

不同視弱視における両眼視の電気生理学的研究

—disparity 刺激および pattern 刺激の比較—(図7, 表1)

田中 悦子・小口 芳久 (慶応義塾大学医学部眼科学教室)
真島 行彦・植村 恭夫

Binocular Interaction in Anisometropic Amblyopia

Using the Static Random-dot Stereogram

VEP and the Pattern Reversal VEP

Etsuko Tanaka, Yoshihisa Oguchi, Yukihiko Mashima

and Yasuo Uemura

Department of Ophthalmology, School of Medicine, Keio University

要 約

遠視性不同視弱視26例を弱視眼の矯正した遠見字づまり視力によりI群(0.7以上), II群(0.6以下)にわけ、VEP上の両眼相互作用について static random-dot stereogram (RDS) による立体視刺激 (disparity 刺激) と pattern 刺激とでいかなる相異が認められるかを検討した。RDS VEP では両眼視 VEP と単眼視 VEP との振幅の比 R, 潜時の差とも両群の間に有意の差を認め、I群は奥行き運動を知覚でき、単眼視 VEP よりも振幅が大きく約9ms 早期に出現する両眼視 VEP が得られ、II群は得られず、心理物理的所見と電気生理的所見(振幅の比および潜時の差)がほぼ一致した。pattern VEP では振幅の比, 潜時の差とも両群の間に有意の差を認めず、振幅の比 R は1.0以上 (binocular summation) を示し、潜時は両眼視と健眼の単眼視との間に有意の差を認めなかった。pattern VEP と RDS VEP は異なる情報処理機構により誘発された VEP と考えられた。(日眼 92: 1466—1472, 1988)

キーワード: 両眼相互作用, 視覚誘発電位, 不同視弱視, ランダム・ドット・ステレオグラム, パターン

Abstract

Binocular interaction in anisometropic amblyopia was evaluated using both the static random-dot stereogram VEP and the pattern reversal VEP. Monocular VEPs and binocular VEPs were recorded in 26 patients with anisohypermetropic amblyopia. The patients were divided into two groups according to the line visual acuity of the amblyopic eye. Group I consisted of 12 cases with a visual acuity of higher than 0.7 and group II consisted of 14 cases with a visual acuity of less than 0.6. Static random-dot stereogram VEPs in group I showed binocular summation; the binocular VEPs showed significantly greater amplitudes and shorter latencies than the monocular VEPs, and psychophysically stereopsis was well perceived. In group II, either both eyes interfered with each other creating retinal rivalry and inhibitory binocular interaction in VEPs, or only monocular viewing was perceived showing no VEP summation due to suppression. Pattern reversal VEPs showed binocular summation in both groups I and II but the latencies of the binocular VEPs were not significantly different from the monocular VEPs of the sound eyes. Electrophysiological findings of binocular interaction in static random-dot stereogram VEPs corresponded to the psychophysical findings. (Acta Soc Ophthalmol Jpn

別刷請求先: 160 東京都新宿区信濃町35 慶応義塾大学医学部眼科学教室 田中 悦子 (昭和63年4月15日受付)

Reprint requests to: Etsuko Tanaka, M.D. Dept. of Ophthalmol., School of Med., Keio Univ.

35 Shinano-Machi, Shinjuku-ku, Tokyo, 160, Japan

(Accepted for publication April 15, 1988)

92: 1466—1472, 1988)

Key words: Binocular interaction, Visual evoked potential, Anisometropic amblyopia, Random-dot stereogram, Pattern

I 緒 言

pattern VEP 両眼加算は弱視や斜視の両眼視の他覚的評価方法に應用されているが、報告者により両眼視の程度とVEP両眼加算は相関するというもの^{1)~3)}、相関しないというもの⁴⁾⁵⁾、さまざまである。一方、著者らはさきにstatic random-dot stereogram (RDS) による立体視刺激 (disparity 刺激) を用いて、不同視弱視患者の両眼視につき心理物理とVEPにより検討した結果、自覚的にRDSの奥行き運動を知覚し、VEP上binocular summationを示すには、弱視眼の字づまり視力0.7以上、字ひとつ視力0.8以上が必要であることを報告した⁶⁾。今回は不同視弱視患者を前報⁶⁾の結果から弱視眼の視力により2群に分け、VEP上の両眼相互作用について両眼視VEPと健眼の単眼視VEPに注目し、pattern刺激とRDSによる立体視刺激とでいかなる相異が認められるかを検討した。

