

第2色覚異常者における Color Pattern VECP

検査法の評価 (図7, 表2)

塚本 光俊・柿栖 米次・安達恵美子 (千葉大学医学部眼科学教室)

要 約

先天赤緑色覚異常の診断は現在仮性同色表, 色相配列検査, アノマロスコープなど自覚の色覚検査法を用いて行われる。今回我々は先天赤緑色覚異常の他覚的検出を目的として, カラーパターン刺激による視覚誘発電位 (VECP) を第2色覚異常者より記録し, 色覚正常者とは異なる結果を得たので報告する。対象は色覚正常者9人, 第2色弱6人, 第2色盲6人である。方法は安達の開発した等エネルギー色図形刺激発生装置を刺激に用い, モニター画面上に3種の等エネルギーの補色同志の組合わせである市松模様を発生させた。Protan, Deutan, Tritan のほぼ中性色同志の2色の組合わせである, パターンリバーサル刺激を用い100回加算平均した。P₁₀₀成分の振幅, 潜時を計測対象とした。第2色盲では色覚正常者に比して Protan, Deutan 刺激における P₁₀₀成分の振幅の有意な減少, 潜時の有意な延長をみた。以上より VECP を用いて第2色覚異常者の他覚的検出が可能であった。(日眼会誌 93: 993—1001, 1989)

キーワード: 色覚, 視覚誘発電位, 等エネルギーカラーパターン発生装置, 第2色覚異常, 他覚的診断

Evaluation of Color Pattern VECP in Deutan

Mitsutoshi Tsukamoto, Yonetsugu Kakisu and Emiko Adachi-Usami

Department of Ophthalmology, School of Medicine, Chiba University

Abstract

Using an Equi-Energy-Color Pattern Generator, color vision experiments were performed on nine normal subjects, six cases of deuteranomalies, and six cases of deuteranopias with the use of Visually-evoked cortical potentials (VECPs). Checkerboard patterns, consisting of the pairing of any chosen one of three colors with its complementary color in terms of equal energy, were used. The pairing of a neutral color with its complementary color of protan, deutan and tritan were displayed on a color TV monitor. We measured the amplitude and latency of P100 component of VECPs.

Cases of deuteranopia showed significantly smaller amplitude and longer latency of P100 component in protan and deutan responses than did normal subjects.

Cases of deuteranomaly showed significantly smaller amplitude and longer latency of P100 component in only protan response compared to those of normal subjects. It was possible to objectively detect the deutan in color pattern VECPs. (Acta Soc Ophthalmol Jpn 93: 993—1001, 1989)

Key word: Color vision, VECPs, An Equi-Energy-Color Pattern Generator, Deutan, Objective diagnosis

別刷請求先: 280 千葉市亥鼻1-8-1 千葉大学医学部眼科学教室 塚本 光俊
(平成元年5月29日受付, 平成元年7月20日改訂受理)

Reprint requests to: Mitsutoshi Tsukamoto, M.D. Dept. of Ophthalmol., School of Med., Chiba Univ.
1-8-1 Inohana, Chiba 280, Japan

(Received May 29, 1989 and accepted in revised form July 20, 1989)

I 緒 言

先天赤緑色覚異常の診断は現在仮性同色表、色相配列検査、ランタンテスト、アノマロスコープなど自覚的検査で行われる。自覚的検査は患者の応答にすべて頼るため、検査者の技術、患者の年齢、性格、検査に対する姿勢などに影響され、結果が不明瞭なことがある。

一方このような自覚的検査の欠点を補うべく他覚的診断の可能性が示されてきた。電気生理学的検査を用いるものとしてはまず網膜電図(ERG)がある。ERGの早期視細胞電位¹⁾²⁾(ERP), off 応答急峻部³⁾⁴⁾(rapid decay), photopic b波の時限走査記録法を用いた報告⁵⁾⁶⁾がある。さらに視覚誘発電位(VECP)は黄斑部機能をよく反映するため色覚異常に対する応用が報告^{7)~11)}されている。

今回安達¹²⁾の開発した等エネルギー色図形刺激発生装置を用い、カラーパターンVECPを第2色覚異常者より記録し、色覚正常者とは異なる結果を得たので報告する。

II 実験方法および対象

対象は色覚正常者9人(平均29.2歳)、第2色盲6人(平均10.5歳)、第2色弱6人(平均13.8歳)である。全例矯正視力は1.0以上であり、眼科的異常所見は認められなかった。

