

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—(図3)

小口 芳久・真島 行彦・植村 恭夫 (慶応義塾大学医学部眼科学教室)

The Effect of Artificial Aniseikonia on Binocular Interaction in Visual Evoked Potential Elicited by Stereoscopic Stimulus

Yoshihisa Oguchi, Yukihiro Mashima and Yasuo Uemura

Department of Ophthalmology, School of Medicine, Keio University

要 約

両眼視機能正常な被検者にサイズレンズを負荷することにより、人工的に2%~15%の7段階の不等像視を作り、static random-dot stereogram による立体視刺激(動的立体視)を行ない、VEP と心理物理学的検討を行なった結果次の結論を得た。1) 自覚的には不等像視3~5%までは立体感は保持されるが、5%を越えると立体感は消失する。2) VEP 上では、不等像視5%までは binocular summation (両眼加算) が認められるが、5%を越えると消失し15%までは inhibition の相が認められた。3) VEP 上で binocular summation が消失する不等像視のパーセントと自覚的に立体感が消失する不等像視のパーセントは一致する。4) 本実験の刺激条件では立体視(動的立体視)に対する許容限界は5%付近と考えられる(日眼 92:98-102, 1988)

キーワード: 不等像視, 両眼相互作用, Random-dot stereogram, 視覚誘発電位

Abstract

Static random-dot stereograms were employed to evaluate the binocular interaction due to unequal input between two eyes, both objectively by VEP and psychophysically. In subjects with normal binocular function, different levels of aniseikonia (from 2% to 15%) were established by placing lenses of several powers in front of the dominant eye. Psychophysically, perception of stereopsis can be maintained from 3% to 5% aniseikonia, but disappear above 5% aniseikonia. In VEP, binocular summation can be observed below 5% aniseikonia. From 5% to 15% aniseikonia, binocular summation was no longer observed and the inhibition phase took place in binocular interaction. Electrophysiological findings of binocular interaction caused by aniseikonia corresponded to the psychophysical findings, and stereoscopic perception was obtained only in the case of binocular summation. In the present study, the amount of aniseikonia tolerance to maintain stereopsis was considered to be below 5%. (Acta Soc Ophthalmol Jpn 92:98-102, 1988)

Key words: Aniseikonia, Binocular interaction, Random-dot stereogram, 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 小口 芳久 (昭和62年7月20日受付)

Reprint requests to: Yoshihisa Oguchi, M.D. Dept. of Ophthalmol., School of Med., Keio Univ.

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

(Accepted July 20, 1987)

I 緒 言

不等像視が両眼視機能に及ぼす影響についての心理物理的研究は、数多くなされており、両眼視に対する許容限界について約5%であるとの報告が多い^{1)~5)}。不等像視は、眼精疲労あるいは両眼視機能異常の原因の1つとして考えられており、不等像視と眼精疲労に関する研究は数多くなされているが、不等像視と両眼視機能に関する研究は比較的報告は少ない。その原因の1つとして両眼視機能の発達期が乳幼児にあることと、その年齢では自覚的検査が困難であるからである。しかし、心理物理的検査方法が困難な乳幼児の他覚的両眼視機能検査法として最近では視覚誘発電位(VEP)が施行されつつあるが⁶⁾⁷⁾、乳幼児の不等像視と両眼視機能に関するVEPによる検討は行なわれていない。そこで今回はまず、不等像視が両眼視機能に与える影響に関して正常人を用いて人工的に不等像視を作り、VEPと心理物理学的検討を試みた。現在までに報告されているVEPと人工的不等像視の研究では、刺激指標は二次元の平面の場合の片眼と両眼との比較である⁸⁾⁹⁾。この方法では心理物理学的な結果とVEPの結果との比較が困難な点がある。そこで今回著者らは、両眼視機能の中でも最高の機能とされる立体視につきrandom-dot stereogramによる3次元の立体視刺激(奥行き運動刺激)を行ない、サイズレンズを片眼に負荷した場合に認められる両眼の相互作用につき、VEP上と心理物理的に成人被検者を対象として検討したのでその結果を報告する。