II 実験方法

今回使用したRDSによる立体視刺激装置およびVEP記録システムについてはすでに詳細な報告⁷⁾を行っているのので、ここでは簡単に記す。

<刺激条件>

1. RDS VEP

赤および緑色のstatic random-dot patternを20インチ・カラーディスプレイ (Sharp社製20M-202C) 上に提示し、被検者との距離1.5mにてその画素 (random-dot matrix) は視角2', 刺激野は14°×11°である。提示図形は視角120'の市松模様を用い、視差量 (disparity) は交叉10', 非交叉10'とした。赤色の画素を左右に動かすことより市松模様は588ms毎 (0.85 Hz) に矩形波的に基準面の前方、後方に奥行き運動をなし、平均加算器のtrigger pointは市松模様が前方へ飛び出した時とした。緑フィルター (FUJI BPB-53) または赤フィルター (FUJI SC-60) を通しての平均輝度は約5cd/m²となるようにした。被検者は完全屈折矯正後赤緑眼鏡を装用し、暗室でカラーディスプレイ画面中央付近の市松模様を固視点を置かず自由視させた。

2. pattern VEP

刺激装置はMedelec社製Visual Stimulatorを使用し、SONY社製20インチ白黒モニターテレビに矩形波変調のpattern reversal checkerboardを示した。輝度は旭光学製スポットメーターFLにて測定し、コントラストを30%に保持し平均輝度は50cd/m²とした。被検者との距離1.5mにて刺激野は14°×11°、check sizeは視角10'と20'、pattern反転頻度は2Hzを用いた。被検者には、屈折異常を完全矯正したのち、暗室でテレビ画面中央に直径1cmの円形固視目標 (視角20') を置き、これを固視させた。

<実験方法>

実験1: RDS VEP

弱視眼には静止したrandom-dot patternがみえ (緑色の画面)、健眼には奥行き運動刺激となる市松模様図形の部位の画素が視差となる量を左右に横運動しているrandom-dot patternがみえる (赤色の画面) ようにし、両眼視VEPと健眼の単眼視VEP (横運動) を記録し、既報^{6)~12)}と同様に陰性波 (N150) に注目した。自覚的には立体感の有無、カラーディスプレイの色調を確認した。

実験2: pattern VEP

両眼視VEPと健眼の単眼視VEPを記録し、陰性波 (N80) と陽性波 (P120) に注目した。

実験1、実験2ともに振幅の比R (両眼視/健眼の単眼視) および、潜時の差 (健眼の単眼視—両眼視) を求め、両眼相互作用を比較検討した。

<記録条件>

脳波用皿状電極 (Ag-AgCl 電極) をInionより正中線上5% (1/2Oz) および15% (3/2Oz) の頭皮上に固定し、両耳朶を接地電極と不関電極とする単極誘導を用いた。導出された電位は、増幅器 (日本光電社製VC-9) にてhigh-cut 30Hz, low-cut 0.5Hzにて増幅され平均加算器 (日本光電社製ATAC-150) にて32回または64回加算し、X-Yレコーダ (渡辺精機社製WX4301) にて記録した。解析時間はRDS VEPでは500ms, pattern VEPでは250msである。記録は再現性を確認するために2~3回行った。

<実験対象>

昭和61年11月より昭和63年2月までに当科外来を受診した治療中ならびに治療後の遠視性不同視弱視26例である。性別は男子10例、女子16例で、弱視眼は右眼12例、左眼14例である。検査時の年齢は6歳より14歳である(表1)。前報⁶⁾の結果から矯正した遠見字つまり視力(以下、単に視力と記す)によって次の2群に分けた。すなわち弱視眼の視力0.7以上のものをI群(12例)、0.6以下のものをII群(14例)とした。健眼は全例視力1.2のものである。