方法は自覚の色覚検査として両眼視で、北向き昼光下で、色覚正常者は石原表で確認し、色覚異常者は石原表、石原大熊表、東京医大表、標準色覚検査表、Panel D-15、アノマロスコープを施行し、赤緑色覚異常の分類、程度判定を行った。同日他覚の色覚検査として、刺激には安達の開発した等エネルギー色図形刺激発生装置を用い、モニター画面(8°6′の円)上に3種の等エネルギーの補色同志の組合わせである市松模様を発生させた。Tritanのほぼ中性色である紫($x=0.266$, $y=0.260$)と黄緑($x=0.270$, $y=0.294$)の組合わせ、同様に Protanの赤($x=0.284$, $y=0.276$)と青緑($x=0.254$, $y=0.278$)、Deutanの緑($x=0.256$, $y=0.282$)と赤紫($x=0.282$, $y=0.272$)の中性色の組合わせである。図1に刺激に用いた色の色度図上の位置を示す。check size 32′の補色同志のコマは3回/秒に反転し、矩形波変調であり、平均輝度は 130Cd/m^2 である。被験者には $O_z(+)$ 、耳朶 $(-)$ に電極をつけ、片眼で2m離れた刺激野の中心を固視させた。解析時間を500 msecとし、100回加算平均した。3種のカラーパターン刺激に対しおのおの2回ずつ、計6回VECP検査を行い、反応のよいほうを記録として採用した。

Tritanの補色同志の刺激をTritan刺激、それによって得られた反応をTritan反応と呼ぶと、得られた波形はほぼ50msecで下向き(N_1)、100msecで上向き(P_1)、150msecで下向き(N_2)の成分が認められた。

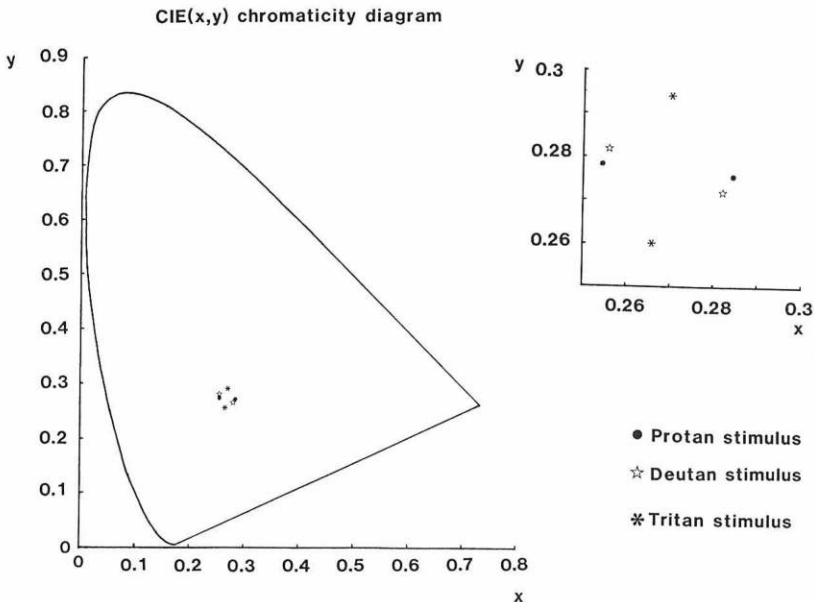


図1 実験に用いた3種の補色同志の色の色度図上の位置

N₁からP₁までをP₁振幅、P₁からN₂までをN₂振幅とする。P₁振幅、N₂振幅、P₁頂点潜時を計測対象とした。同様にProtanの補色同志の刺激をProtan刺激、Deutanの補色同志の刺激をDeutan刺激、それによって得られた反応をそれぞれProtan反応、Deutan反応と呼ぶ。Tritan反応と同様に、P₁振幅、N₂振幅、P₁頂点潜時を計測対象とした。同一被験者においてP₁振幅、N₂振幅についてはTritan反応に対するProtan、Deutan反応での相対値を求め、またP₁頂点潜時は計測値を対象とし、色覚正常者と比較検討した。

III 結 果

1. 自覚的色覚検査結果
- 第2色弱6人（症例1～症例6）の結果を表1に、第2色盲6人（症例7～症例12）の結果を表2に示す。第2色弱は男子5人、女子1人、全例Panel D-15はPassであった。第2色盲6人は全例男子であり、Panel D-15 Failであった。
2. 実際に記録されたVECP波形について
- 色覚正常者、第2色弱、第2色盲のおのおの2名より得られた実際の波形をそれぞれ図2、図3、図4に示す。

図2上は色覚正常者の13歳男子より得られた波形である。Protan反応のP₁相対振幅は0.70、N₂相対振幅は0.77、Deutan反応のP₁相対振幅は0.80、N₂相対振幅は0.87、P₁頂点潜時はProtan反応は107msec、Deutan反応は125msec、tritan反応は98msecであった。

図2下は色覚正常者の29歳男性より得られた波形である。Protan反応のP₁相対振幅は0.96、N₂相対振幅は1.16、Deutan反応のP₁相対振幅は1.04、N₂相対振幅は1.00、P₁頂点潜時はProtan反応は103msec、Deutan反応は98msec、Tritan反応は100msecであった。

