	強	-0.18
2	18	男	D	強	-0.07
3	22	男	D	強	0.05
4	10	男	D	中	0.12
5	14	男	D	強	0.01
6	9	男	D	強	0.04
7	15	男	D	強	-0.03
8	16	男	D	強	-0.01
9	18	男	DA	弱	-0.19
10	18	男	DA	中	-0.09
11	18	男	DA	弱	-0.06
12	13	男	DA	中	-0.08
13	17	男	DA	弱	-0.06
14	16	女	DA	中	-0.25
15	17	男	DA	微	-0.18
16	16	男	DA	微	0
17	13	男	DA	弱	-0.04
18	10	男	DA	弱	-0.21
19	14	男	DA	弱	0.02
20	9	男	DA	弱	0.08
21	16	男	EDA	中	0.06
22	25	男	DA	微	0.11
23	22	男	DA	微	-0.07
24	18	男	DA	微	0
25	18	男	EDA	強	0.06
26	15	男	DA	中	0.07
27	16	男	DA	中	0.02
28	13	男	DA	微	-0.07
29	15	男	DA	微	-0.02
30	12	男	EDA	強	-0.03
31	16	男	DA	弱	0.12
32	15	男	DA	中	-0.11
33	19	男	DA	中	-0.06
34	15	女	DA	弱	0.01
35	16	男	DA	弱	0
36	13	男	DA	中	0.04

年齢, 性別, 病型, 程度および log S.Q.を示す. 第1異常者29名は微度1例, 弱度10例, 中等度7例および強度11例に分類された. 第2異常者36名は微度7例, 弱度10例, 中等度10例および強度9例に分類された. 第1異常・第2異常とも各群の間に年齢の平均値の有意差は認められなかった (t検定, $p > 0.1$).

図1に第1異常29名と第2異常36名の log S.Q.を示す. 第1異常者と第2異常者は log S.Q.により明確に分離された. また第1異常および第2異常とも, 2色

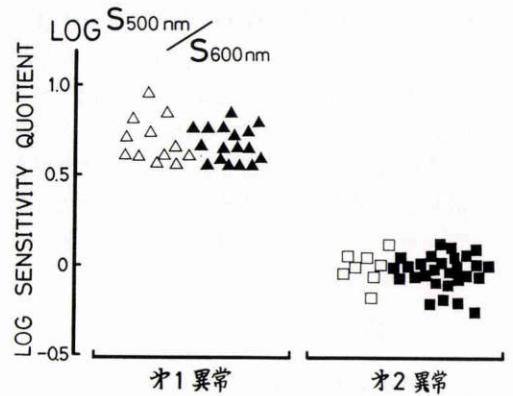


Fig. 1 Log sensitivity quotient of the rapid off-response at 500nm to its sensitivity at 600nm. Triangles mean protan subjects. Squares mean deutan subjects. Open and closed symbol indicates a dichromat and a abnormal trichromat respectively. Criterion voltage $20\mu V$.

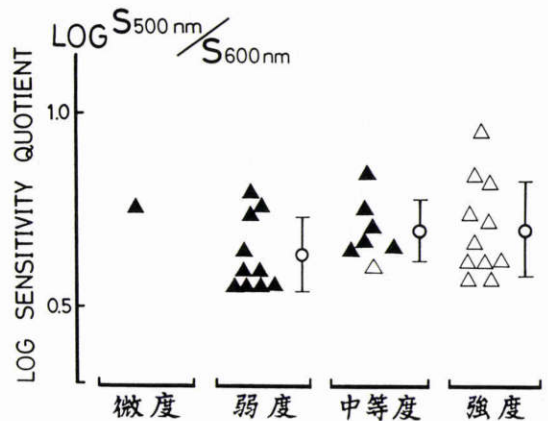


Fig. 2 Log sensitivity quotient of the rapid off-response at 500nm to its sensitivity at 600nm in protan subjects. They were classified into four grades (very mild, mild, moderate, strong) by Majima's classification. For further details see the legend for Fig. 1.

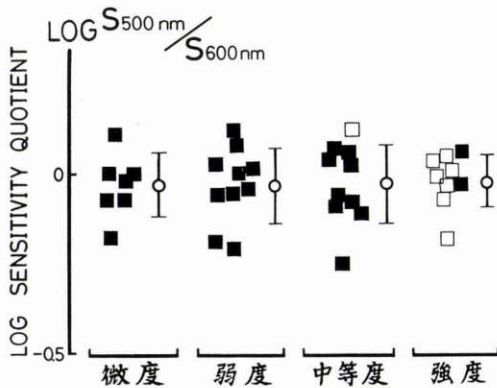


Fig. 3 Log sensitivity quotient of the rapid off-response at 500nm to its sensitivity at 600nm in deutan subjects. They were classified into four grades (very mild, mild, moderate, strong) by Majima's classification. For further details see the legend for Fig. 1.