有意差検定はStudent's t testを用い、相関関係は一

表1 遠視性不同視弱視(26例)のVEP測定時年齢：
弱視眼の視力0.7以上のものをI群(12例)、0.6以下のものをII群(14例)とした。

Age (Y)		6	7	8	9	10	11	12	13	14	Total
No. of patients	Group I (CV $\geq$ 0.7)	2	4	1	0	3	1	0	0	1	12
	Group II (CV<0.7)	2	3	5	3	0	1	0	0	0	14

次回帰直線で表した。

III 結 果

I群とII群の代表例のVEPの波形を図1に例示する。図1の左側は14歳の女児で、弱視眼の視力0.8、TNO test 240'', 自覚的にRDSの奥行き運動を知覚でき、RDS VEP上Rの値は2.14のbinocular summationを示した。pattern VEPでは、check size 10'でRの値は1.18であった。右側は7歳の女児で、弱視眼の視力0.3、TNO test 480'', 自覚的にRDSの奥行き運動は知覚できず、RDS VEP上Rの値は0.47のinhibitionを示し、pattern VEPではRの値は1.17であった。

RDS VEPとpattern VEPの結果を対象とした症例について検討した結果を次に述べる。

1. RDS VEP

図2は各症例の両眼視と健眼の単眼視VEPの振幅の比Rを縦軸に、弱視眼の視力を横軸に示したものである。I群は全例、奥行き運動を知覚でき、画面は黄

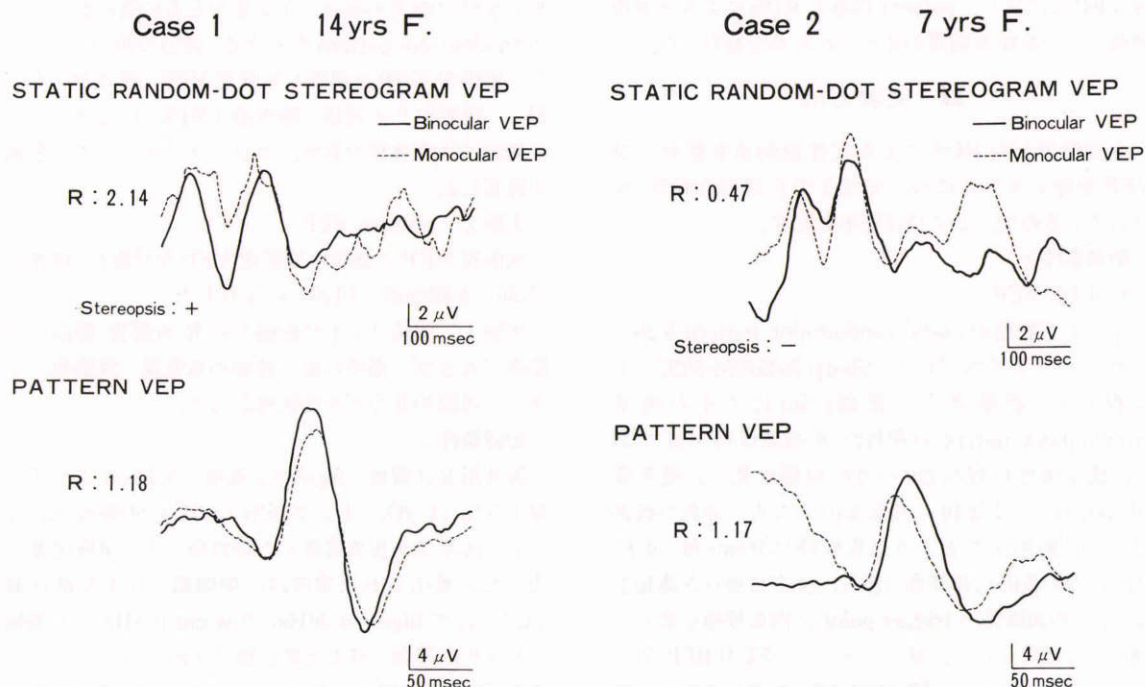


図1 不同視弱視2症例の両眼相互作用：static random-dot stereogramおよびpattern (check size 10')により誘発されたVEPの波形、立体知覚の有無そして両眼視VEPと健眼の単眼視VEPとの振幅の比R：左側(症例1)はI群(弱視眼の視力0.8, TNO test 240'', Titmus circle 9/9), 右側(症例2)はII群(弱視眼の視力0.3, TNO test 480'', Titmus circle 4/9)の症例である。