色覚正常者はTritan反応が一番良好であるが、Protan反応、Deutan反応も大きく、また各反応のP₁頂点潜時にも顕著な差は認めない。

図3上は第2色弱の症例5より得られた波形である。Protan反応のP₁相対振幅は0.43、N₂相対振幅は0.39、Deutan反応のP₁相対振幅は0.70、N₂相対振幅は0.56、P₁頂点潜時は、Protan反応は130msec、Deutan反応は123msec、Tritan反応は118msecであった。

図3下は第2色弱の症例1より得られた波形であ

表1 第2色弱6人の自覚的色覚検査結果

症例	年齢	性別	石原	石原・大熊	TMC	SPP	D-15	A. Q.
1	15	M	D	D 弱	D中	D	Pass	4.31～1.64
2	12	M	D	D 弱	D弱	D	Pass	6.16～2.63
3	12	F	D	D 中	D中	D	Pass	3.11～3.00
4	17	M	正常	赤緑微度	D弱	D	Pass	2.47～1.55
5	15	M	D	P 弱	D中	D	Pass	13.5～2.47
6	12	M	D	D 中	D中	D	Pass	9.84～4.31

M : Male, F : Female, P : Protan, D : Deutan

表2 第2色盲6人の自覚的色覚検査結果

症例	年齢	性別	石原	石原・大熊	TMC	SPP	D-15	A. Q.
7	10	M	D	D 中	D強	D	fail D	∞～O D
8	11	M	D	D 強	D強	D	fail D	∞～O D
9	10	M	D	D 中	D強	D	fail D	∞～O D
10	10	M	D	D 中	D強	D	fail D	∞～O D
11	9	M	D	D 中	D強	D	fail D	∞～O D
12	14	M	D	D 強	D強	D	fail D	∞～O D

M : Male, D : Deutan

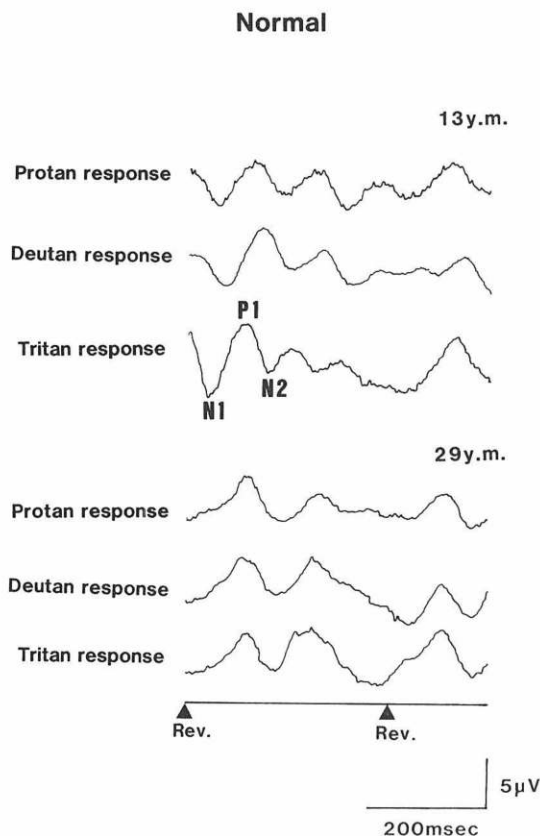


図2 色覚正常者より記録された実際の VECP 波形

る。Protan 反応の P_1 相対振幅は0.57, N_2 相対振幅は0.21, Deutan 反応の P_1 相対振幅は0.86, N_2 相対振幅は0.71, P_1 頂点潜時は, Protan 反応は162msec, Deutan 反応は140msec, Tritan 反応は123msec であった。

第2色弱では Tritan 反応に対して Protan 反応が振幅も小さく, また protan 反応の P_1 頂点潜時が延長している。

図4上は第2色盲の症例7より得られた波形である。Protan 反応の P_1 相対振幅は0.12, N_2 相対振幅は0.30, Deutan 反応の P_1 相対振幅は0.44, N_2 相対振幅は0.34, P_1 頂点潜時は, Protan 反応は185msec, Deutan 反応は130msec, Tritan 反応は123msec であった。

図4下は第2色盲の症例8より得られた波形である。Protan 反応の P_1 相対振幅は0.37, N_2 相対振幅は0.14, Deutan 反応の P_1 相対振幅は0.37, N_2 相対振幅は0.59, P_1 頂点潜時は Protan 反応は147msec, Deutan

