

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—(図4)

真島 行彦・田中 悦子 (慶応義塾大学医学部眼科学教室)
小口 芳久・植村 恭夫Ocular alignment and stereopsis in normal subjects
—psychophysical and electrophysiologic studies—Yukihiko Mashima, Etsuko Tanaka, Yoshihisa Oguchi
and Yasuo Uemura*Department of Ophthalmology, School of Medicine, Keio University*

要 約

赤緑眼鏡により左右眼を分離した **static random-dot stereogram** により立体視刺激(奥行き運動)を行ない、プリズムを負荷していき眼位ずれを生じさせ、その時の両眼相互作用を自覚的(立体知覚、カラーディスプレイ画面の色の知覚)および VEP にて他覚的に検討した。両眼の網膜中心領域で正常な網膜対応を維持すれば融像可能で奥行き運動を知覚し、VEP 上 summation の **binocular interaction** ($B: \text{binocular amplitude} > M: \text{monocular amplitude}$)を示した。眼位ずれが大きくなり両眼の対応が中心領域と中心領域外になると、一方は生理的に抑制されたような状態となり単眼視(横運動)とほぼ同じで VEP 上 **zero summation** ($B=M$)となった。そして、これらの状態以外は無意識に両眼が強く干渉し合い(視野闘争の状態)、VEP は抑制され **inhibition of binocular interaction** となった ($B < M$)。(日眼 91: 347—352, 1987)

キーワード: 両眼相互作用, ランダム・ドット・ステレオグラム, 眼位ずれ, 視野闘争, 視覚誘発電位

Abstract

Binocular interaction in visual evoked potentials (VEPs) and subjective visual perception was analyzed by static random-dot stereograms the input of which to each eye was made unequal by binocular misalignment through a prism. Each eye was separated by a red-green glass. When binocular correspondence of the random-dot patterns was achieved by motor fusion, stereopsis was well perceived and VEPs showed binocular summation. When visual input to the two eyes was highly different in retinal correspondence, the visual input from one eye was suppressed, yielding no VEP summation, and only monocular viewing was perceived. In two other conditions, the eyes interfered with each other, creating retinal rivalry and inhibitory binocular interaction in VEPs. (Acta Soc Ophthalmol Jpn 91: 347—352, 1987)

Key words: binocular interaction, random-dot stereogram, ocular misalignment, retinal rivalry, visual evoked potential

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 真島 行彦

Reprint requests to: Yukihiko Mashima, M.D. Dept. of Ophthalmol., School of Med., Keio Univ.

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

(昭和61年10月30日受付) (Accepted October 30, 1986.)

I 緒 言

両眼視機能の正常な発達のためには、両眼の視力が正常に発達し、不等像、不同視や両眼の輝度、コントラストの差など両眼の視覚情報に不均等がないこと、更に眼位を常に正位に保持することが重要で、これら感覚系および運動系がバランスよく発達することが必要である。両眼に入る視覚情報に輝度¹⁾²⁾、網膜上の像の鮮明度³⁾や大きさ⁴⁾⁵⁾に不均等が生じた場合、我々成人の視覚系はそれをある程度まで代償できる。この場合、感覚性融像が維持されるためには眼位は正位に保持されなければならない。眼位のずれにより両眼対応点の網膜像にずれが生じた場合、よせ運動(vergence)によりこれを補正する。しかしながら、このよせ運動(開散運動、輻輳運動)は一定の範囲内に制限されている。今回我々は、static random-dot stereogramによる立体視刺激を用いて運動性融像の範囲の限界前後における両眼視の状態を研究するために、プリズムを加入し運動性融像に負荷をかけ上下運動または開散、輻輳運動を制限し人工的に眼位ずれを生じさせ融像を破り、その前後での両眼相互作用を自覚的およびVEPにより他覚的に比較検討した。

II 実験方法

今回使用した random-dot stereogram による立体視刺激装置および VEP 記録システムの詳細については既報にて報告した⁶⁾。ブロックダイアグラムを図1に示す。

<刺激条件>

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、その画素 (random-dot matrix) は視角2'である。赤緑眼鏡を装着し左右眼に入る pattern を分離し、ディスプレイ画面上のある部分の赤緑の要素に一定の視差をつけておくと、両眼視にてディスプレイ画面上のその部の図形が立体的に見える。この時、ディスプレイ画面全体はほぼ黄色に知覚されている。この図形の赤の要素を左右に動かすことにより図形の奥行き運動が知覚される。従って、一眼には静止した random-dot pattern が見え (緑色の画面)、他眼には同じ random-dot pattern で図形の部分の random-dot pattern が横運動しているのが見える (赤色の画面)。刺激視野は14°×11°、提示図形は視角120'の市松模様を用い、視差量 (disparity) は20'とした。市松模様は588