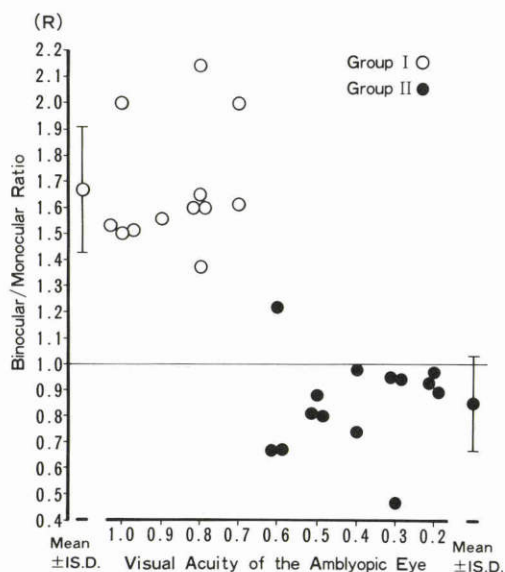


図2 弱視眼の視力とstatic random-dot stereogram VEP上の両眼相互作用：I群(白丸)は全例奥行き運動を知覚でき、Rは1.3以上のbinocular summationを示した。II群(黒丸)は、奥行き運動を知覚できず、Rは1例をのぞいて1.0以下であった(inhibitionまたはzero summation)。

色にみえ、Rは最高2.14、最低1.37のbinocular summationを示した。II群は、奥行き運動を知覚できず、画面は赤色または緑色の画面と交互にみえる状態がおきて、弱視眼の抑制または交代視となり、Rは1例をのぞいて1.0以下であった(inhibitionまたは、zero summation)。平均値(±1 S.D.)は、I群1.67(±0.24)、II群0.85(±0.18)であり、両群の間に有意の差を認めた($p < 0.01$)。

図3は各症例の両眼視と健眼の単眼視VEPの潜時の差(単眼視—両眼視)を縦軸に、弱視眼の視力を横軸に示したものである。I群は両眼視VEPの方が単眼視VEPよりも早く、II群は両眼視VEPの方が単眼視VEPよりも遅く出現する傾向があり、平均値(±1 S.D.)はI群9.2(±11.4) ms、II群-5.7(±11.7) msで両群の間に有意の差を認めた($p < 0.01$)。また、I群の頂点潜時は両眼刺激の方が単眼刺激より有意に短かった($p < 0.05$)。

両眼視と健眼の単眼視VEPの振幅の比Rと潜時の差に相関係数0.65、危険率1%以下で相関を認めた(図4)。

2. pattern VEP

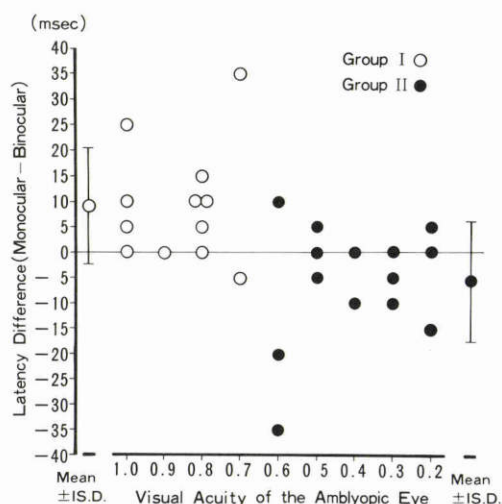


図3 弱視眼の視力とstatic random-dot stereogram VEP上の潜時の差：健眼の単眼視VEP—両眼視VEP(ms)：I群(白丸)は両眼視VEPの方が単眼視VEPよりも早く、II群(黒丸)は遅く出現する傾向を認めた。