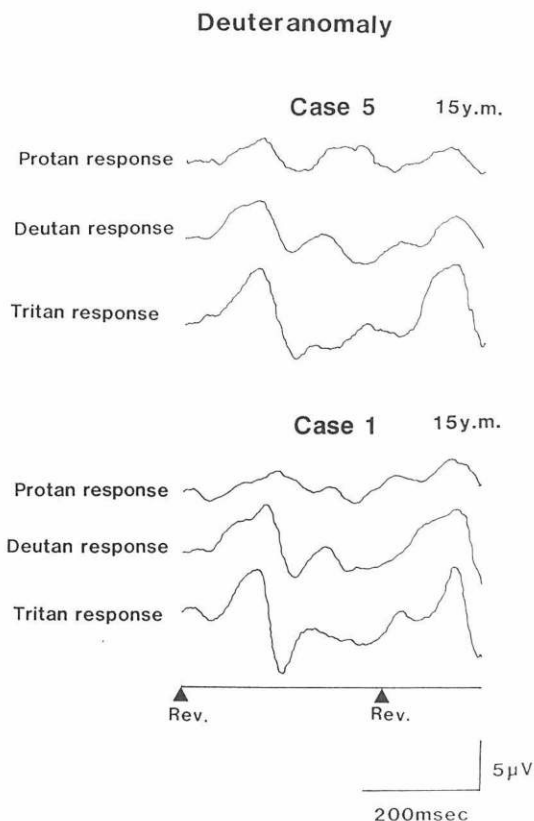


図3 第2色弱者より記録された実際の VECP 波形

反応は118msec, Tritan 反応は108msec であった。

第2色盲では Tritan 反応に比して, Protan 反応, Deutan 反応の振幅とも小さく, また P_1 頂点潜時も延長している。

3. Tritan 反応に対する Protan 反応の P_1 , N_2 相対振幅

P_1 相対振幅は第2色盲では色覚正常者より有意に小さく, また N_2 相対振幅は第2色盲, 第2色弱双方とも色覚正常者より有意に小さかった(図5)。

4. Tritan 反応に対する Deutan 反応の P_1 , N_2 相対振幅

P_1 相対振幅, N_2 相対振幅とも第2色盲では色覚正常者に比して有意に小さかったが, 第2色弱では色覚正常者との間に差を認めなかった(図6)。

5. P_1 頂点潜時

Protan 反応では第2色盲, 第2色弱とも色覚正常者より有意に延長した。また Deutan 反応では第2色盲は色覚正常者に比して有意に延長した, Tritan 反応では3者において有意差はなかった(図7)。