型と異常3色型の間に log S.Q.の平均値における有意差は認められなかった (t 検定, $p > 0.1$) (図1).

図2に第1異常者における log S.Q.を異常の程度別に分けて示す。log S.Q.の平均値 (M) および標準偏差 (SD)の値はそれぞれ弱度群で 0.64 ± 0.09 , 中等度群で 0.70 ± 0.08 , 強度群で 0.70 ± 0.13 であった。微度の症例は1例のみであり、その log S.Q.は 0.76 と中等度群あるいは強度群の M と $M + SD$ の間であった (図2)。

図3に第2異常者における log S.Q.を異常の程度別に分けて示す。log S.Q.の M および SDの値はそれぞれ微度群で -0.03 ± 0.09 , 弱度群で -0.03 ± 0.11 , 中等度群で -0.03 ± 0.11 , 強度群で -0.02 ± 0.07 であった (図3)。

第1異常の微度群を除いた3群の間および第2異常の4群の間では、log S.Q.の平均値には有意差があるとは言えなかった (t 検定, $p > 0.1$)。

IV 考 按

先天性赤緑色覚異常の程度判定法に関し、いくつかの報告がある^{1)~3)}。このうち馬嶋による社会適性判定基準³⁾では、多種類の異なる色覚検査を行ない、色素色検査に加え光源色検査 (市川式ランタン) をも用いているので日常生活との関連が強く、また分類不能となる症例が少ないなどの利点を有するので、今回の程度分類の手段として用いた。

著者らの ERG 記録方法⁷⁾⁸⁾では、刺激光は約 60° という網膜の比較的広範囲を照射する⁹⁾ので、今回指標と

して用いた log S.Q.は網膜のかなり広範囲における錐体の電位を反映していると言える。これより、異常の程度と log S.Q.との間に有意な相関は認められなかったという今回の結果は、異常の程度の多様性は広範囲の網膜における錐体電位の異常の総和に依存するものではないことを意味する。では異常の程度はどのレベルの障害に依存するのであろうか。少なくとも以下の2つの仮説が考えられる。

その一つは、色覚異常の程度はより狭い範囲における錐体の量的質的異常に依存するという仮説である。Smith と Pokorny¹⁴⁾, Jaeger ら¹⁵⁾によれば、 2° 視野アノマロスコプで2色型色覚と診断された症例のほとんどが、 10° 視野アノマロスコプを用いれば異常3色型を示すという。このことより、大視野刺激で同程度の色覚異常を示す症例が、小視野刺激においては異なる程度の色覚を示す可能性がある。このような事実は遺伝子レベルの研究においても示されている。例えば、Nathans ら¹⁶⁾によれば、彼らが対象とした先天性赤緑色覚異常のうちで、症例28 (表現型は protanopia) と症例42 (表現型は protanomalia) はともに1個の hybrid gene (5'red-3'green) と2個の normal green pigment gene を有しており、遺伝子型からは両者を鑑別できない。この矛盾に対し Nathans ら¹⁶⁾は納得のいく説明を与えていないが、次のように考えることもできよう。すなわち、錐体色素の吸収特性を決定する遺伝子のほかにその遺伝子が発現すべき錐体の分布 (中心窩付近に集中するのかより広い範囲に分散するのか) を決定する他の因子が存在するとの仮説である。実際にこのような錐体の分布の差と異常の程度との関連を電気生理学的手法により検討するには、今回著者が用いた刺激方法 (刺激光の視角約 60°) に加え、局所刺激による off 応答を測定し、両者の結果を比較する必要がある。

異常の程度を決定づける障害レベルの仮説として、もう一つには錐体より近位の伝達系の障害が考えられる。Hurvich と Jameson¹⁷⁾は、opponent-colors theory に基づき、錐体色素の吸収特性の異常よりもむしろ neural process の機能低下が弁色能の異常に反映されることを示した。また近藤ら¹⁸⁾は錐体出力の伝達に関与する係数を変えることにより、Panel D-15の結果を pass から典型的な fail まで連続的に変化し得ることをコンピューターを用いたシミュレーションで示した。馬嶋の社会適性判定基準³⁾で決定される異常の程度も同様の神経伝達系の機能異常を反映しているのか