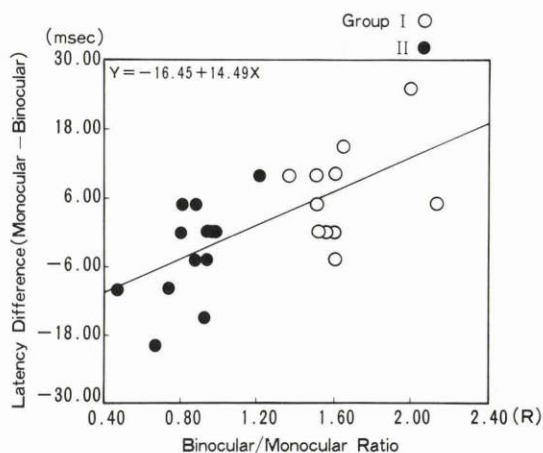
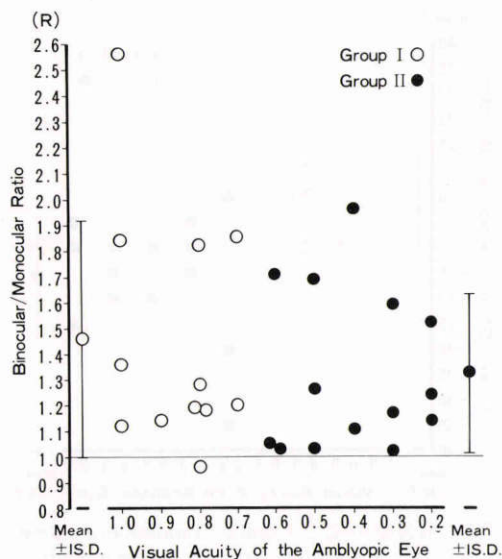
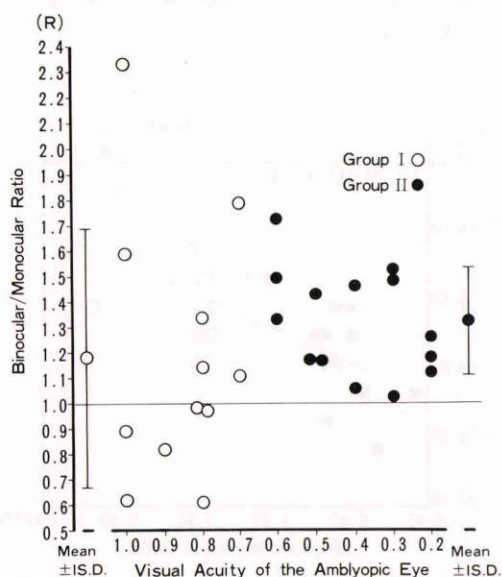


図4 static random-dot stereogram VEP上の両眼相互作用：各症例の振幅の比Rと潜時の差に相関係数0.65、危険率1%以下で相関を認めた。

図5はcheck size 視角10' (図5a)および視角20' (図5b)におけるpattern VEPで各症例の両眼視と健眼の単眼視VEPのN80-P120振幅の比Rを縦軸に、弱視眼の視力を横軸に示したものである。平均値(±1 S.D.)は、check size 10'でI群1.46(±0.46)、II群1.32(±0.31)、check size 20'ではI群1.18(±0.51)、II群1.32(±0.21)のbinocular summationを示し、い



a



b

図5 弱視眼の視力と pattern VEP 上の両眼相互作用: check size 10' (図5a) と 20' (図5b) における各症例の両眼視 VEP と健眼の単眼視 VEP の N80-P120 振幅の比 R: ほとんどの症例が binocular summation を示した。

れも両群の間に有意差は認められなかった。

図6はI群, II群の両眼視と健眼の単眼視 VEP との潜時の差の平均値(±1S.D.)を示したものである。check size 10' で N80潜時の差は I 群 0.5 (±4.8) ms,