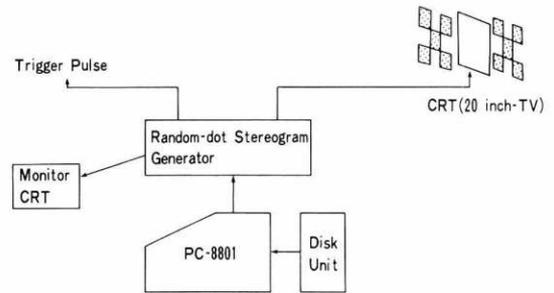


図1 random-dot stereogram 刺激装置のブロックダイアグラム

msec 毎(0.85Hz)に矩形波的に前後し、平均加算器の trigger point は市松模様が前方に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。

<実験方法>

実験1：両眼視している時に静止画面のみ見える眼に1 prism diopter (PD) から25PD までのプリズム・バーを base up に順次加入し、徐々に上下方向の運動性融像を困難にさせていき眼位ずれを生じさせ、自覚的に立体視の消失する前後および消失後で両眼視 VEP を記録した。他眼には常に同一の横運動刺激が加わっている (単眼視 VEP)。

実験2：両眼視している時に静止画面のみ見える眼にプリズム・バーにてプリズムを base out に2PD より順次加入していき輻輳運動を誘発し、または base in に2PD より順次加入していき開散運動を誘発して徐々に運動性融像を困難にさせていき眼位ずれを生じさせ、自覚的に立体視の消失する前後および消失後で両眼視 VEP を記録した。他眼には常に同一の横運動刺激が加わっている (単眼視 VEP)。20PD 以上では、両眼にプリズム・バーを加入した。

各条件下にて両眼視 VEP を記録し、前報²⁾³⁾⁵⁾と同様に陰性波の振幅の比 R (両眼視/単眼視) を求めこれより両眼の相互作用を他覚的に検討した。自覚的な両眼の相互作用は、立体感の有無、カラーディスプレイの色調により検討した。

<記録条件>

電極として Ag-AgCl 皿状電極を用い、関電極は Inion-Nasion 間距離を100%とし Inion より5%および15%の頭皮上に固定し、不関電極と接地電極は両耳朶とした。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回加算した。解析期間は500msecである。記録は再現性を確認するために各被検者について2~3回行なった。

<実験対象>

眼科的に異常がなく矯正視力1.0以上,両眼視機能の正常な19歳から35歳までの男性1人,女性2人である。被検者は完全矯正したのち赤緑眼鏡を装用し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。

III 結 果

1) 実験

3名の被検者について同じ傾向であったのでその1例を示す。

実験1: 図2に VEP の波形, 立体知覚の有無, そしてカラーディスプレイ画面の色の知覚状態を示した。プリズムを base up に順次加入していった場合0~1.5 PD まではRは約1.5の binocular summation を示し刺激図形の明らかな前後運動の知覚は可能であり, 2.0 PD では1.18の binocular summation となり立体視を維持するのにかなり困難を要しややななめ前方の運動になった。ディスプレイ周辺部では前後運動が部分的に不明瞭でありモザイク状に赤色と緑色が時々認められた。ディスプレイ画面全体の融合は可能であった。そして3.0PD ではディスプレイ画面全体の融合は不可能となり緑色と赤色ディスプレイ画面の2つが極くわずかにずれ、立体視は知覚されず横運動となった。画面はおおむね黄色に知覚されたが所々モザイク状または島状に赤色と緑色が入り乱れ(視野闘争), VEP 上 R は約0.85の inhibition の binocular interaction を示した。時間をかけかなり努力しディスプレイ画面全体の融合が可能となると、横運動から突然やや前方運動へと変わったが、binocular summation は1.2程度であった。2つの画面に上下ずれが生じると(たとえば10PD では画面が半分程ずれる), 重なり合った部分はやや黄色であるがその部分を中心に無意識のうちに2つの画面のうち、赤色の画面または緑色の画面が交互に主体となる状態がおきて(視野闘争), VEP はかなり不安定で inhibition の binocular interaction を示した。25PD を加入すると2つの画面は上下に完全に離れて見え、自覚的には意識的な交代視が可能となり赤色の横運動画面が主に知覚され、単眼視 VEP とほぼ