Deutanopia

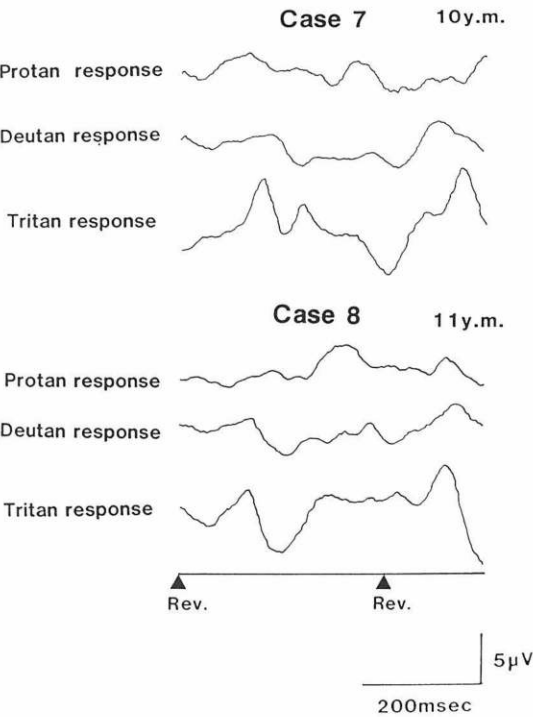


図4 第2色盲者より記録された実際の VECP 波形

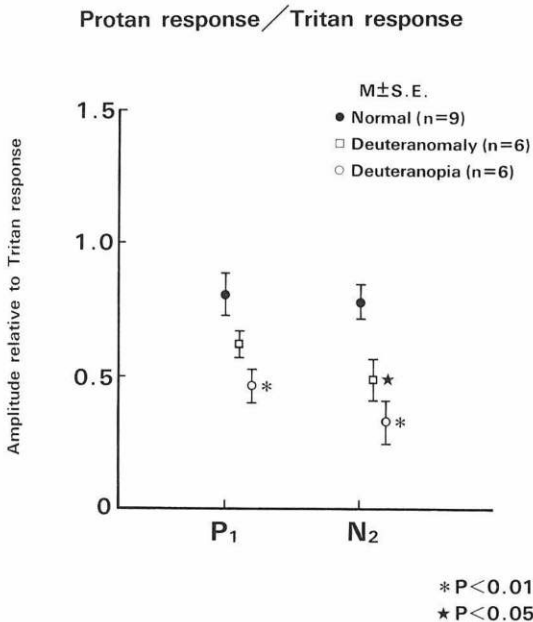


図5 Tritan 反応に対する Protan 反応の P₁, N₂相対振幅

Deutan response / Tritan response

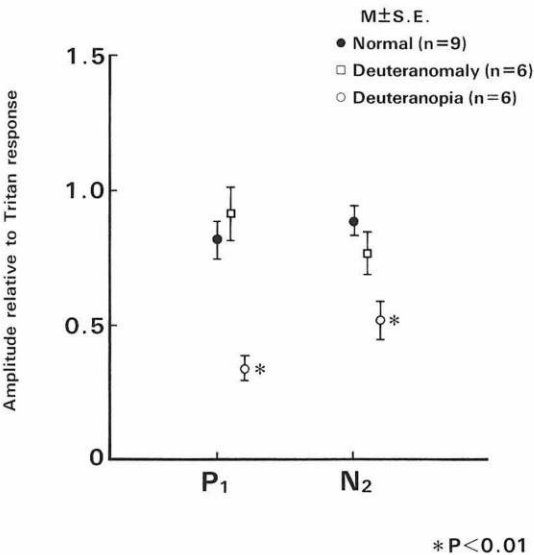


図6 Tritan 反応に対する Deutan 反応の P₁, N₂相対振幅

P₁ peak latency

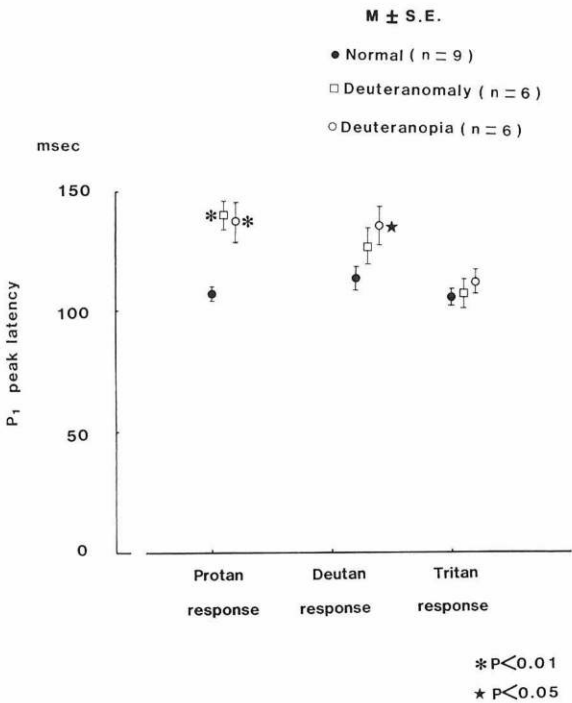


図7 Protan 反応, Deutan 反応, Tritan 反応における P₁₀₀成分の頂点潜時

6. 結果総括

1) 第2色盲では色覚正常者に比して Protan 反応, Deutan 反応の P_1 , N_2 相対振幅の有意な低下および P_1 頂点潜時の有意な延長を認めた。

2) 第2色弱では色覚正常者に比して Protan 反応の N_2 相対振幅の有意な低下および P_1 頂点潜時の有意な延長を認めた。

3) 第2色盲と第2色弱の Protan 反応の N_2 相対振幅, P_1 頂点潜時には有意差はなかった。

IV 考 按

ヒトの色覚のメカニズムは3種の錐体細胞の興奮より始まる。この3種の錐体の分光感度特性は自覚的検査では, Wald¹³⁾を始めとする心理物理学の検査で明確になっている。これを他覚的に証明したのが頭微分光法を用いた単一錐体の吸光特性の研究で, Marks¹⁴⁾, Brown ら¹⁵⁾により, 青, 緑, 赤に吸収極大をもつ3種の錐体が報告された。一方先天2色型色覚の病因については König らが欠落説を主張したが, これを他覚的に証明したのが Rushton ら^{16)~18)}である。彼らは fundus reflectometry を用いて, protanopia の中心窩には色覚正常者で認められる2種の視物質, chlorolabe, erythrolabe のうち chlorolabe のみが認められ, deuteranopia の中心窩には erythrolabe のみが認められると報告し, 先天2色型色覚異常が一部の視物質の欠落という錐体レベルの他覚的異常であることが証明された。

電気生理学的手法を用いて他覚的に色覚異常を検討したものには網膜電図(ERG)を用いたものと視覚誘発電位(VECP)を用いたものに分けられる。ERGの早期視細胞電位(ERP)は視細胞外節機能を反映するといわれているが, 田辺ら^{11,12)}はこれを用いて第1および第2色覚異常のERPスペクトル反応曲線が正常とは異なることを報告した。更にERGのoff応答急峻部(rapid decay)のほうから, 視細胞レベルにおける異常の検出のためにはpost synapticな電位の混入が少ないためより優れているとし, 仲里ら³⁴⁾はこのoff応答急峻部の分光感度曲線を求め, 色覚正常, 第1および第2色覚異常の3群の間で明らかに相違したと報告した。また仲里らは, off応答急峻部スペクトル感度において, 480nmにおける閾値に対する620nmにおける閾値の比を正常と比較して, 第1異常では有意に大きく, 第2異常では有意に小さくなることを報告し, 他覚的診断が可能であることを示した。