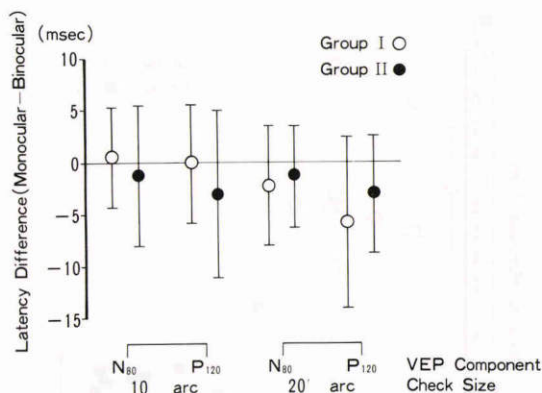


図6 pattern VEP 上の潜時の差: 健眼の単眼視 VEP—両眼視 VEP: 各群の N80潜時の差および P120潜時の差の平均値±1S.D. (ms) を示した。

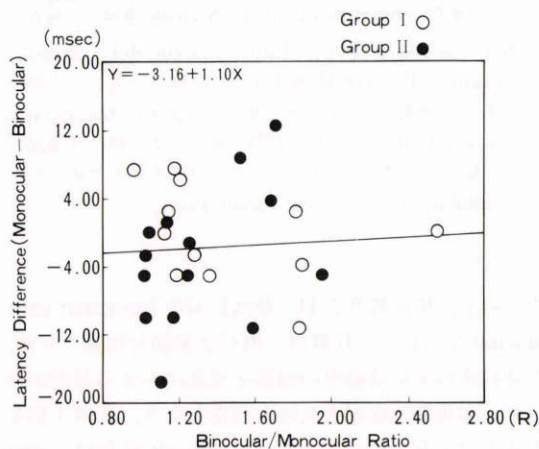


図7 pattern VEP 上の両眼相互作用: check size 10' における各症例の N80-P120 振幅の比 R と P120 潜時の差: 相関係数 0.06, 有意な相関を認めなかった。

II 群 -1.3 (±6.7) ms, P120 潜時の差は I 群 -0.1 (±5.7) ms, II 群 -2.9 (±8.1) ms で、いずれも両群の間および両眼視と健眼の単眼視の間に有意の差は認められなかった。check size 20' では N80 潜時の差は I 群 -2.3 (±5.8) ms, II 群 -1.3 (±4.9) ms, P120 潜時の差は I 群 -5.8 (±8.3) ms, II 群 -3.1 (±5.7) ms で、両群の間に有意の差は認められなかったが、I 群の P120 潜時は両眼刺激の方が健眼の単眼刺激より有意に延長していた ($p < 0.05$)。

pattern 刺激では、各症例の VEP 振幅の比 R と N80 潜時の差または P120 潜時の差は有意な相関を示

さなかった(図7)。

IV 考 按

pattern VEPにて、単眼刺激時より両眼刺激時のVEP振幅が大きいことは、すでに多くの報告があり、弱視や斜視の両眼視の他覚的評価方法に応用されている^{1)~5)}。pattern VEP 両眼加算は、空間周波数特性、時間周波数特性、コントラスト、輝度、刺激野の面積などの刺激条件により大きく影響されるため、報告者により両眼視の程度とVEP両眼加算は相関するというもの^{1)~3)}、相関しないというもの⁴⁾⁵⁾、さまざまである。今回の実験では、臨床応用しやすく十分な振幅を得られる領域を考慮し、コントラスト30%、check size 視角10'と20'、刺激野14'×11'を用いたが、対象とした不同視弱視の両眼視のpattern VEPでは、弱視眼の視力、立体的の程度とは相関せずbinocular summationが認められた。最近ではpattern VEP 両眼加算は2つの独立したmonocular cortical neuronesの単なる和であるとするもの¹³⁾もあり、神経生理学的にbinocular cortical neuronesの存在を必要としないという報告¹⁴⁾もある。