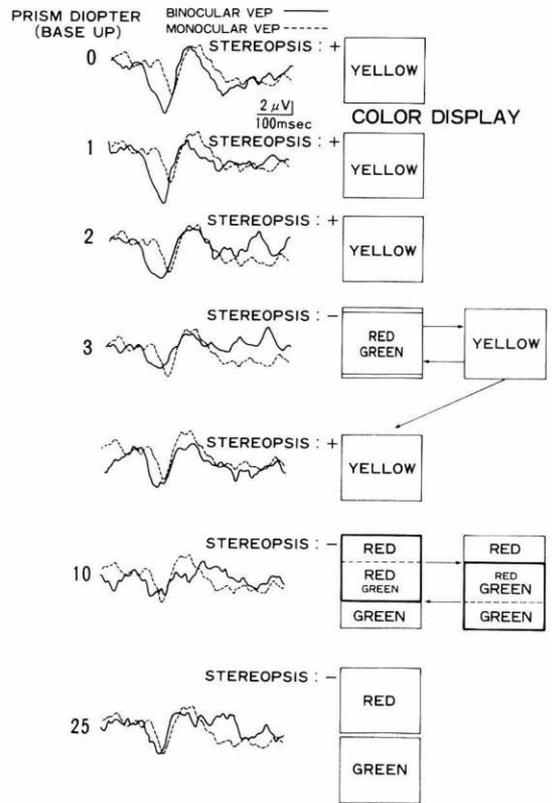


図2 上下偏位による両眼相互作用: random-dot stereogram により誘発された VEP の波形, 立体知覚の有無, そしてカラーディスプレイ画面の色の知覚状態。静止画面の見える眼にプリズムを base up に順次加入し両眼視させ両眼視 VEP を記録した。2つの画面が1つに融像するか, 完全に2つが離れる以外は無意識のうちに両眼が干渉し合い(視野闘争), VEP 上 inhibition の binocular interaction となる。

同じになった (R=1.0)。

実験2: プリズムを base out に2PD より順次加入していった場合の VEP の波形, 立体知覚の有無, そしてカラーディスプレイ画面の色の知覚状態を図3に示した。20PD (輻輳位) までは刺激図形の明らかな前後運動の知覚は可能であったが, 25PD では2つの画面が1つになったり(黄色に知覚), 極くわずかにずれたり(モザイク状または島状に赤色と緑色が入り乱れる)かなり不安定な状態となり自覚的にはほぼ横運動の知覚であった。視野闘争の状態であり VEP 上 binocular inhibition (R=0.8) を呈した。疲れると融像を維持できなくなり赤色と緑色の2つの画面は画面半分程ず

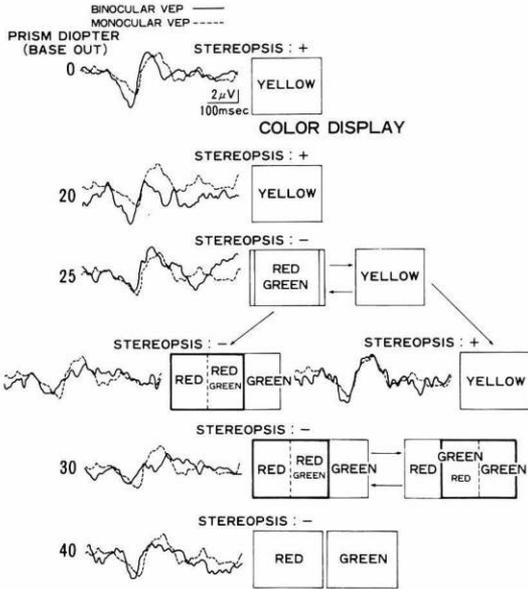


図3 内方偏位による両眼相互作用：random-dot stereogramにより誘発されたVEPの波形，立体知覚の有無，そしてカラーディスプレイ画面の色の知覚状態。静止画面の見える眼にプリズムをbase outに順次加入し両眼視させ両眼視VEPを記録した。2つの画面が1つに融像するか，完全に2つが離れる以外は無意識のうちに両眼が干渉し合い（視野闘争），VEP上inhibitionのbinocular interactionとなる。