も知れない。

ERG off 応答急峻部の S.Q. が色覚異常の程度判定と有意な相関を示さなかったこと、特に第1異常・第2異常ともに微度の症例の S.Q. が弱度以上の群と同様の値を示したことは、臨床応用の意味においても有用である。先天性赤緑色覚異常の微度の症例には、TMC, AO H-R-R および石原・大熊表の各表のみならずスクリーニングに用いる石原表国際版をもほとんど正読してしまう例もあるので、最終的にはアノマロスコープによる検査が診断の決め手となる。しかしアノマロスコープ検査では、被験者の返答にたよる点などが時に問題となる。この点 ERG off 応答急峻部の S.Q. を指標とすれば、他覚的・客観的に微度の異常を検出することが可能である。ただし、deutan に関しては、500nm と 600nm の 2 波長における S.Q. の上限値は正常対照の S.Q. の下限値と若干重なるので、deutan と正常対照が明確に分離される 480nm と 620nm の 2 波長における S.Q. を指標とすべきである。実際に著者らは微度の deutan 2 名を含む 1 家系を経験し、両名の S.Q. (480nm の 620nm に対する比) と正常対照の下限値より低く、deutan の S.Q. の M と M-SD の間にあったことを既に報告¹³⁾している。今後、仮性同色表とアノマロスコープ検査結果が一致しないなどの診断に苦慮する症例に対する S.Q. の応用が期待される。

文 献

- 1) **Farnsworth D**: Testing for color deficiency in industry. Arch Indust Health 16: 100-103, 1957.
- 2) **飯沼 巖**: 色覚異常の程度分類について一特にアノマロスコープと ND フィルターによる I~VII 分類一. 眼紀 23: 166-169, 1972.
- 3) **馬嶋昭生**: 先天性色覚異常の診断基準について (III) - パネル D-15 とランタン併用による社会適性判定基準 (馬嶋試案) とその検討一. 眼紀 23: 170-175, 1972.
- 4) **Brown KT**: The electroretinogram: Its components and their origins. Vision Res 8: 633-677, 1968.
- 5) **田辺謙二**: 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.
- 6) **Yonemura D, Kawasaki K**: New approaches

to ophthalmic electrodiagnosis by retinal oscillatory potential, drug-induced response from retinal pigment epithelium and cone potential. Doc Ophthalmol 48: 163-222, 1979.

- 7) **仲里博彦, 河崎一夫, 米村大蔵**他: 先天性色覚異常の他覚的検査法の研究, 主に第一色覚異常について. 日眼 85: 1513-1520, 1981.
- 8) **Kawasaki K, Yonemura D, Nakazato H, et al**: Abnormal spectral sensitivity of the electroretinographic off-response in protanopia and protanomalia. Doc Ophthalmol 53: 51-60, 1982.
- 9) **仲里博彦, 米村大蔵, 河崎一夫**他: 第1および第2色異常の他覚的検査法の研究: 2 波長における off 応答感度比の検討. 日眼 88: 565-571, 1984.
- 10) **仲里博彦, 河崎一夫, 米村大蔵**他: 第1または第2色覚異常の保因者の他覚的検出. 日眼 89: 548-555, 1985.
- 11) **Nakazato H, Hanazaki H, Kawasaki K, et al**: Electroretinographic off-response in congenital red-green color deficiency and its genetic carrier. Doc Ophthalmol 63: 179-186, 1986.
- 12) **花崎秀敏, 仲里博彦, 田辺久芳**他: 正常レーレー均等を示す先天性赤緑色覚異常者の電気生理学的所見. 眼紀 38: 83-87, 1987.
- 13) **花崎秀敏, 仲里博彦, 田辺謙二**他: Protan の男子 1 例と deutan の男子 2 例から成る 3 兄弟とその母親の 1 家系一自覚的および ERG 検査所見一. 日眼 91: 553-558, 1987.
- 14) **Smith VC, Pokorny J**: Large-field trichromacy in protanopes and deuteranopes. J Opt Soc Am 67: 213-220, 1977.
- 15) **Jaeger W, Krastel H**: Dichromatic and anomalous trichromatic colour vision examined with small and large field matches by means of the projection anomaloscope. Doc Ophthalmol Proc Series 39: 147-154, 1984.
- 16) **Nathans J, Piantainda TP, Eddy RL, et al**: Molecular genetics of inherited variation in human color vision. Science 232: 203-210, 1986.
- 17) **Hurvich LM, Jameson D**: Color theory and abnormal red-green vision. Doc Ophthalmol 16: 409-442, 1962.
- 18) **近藤昭治, 内藤 昇**: 色覚のシミュレーション(3) Panel D-15 test による考察, 第7回色覚研究会夏季大会, 東京, 1985.