正常者のpattern VEPでは両眼同時刺激では単眼刺激より潜時はわずかに短くなるとされ、pattern VEP 振幅の比と同様潜時の差も両眼視の指標となりうる事が報告されている¹⁵⁾¹⁶⁾。しかしながら、今回の不同視弱視例のpattern VEPでは、I群、II群ともに両眼視VEPの潜時は健眼の単眼視VEPの潜時より短くならなかった。すなわち、不同視弱視では、両眼視VEPと健眼の単眼視VEPとの潜時の差も振幅の比も両眼視の指標となりえないのではないかと考えられた。不同視弱視のcontrast sensitivityは、弱視眼は健眼より不良であるが、健眼と両眼の間で差を認めないということが報告されている^{17)~19)}。また、不同視弱視の健眼のappearance-disappearance刺激によるVEPは、両眼視状態で弱視眼に100%コントラストの静止パターンが示されても抑制されないという報告²⁰⁾もあり、不同視弱視の健眼優位を示すものと思われる。ただ、視力の向上したI群ではII群と比較しRの値のばらつきが大きく、特に視角の大きいcheck size 20'の場合に両眼視の状態で健眼の単眼視よりも小さな反応しか得られず($R < 1.0$)、潜時も遅れるものがあり、何か抑制的な状態が働いていることも考えられる。このことは不同視弱視の治療中止後再び視力低下が起こることなどに関係があるかもしれない、弱視眼の反応も併

せて今後検討すべきことと思われる。

著者らは既に報告しているごとく、VEPを用いる両眼視の他覚的評価方法の開発を行い、RDSによる立体視刺激(disparity刺激)を用いると、VEP上のsummation, inhibition, そしてzero summationが、それぞれ自覚的所見(立体視、視野闘争、そして単眼視)とはほぼ一致し、両眼相互作用における心理物理上の感覚の変化をVEPと関連づけ検討できる利点があることを明らかにした^{6)~12)}。立体図形刺激を用いると、両眼視効果がVEP振幅の上で強調される²¹⁾²²⁾。今回、RDSの奥行き運動を知覚できたI群はRDS VEPではpattern VEPよりもRの値は高値を示した。これまでRDS VEP上の両眼相互作用は振幅から求めたが、今回は潜時も併せて検討した。奥行き運動を知覚できたI群(binocular summation)は両眼視VEPは単眼視VEPより約9ms早期に出現し、知覚できないII群(inhibitionまたはzero summation)はほぼ同じか両眼視VEPの方が遅く出現する傾向を認め、振幅の比と潜時の差に相関を認めた。このことから、図4に示したごとく不同視弱視のRDS VEPでは、心理物理的な奥行き運動の認識と電気生理的なVEPの振幅の比および潜時の差がほぼ一致することがわかった。

以上より、RDS VEPではRDSの前後運動を立体的に知覚できたものはall or noneの単眼視よりも大きい、早期に出現する波が得られ、被検者の立体視と関連した反応と考えられる。しかし、正常者では臨床上の立体視(静的立体視)とこの奥行き運動知覚(動的立体視)とはほぼ一致する¹⁰⁾が、弱視や斜視では同じ立体視(静的立体視)を認めても奥行き運動(動的立体視)を知覚できないものがある⁶⁾¹²⁾ので、VEPにて有意な反応が得られなくとも立体視(静的立体視)がないとは言えない。これに対しpattern VEPでは、不同視弱視は、binocular summationを示す傾向があり、健眼優位で、両眼視VEPの潜時は健眼の潜時により影響される。pattern VEPは形態覚の異常という弱視の健眼、弱視眼の左右差を調べるのに有利な方法であるが、両眼視の評価にはRDS VEPの方がより心理物理と一致したmass responseのVEPからは推論になるが、RDS VEPは奥行き知覚を伴っているので神経生理学的なbinocular depth cells²³⁾、change-of-disparity cells²⁴⁾の発火をひろっている、pattern VEPは同質図形刺激のためそれらは発火していないことが考えられる。pattern VEPとRDS VEPは異なった情報処理機構により誘発されたVEPと考えられた。