一方吉田ら⁵⁾は明順応ERGのb波に注目し, 時限走査記録法によりERG b波のスペクトル特性を求め, 正常者は550~560nmに最大反応があるが, 第1色覚異常では540nm付近に最大反応を有し長波長側で著明な反応低下を認めたのに対し, 第2色覚異常では570~580nmにピークが移動したという。吉田らはこのb波のスペクトル特性をみることは, b波のoriginより考えて視細胞レベルの反応とは異なり, 視細胞から視神経へと伝達される間に水平細胞やアマクリン細胞などから何らかの干渉を受け, ある程度整理された色覚情報を反映していると想定している。またサイン波刺激によるフリッカーERGのoriginが視細胞とする報告¹⁹⁾もあり, Uji ら²⁰⁾はこれを用いて色覚正常者と第1および第2色覚異常者との判別が可能と報告している。これらERGによる検査法は自覚的検査とは異なり, 刺激野がGanzfeldあるいはそれに準じたものであり, 後頭葉視覚野まで含めた全視路の色覚機構まで反映するものではなく, 網膜内の限られた反応である点で心理物理学の検査と異なる。一方VECPは黄斑部より後頭葉視覚野まで含めた反応を捉える点で心理物理学の検査とよく相応する。

VECPによる色覚の研究は, その多くは波長感度特性の研究である。それは大脳皮質視覚領近くの頭皮上に電極をおいて記録されるVECPはHubelおよびWieselの一連の研究で示唆されたパターン感覚(コントラスト)に対する変化が強く, 色覚を加えた研究が難しいからである。

つまりVECPを用いた色覚へのアプローチには2つの刺激方法がある。一つは無構造面の光のON-OFF刺激によるluminance VECPと, もう一つは刺激面の光の輝度を一定に保ち, その模様のみを変化させるパターン刺激によるpattern VECPである。

luminance VECPを用いて, Adachi-Usami ら⁷⁾は2色型色覚者の波長感度曲線を求めている。それによると第1色盲では長波長側の著しい感度低下がみられたが, 第2色盲では正常者との差を認めなかったという。

一方pattern VECPを用いた報告では以下のものがある。Estévez および Spekrijse は分光補償法を用いて錐体の分離を行った。用いられた視標は視角3°, check size は赤・緑錐体は15', 青錐体は40'を用い, 2色対比によるパターンリバーサルVECPを2 μ Vをクライテリアとして自動的に分光感度を記録した。2色型色覚者に用いた結果は, 第1色盲は青メカニズムと

緑メカニズムが分離され、第2色盲は青メカニズムと赤メカニズムが分離されたという。この結果は2色型色覚者が受容器欠損説で説明できることを支持する。

Regan⁹⁾は赤と緑の checker board を用いて色覚正常者と第2色盲とを分離した。1.85Hzの appearance-disappearance 刺激を用い、黄色面より赤緑 check が出現、消失をくり返す仕組みである。check size 12', 視角2.2'の視野を使用した。その結果赤と緑の明るさが等エネルギーのとき、色覚正常者では反応がみられるが、第2色盲ではほとんど VECF 波形が消失した。これは刺激を8Hzの pattern-reversal に変えても同様であったという。Reganはこのような結果は、赤い check より引きだされた信号と緑の check より引き出された信号がコントラスト反応を生じる場所に到着する前に第2色盲者では融合してしまうためと説明している。彼らの説明は Fick の融合説を採用している。

Kinney および Mckay¹⁰⁾は2色型色覚者の混同色となる2色の checkerboard を用いた appearance-disappearance 刺激によるパターン VECF を用いて実験を行った。それによると色覚正常者は色相の差のみによる VECF も明度の差のみによる VECF も同様に良好なパターン反応を示したが、2色型色覚者は彼らが混同する色相の差のみによる VECF は良好なパターン反応が得られず、一方明度の差のみによる VECF には良好な反応を示したという。色相の差のみによる刺激のときは2色は等エネルギーに調整されており、check size は30', 刺激視野は10°, 平均輝度は5~6cd/m², 毎秒1回の刺激頻度である。この結果より色覚異常者の他覚的検出が可能と述べている。

本邦では松木¹¹⁾、安達¹²⁾の報告がある。松木¹¹⁾は Orange-Green の15.4Hzの反転市松模様のパターンリバーサル VECF を用いて第2色覚異常者を検査した結果、第2色覚異常者は色覚正常者に比して VECF 振幅の増大と成分波の数の減少を認めている。check size は30'×35', 刺激視野は11°20'×9°5'である。ただ Orange と Green の色が等エネルギーではないため、輝度変化を伴うことによって誘発される contrast VECF の包含は否定できない。