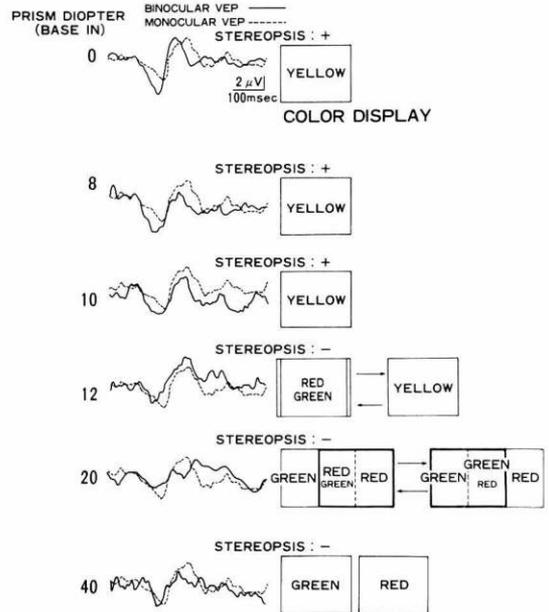


図4 外方偏位による両眼相互作用：random-dot stereogramにより誘発されたVEPの波形，立体知覚の有無，そしてカラーディスプレイ画面の色の知覚状態。静止画面の見える眼にプリズムをbase inに順次加入し両眼視させ両眼視VEPを記録した。2つの画面が1つに融像するか，完全に2つが離れる以外は無意識のうちに両眼が干渉し合い（視野闘争），VEP上inhibitionのbinocular interactionとなる。

れ，重なり合った部分はやや黄色であるがその部分を中心に無意識のうちに2つの画面のうち，赤色の画面または緑色の画面が交互に主体となる状態（視野闘争）がおきた。この場合もVEP上binocular inhibitionを呈した。30PDでは努力しても画面は半分程度しか近寄らず上述と同様の状態であった。一方，わずかな画面のずれにより視野闘争のような状態の時，かなり努力し画面の融合が持続するとややななめ前方方向ではあるが前後運動の知覚は可能となったが（ $R=1.29$ ），立体視を維持することはかなり困難でありディスプレイ周辺部では前後運動が部分的に不明瞭でありモザイク状に赤色と緑色が時々認められた。40PDでは赤色の画面に対し緑色の画面が完全に離れて見え，自覚的には意識的な交代視が可能となり，赤色の画面の横運動が主に知覚された（ $R=1.0$ ）。同様の結果が，プリズムをbase inに順次加入していった場合にも得られた（図4）。8PD（開散位）までは刺激図形の明らかな前後運動の知覚は可能でありRは約1.5のbinocular sum-

mationを示した。10PDでは立体視を維持するのにかなり困難を要しややななめ前方の運動になり（ $R=1.21$ ），ディスプレイ周辺部では前後運動が部分的に不明瞭でありモザイク状に赤色と緑色が時々認められた。12PDになると緑色と赤色ディスプレイ画面の2つがわずかにずれたり時々融合したりし，立体視を維持することは不可能となり横運動の知覚となった（ $R=0.8$ ）。それ以上のPDでは（たとえば20PD）2つの画面が左右にずれ，重なり合った部分を中心に無意識のうちに2つの画面のうち，赤色の画面または緑色の画面が交互に主体となる状態がおきて（視野闘争），VEP上binocular inhibitionを呈した。40PD加入すると赤色の画面に対し緑色の画面が完全に離れて見え，自覚的には意識的な交代視が可能となり，赤色画面の横運動を主に知覚しほぼ単眼視VEPと同じになった。

IV 考 按

実験的に正常人において運動性融像の範囲を越え眼位ずれが生じると融像が不可能となるが、このような状態での pattern VEP による解析では binocular inhibition または zero summation の報告がなされている⁷⁻⁹⁾。しかし、融像がくずれ前後での検討はあまりなされておらず、間歇性外斜視や調節性内斜視の患者において、眼位ずれを生じる過程を考える上で興味ある点である。この場合同質図形による刺激を使用すると融像の範囲の限界近くでは両眼が融像しているのか一眼が生理的に抑制されているのか、両眼の相互作用の状態は不明である。両眼視機能を研究する上で2次元の刺激法では十分とは言えない。3次元刺激の利点は自覚的な立体視の感覚の変化を VEP により他覚的に評価できる点にあり、つまり static random-dot stereogram において赤緑眼鏡を装着し左右眼を分離した場合、両眼で融像している(黄色の画面)のか一眼が抑制されている(赤色または緑色の画面)のか自覚的に判別可能な点である。さらに、視野闘争の状態であれば黄色のディスプレイ画面内で部分的に赤色または緑色がモザイク様に知覚される。従ってこの時 VEP を記録すれば、心理物理上の両眼相互作用を他覚的にとらえることができる程度可能となる。