文 献

- 1) **Amigo G, Fiorentini A, Pirchio M, et al:** Binocular vision tested with visual evoked potentials in children and infants. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 17: 910—915, 1978.
- 2) **Srebro R:** The visually evoked response. Binocular facilitation and failure when binocular vision is disturbed. *Arch Ophthalmol* 96: 839—844, 1978.
- 3) **Campos EC, Chiesi C:** Binocularity in comitant strabismus: II. Objective evaluation with visual evoked responses. *Docum Ophthalmol* 55: 277—293, 1983.
- 4) **Apkarian P, Levi D, Tyler CW:** Binocular facilitation in the visual-evoked potential of strabismic amblyopes. *Am J Optom Physiol Opt* 58: 820—830, 1981.
- 5) **Nuzzi G, Franchi A:** Binocular interaction in visual-evoked responses: Summation, facilitation and inhibition in a clinical study of binocular vision. *Ophthalmic Res* 15: 261—264, 1983.
- 6) **田中悦子, 小口芳久, 真島行彦 他:** Static random-dot stereogram による立体視の VEP および心理物理学的検討—不同視弱視の症例について—, *眼臨* 82: 317—321, 1988.
- 7) **小口芳久, 真島行彦, 原 裕:** ランダム・ドット・ステレオグラムによる両眼視 VEP 刺激装置の試作. *眼紀* 37: 985—990, 1986.
- 8) **真島行彦, 勝海 修, 小口芳久 他:** 立体視における両眼相互作用の心理物理および電気生理学的研究—輝度による影響—, *日眼* 90: 1381—1387, 1986.
- 9) **真島行彦, 田中悦子, 小口芳久 他:** 視方向の変化の立体視におよぼす影響—心理物理および電気生理学的研究—, *日眼* 91: 347—352, 1987.
- 10) **田中悦子, 真島行彦, 小口芳久 他:** 静的 random-dot stereogram による立体視の VEP および心理物理学的検討—視力の影響について—, *眼臨* 81: 1223—1228, 1987.
- 11) **小口芳久, 真島行彦, 植村恭夫:** Static random-dot stereogram による立体視の VEP および心理物理学的検討—人工的不等像視について—, *日眼* 92: 98—102, 1988.
- 12) **真島行彦, 田中悦子, 野田 徹 他:** 外方への眼位ずれと立体視—心理物理および電気生理学的研究—, *眼臨* 81: 1229—1233, 1987.
- 13) **Shea SL, Aslin RN, McCulloch D:** Binocular VEP summation in infants and adults with abnormal binocular histories. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 28: 356—365, 1987.
- 14) **Sclar G, Ohzawa I, Freeman RD:** Contrast gain control in the kitten's visual system. *J Neurophysiol* 54: 668—675, 1985.
- 15) **安達恵美子, Lehmann D:** パターン VECF の頂点潜時へ及ぼす両眼視の影響. *眼紀* 34: 467—471, 1983.
- 16) **勝海 修, 広瀬竜夫, 谷野 洗:** 視覚系における不等像視の許容限界, パターン・リバーサル VER による他覚的評価法について, *日眼* 90: 301—307, 1986.
- 17) **Eggers HM, Blakemore C:** Physiological basis of anisometropic amblyopia. *Science* 201: 264—267, 1978.
- 18) **植村恭夫:** 弱視に関する研究. *日眼* 68: 663—738, 1964.
- 19) **Smith III EL, Harwerth RS, Crawford MLJ:** Spatial contrast sensitivity deficits in monkeys produced by optically induced anisometropia. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 26: 330—342, 1985.
- 20) **阿部春樹:** チェッカーボード VECF (視覚誘発脳波) による両眼相互作用に関する研究. *日眼* 83: 1575—1583, 1979.
- 21) **Tsutsui J, Kimura H, Fukai S:** Binocular facilitation of VECF and binocular disparity. *Docum Ophthalmol Proc Series* 31: 399—406, 1982.
- 22) **浜田恒一:** 立体視による視覚誘発電位の研究. *慶応医学* 62: 123—135, 1985.
- 23) **Hubel DH, Wiesel TN:** Stereoscopic vision in macaque monkey. *Nature* 225: 41—42, 1970.
- 24) **Pettigrew JD:** Binocular neurones which signal change of disparity in area 18 of cat visual cortex. *Nature New Biol* 241: 123—124, 1973.