安達¹²⁾は今回の実験に用いた等エネルギー色図形発生装置を開発し、それにより実験を行っている。刺激はモニター画面(8°×6°)上に3種の補色同志の組合わせの市松模様を用いた、check size 44', 平均輝度34Cd/m², 電氣的に調整可能な最高飽和度を仮に100%とし

た。最高飽和度のときの3種の組合わせの色を便宜上 R, G, B とその補色を-R, -G, -B と表現する。appearance time は266msec で矩形波で呈示し、1秒に1回の頻度で刺激を与えた。被験者は O₂(+)と耳朶(-)に電極をつけ中心固視で30回加算平均を行った。色覚正常者は appearance 電位と考えられる波(約100msec で下向き, 120msec で上向き, 200msec で下向きの成分)が (R, -R), (G, -G), (B, -B) のいずれの組合わせの check についても、その頂点潜時が飽和度の低下に従って延長した。色の差による電位波形の変化は認められなかった。一方第1色覚異常者では色覚正常者の VECF に比べて (R, -R) の組合わせに対する VECF 波形が異常で、どの組合わせに対しても、飽和度の変化に伴った頂点潜時の変化が認められなかったという。つまり第1色覚異常者における赤とその補色に対する異常が VECF を用いて検出されたということになる。

以上の文献をふまえて今回の実験を顧ると対象の色覚正常者は平均年齢29.2歳と色覚異常者(第2色弱13.8歳, 第2色盲10.5歳)に比して年齢が高い。VECF 振幅は個人差が大きく絶対値での比較は難かしいので、今回は色覚正常者、第2色覚異常者とも青黄チャンネルは正常と仮定して、Tritan 反応で除した Protan, Deutan 反応の値という相対値を用いたので年齢の影響は少ないと思われる。また計測値をそのまま使った P₁頂点潜時は個人差は少なく、3群とも30歳代までの若年者を被験者としている点、Tritan 反応の潜時に3群で特に差を認めなかったことより年齢の差による VECF の影響は少ないと思われる。もし潜時に関しても Tritan 反応をコントロールとし、Protan 反応, Deutan 反応での相対値を求めてみると、第2色盲では Protan 反応, Deutan 反応では色覚正常者と差はなく、第2色弱では Protan 反応のみ1%の危険率で有意に延長をみたが、Deutan 反応では差をみなかった。第2色弱の Protan 反応のみ有意に延長をみたが理由は不明である。

Pattern VECF の特性として check size は10~20'で最大振幅が得られ、刺激野は6°で最大振幅が得られ飽和することが白黒パターンの教室のデーター²¹⁾で判明している。よって今回はこれをふまえ check size は32', 刺激野は8°6'の円とした。アノマロスコープは2°視野であり、黄斑部への直接刺激としては刺激野をもう少し小さくしたほうがよさそうだが、VECF は視野があまり小さくなると振幅が減少するため、今回は

8°6′を用いた。平均輝度は従来の報告に比べ130cd/m²とかなり明るくしたが、色覚の実験のため高い輝度でよいと思われる。ただ輝度が高いと心理物理学の実験では異常3色型の性状は2色型色覚様に変容してくる。正常から第2色弱を分離するには輝度を高くするのは有利と思われる。ただ VECP においてこのような変化が起こっているかは不明である。今後2色型と異常3色型に対し輝度をかえて実験を行い検討してみたい。

実験に用いた色の色度であるが、電氣的に調整可能な飽和度を仮に100%とすると、今回の色の飽和度は10.4%になる。図1をみてわかるように、かなりC点に近く、低い飽和度である。色覚の実験であるのにこのような低い飽和度を使った理由は、今回の実験条件ではこれ以上飽和度を上げると色覚異常者と色覚正常者の間に差をみないことが予備実験でわかったからである。色覚異常者が混同する2色を用い、等エネルギーとしコントラスト VECP の包含を除外し、純粋なカラーパターン刺激による VECP を今回の実験は記録している。刺激野に色覚異常者が混同する2色を呈示しても、かなり低い飽和度を用いなければ第2色盲ですら VECP を用いては他覚的に検出できない。第2色弱も今回は Proton 反応の N₂ 相対振幅の有意な低下、P₁ 頂点潜時の有意な延長をみたが、症例がふえると正常者との差がなくなる可能性がある。また今回の実験では他覚的に Color Pattern VECP を用いて第2色盲と第2色弱の区別はできなかった。