運動性融像により両眼の random-dot pattern が網膜中心領域で正常に対応していれば感覚性融像により立体視(奥行き運動)可能で、VEP 上 binocular summation が得られる。しかし、運動性融像の限界近くでは立体視を維持することはかなり困難で binocular summation も約1.2~1.3程度であり、ディスプレイ周辺部では一部移動性に視野闘争のような状態を生じていた。そして運動性融像の範囲をわずかに越えた瞬間に立体知覚は消失し、この時画面全体で視野闘争の状態であり VEP では inhibition の binocular interaction となった。この場合両眼ともほぼ中心領域同志の刺激と考えられる。両眼の中心領域に対応のない異なった刺激が加われば、融像できず dichoptic の状態となり両眼視の反応は単眼視以下となる²⁾。binocular summation や inhibition の現象は両眼ともほぼ中心領域同志に刺激が加わっている場合にのみ認められる。一方、眼位ずれにより2つの画面のずれが大きくなり両眼において中心領域と中心領域外の刺激となると、その重なり部分が多い(中心領域同志の刺激に近い)と瞬間的に無意識にどちらか一方の画面が主に交

互に知覚される。この場合も VEP 上 binocular inhibition を呈したが、2つの画面の重なり部分が少なくなり、もし横運動の画面の知覚が主体となれば zero summation に近づくと思われる。眼位ずれが大きくなり2つの画面の重なりがなくなり左右に離れると、意識的な交代視が可能となる。従って、中心領域が横運動だけの刺激となれば VEP 上 zero summation となる。本実験では赤と緑色の2つの画面が1つに融像し奥行き運動を知覚するか、完全に2つが離れる以外は無意識のうちに両眼が干渉し合い(視野闘争)、VEP 上 inhibition の binocular interaction となる。その程度は2つの画面の重なり合う部分の大きさによると思われる。

ネコの視覚領の単一細胞においても同様の現象が電気生理学的解析により示されている。一对の受容野が互いに接近し受容野の中心が重なった時、両眼視細胞のインパルス発射が最も多く、半分程度ずれた時には発射が最も減少する¹⁰⁾。両眼視細胞における神経生理学的実験で、もし受容野中の生理学的網膜の対応点の一致がないと両眼入力が互いに抑制し合い、眼位ずれによる優位眼の確立が生じてこれが廃用性弱視(amblyopia ex anopsia)の成因になる可能性を示している¹¹⁾。これらの結果とヒトの VEP 上の所見は直接比較できないが、興味深い結果である。今後、間歇性外斜視や調節性内斜視の患者において、運動性融像の限界前後の両眼相互作用を本刺激装置を用いて検討したい。

文 献

- 1) Katsumi O, Tanino T, Hirose T: Objective evaluation of binocular function using the pattern reversal visual evoked response II. Effect of mean luminosity. *Acta Ophthalmol* 64: 199-205, 1986.
- 2) 真島行彦, 勝海 修, 小口芳久, 植村恭夫: 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.
- 3) 田中悦子, 真島行彦, 小口芳久, 植村恭夫, 鈴木千鶴子, 畠山早苗: 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.
- 4) 勝海 修, 広瀬竜夫, 谷野 洸: 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.

- 5) 小口芳久, 真島行彦, 植村恭夫: 不等像視が random-dot stereogram による立体視 VEP におよぼす影響について, 第90回日本眼科学会総会(四日市)講演, 1986.
 - 6) 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.
 - 7) **Srebro, R.:** The visually evoked response: Binocular facilitation and failure when binocular vision is disturbed. Arch Ophthalmol 96: 839—844, 1978.
 - 8) **Campos EC:** Anomalous retinal correspondence: Monocular and binocular visual evoked responses. Arch Ophthalmol 98: 299—302, 1980.
 - 9) **Lennerstrand G, Jakobsson P:** Visual evoked potentials to binocular stimulation with disparate patterns. Acta Ophthalmol 60: 373—385, 1982.
 - 10) **Pettigrew JD, Nikara T, Bisop PO:** Binocular interaction on single units in cat striate cortex: Simultaneous stimulation by single moving slit with receptive fields in correspondence. Exp Brain Res 6: 391—410, 1968.
 - 11) **Pettigrew JD, Nikara T, Bisop PO:** Neural mechanism concerned in the development of amblyopia ex anopia. Proc Aus Assoc Neurol 5: 221—224, 1968.
-