Proton 刺激、Deutan 刺激はそれぞれの中性色同志を選んで決定し、Deutan 刺激が低下するのを予想して実験したが、実際に実験してみるとこの2者は赤緑刺激と総称できるぐらいの意味しかないことがわかった。第2色弱ではかえて Protan 刺激のほうに正常と差がみられてしまった。Protan 刺激、Deutan 刺激を用いて第1色覚異常、第2色覚異常の鑑別を行うとしたら、飽和度を何段階か変えて、そのときの振幅、潜時を計測し、そのパターンから可能になるかもしれない。すでに安達¹²⁾が1例ではあるが第1色覚異常者で同様の方法で実験を行い正常とは異なる結果を得たことはすでに述べた。

一方 ERG を用いた実験では、色覚正常、第1色覚異常、第2色覚異常の分離が他覚的に可能であるとの報告^{4)~6)}が多く、今回の著者の実験より優れているようである。ただ ERG を用いた実験は網膜内での色覚現象を捉えているにすぎず、これに対し VECP は黄斑部

より視覚領までのすべての電気現象の総和であり、心理物理学の実験とも似ており、他覚的にそれを捉えられるところに価値がある。

石原表をはじめとする仮性同色表は色混同を起こりやすくするため、色を一面に塗らず色斑として配置したり、主たる色とそれに近い数色を使って色の差をぼかしたり、さまざまなテクニックを駆使して作られている。それに比較して今回の刺激条件の色はあまりにも単純である。刺激条件をいろいろ変えても仮性同色表の巧さにははるかにおよばないと思われる。ただ自覚の色覚検査法しか確立していない現在、他覚の色覚検査の確立は急務と思われる。実験条件を工夫して検出力をあげたいと考えている。

文 献

- 1) 田辺譲二, 河崎一夫, 米村大蔵他: 先天性赤緑色覚異常における早期視細胞電位の分光特性. 日眼会誌 89: 1145—1150, 1985.
- 2) 田辺譲二, 田辺久芳, 花崎秀敏他: 先天赤緑色覚異常における ERP の分光特性. あたらしい眼科 2: 1763—1765, 1985.
- 3) 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1色覚異常について. 日眼会誌 85: 1513—1520, 1981.
- 4) 仲里博彦, 米村大蔵, 河崎一夫他: 第1および第2色覚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. 日眼会誌 88: 565—571, 1984.
- 5) 吉田輝也, 宇治幸隆, 小林雄二他: 色覚異常者の色光 ERG 特性について. 眼紀 29: 763—770, 1978.
- 6) 宇治幸隆, 竹内文友, 横山 実: 先天色覚異常の単色光 ERG—色光順応下のスペクトル特性—, 日眼会誌 88: 532—539, 1984.
- 7) Adachi-Usami E, Heck J, Gavriysky V, et al: Spectral sensitivity function determined by the visually evoked cortical potential in several classes of color deficiency (cone monochromatism, rod monochromatism, protanopia, deuteranopia). Ophthal Res 6: 273—290, 1974.
- 8) Estévez O, Spekrijse H, van den Berg TJTP, et al: The spectral sensitivities of isolated human color mechanisms determined from contrast evoked potential measurements. Vision Res 15: 1205—1212, 1975.
- 9) Regan D, Spekreijse H: Evoked potential indication of colour blindness. Vision Res 14: 89—95, 1974.
- 10) Kinney JAS, McKay CL: Test of color-defective vision using the visual evoked response. J opt Soc Amer 64: 1244—1250, 1974.

- 11) 松木恒生：カラーテレビを用いた Pattern Reversal VER の研究, 眼紀 31 : 1180—1188, 1980.
 - 12) 安達恵美子, 千葉弥幸, 千葉次郎他：等エネルギーカラーパターン発生装置の試作と第1色覚異常のVECP記録への応用, 眼紀 32 : 1517—1521, 1981.
 - 13) Wald G : The receptors of Human color vision. Science 145 : 1007—1016, 1964.
 - 14) Marks WB, Dobellé WH, MacNichol EF : Visual pigments of single primate cones. Science 43 : 1181—1183, 1964.
 - 15) Brown PK, Wald G : Visual pigments in single rod and cones of the human retina. Science 144 : 45—51, 1964.
 - 16) Rushton WAH : Visual pigments in the colour blind. Nature 182 : 690—692, 1958.
 - 17) Rushton WAH : A cone pigment in the protanope. J Physiol. 168 : 374—388, 1963.
 - 18) Rushton WAH : A foveal pigment in the deuteranope. J Physiol 176 : 22—37, 1965.
 - 19) Baron WS, Boynton RM : Response of primate cones to sinusoidally flickering homochromatic stimuli. J Physiol 246 : 311—331, 1975.
 - 20) Uji Y : Spectral characteristics of electroretinography in congenital red-green color blindness. Jpn J Ophthalmol 31 : 61—80, 1987.
 - 21) 安達恵美子：ヒト VECP の基礎, 田澤 豊 編：眼科 Mook, 14, 眼と電気生理, 東京, 金原出版, 162—172, 1980.
-