II 実験方法

random-dot stereogramによる立体視刺激装置は既報⁹⁾の装置を使用した。

刺激条件

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。刺激視野は $14^{\circ} \times 11^{\circ}$ で、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。市松模様図形は588msec毎に矩形波的に前後し(0.85Hz)、trigger pointは図形が前方に飛び出た時とした。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。赤緑眼鏡を装着し左右眼を分離し、一眼には静止したrandom-dot patternがみえ、他眼には刺激となる市松模様図形

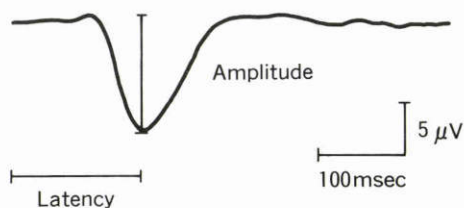


図1 random-dot stereogram刺激によるVEP波形。電位は上向きが正である。

の部位のrandom-dot-patternが横運動することにより視差をつけ両眼視することで奥行き運動が知覚される。この時、ディスプレイ画面全体はほぼ黄色に認識される。

2) 記録条件

使用した福極はAg-AgCl皿状電極で、関電極はInion-Nasion間距離を100%としInionより5%および15%の正中線頭皮上に固定し、増幅器の(+)側に接続した。不関電極と接地電極は両耳朶に置き、不関電極は増幅器の(-)側に接続した。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。解析時間は500msecである。

3. 実験対象ならびに方法

軽度の屈折異常以外には眼科的に異常のない19~35歳の矯正視力1.0以上、両眼視機能正常者(TNO60'), 男性2名、女性4名の片眼にサイズレンズ(保谷硝子株式会社製)を装用することにより2%, 3%, 5%, 7%, 8%, 10%, 15%の7段階の不等像を人工的に作った。各実験の度ごとに“New Aniseikonia Tests”(半田屋製)¹⁰⁾にて自覚的に不等像視のパーセントを確認した後本実験を施行した。静止画面の見える眼にサイズレンズを順次負荷し、両眼開放下にて、static random-dot stereogram刺激を行ない、両眼視VEPを記録した。また静止画面の見える眼を遮閉し、単眼視VEPを記録した。得られたVEPは頂点潜時150msec(N₁₅₀)付近の陰性波振幅を図1に示すように測定した。両眼視VEP振幅と単眼視VEP振幅の比Rを求め、両眼相互作用につき検討した。なお同時に心理物理的にもrandom-dot stereogramの見え方につき調査をし、VEPの結果と比較検討した。

III 実験結果

図2に男性被検者(35歳)の検査結果を示す。図の

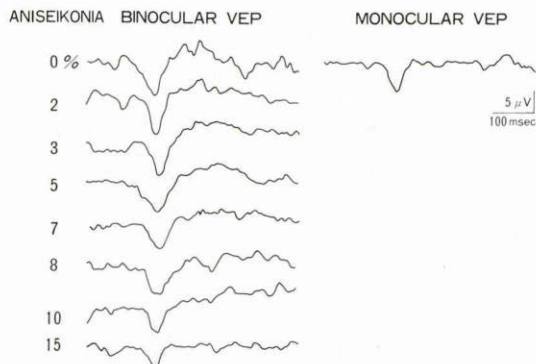


図2 人工的不等像視と random-dot stereogram により誘発された VEP. 静止画面の見える眼に 2～15%の 7 段階のサイズレンズを负荷し、両眼視 VEP を記録した。0%はサイズレンズの负荷のない両眼視 VEP を示し、右上の VEP はサイズレンズと负荷していない眼で見た時の単眼視 VEP で、画面の見え方としては横運動刺激である。

左側の数字は、片眼にサイズレンズを装用して得られた不等像視の程度をパーセントで表わしたものであり、それぞれの不等像視の時に得られた両眼視 VEP を示してある。不等像視がない(0%)時の VEP 振幅は、不等像視の程度が増すと漸次小さくなる。図の右に示す VEP 波型は、サイズレンズを负荷しない他眼の単眼視 VEP を示す。N150の振幅は両眼視 VEP と単眼視 VEP を比較すると、3%までは両眼視 VEP の方が大きい。5%となると単眼視 VEP よりやや大きい。7%では単眼視 VEP よりも小さくなり、15%までは単眼視 VEP の振幅よりも小さいまほぼ一定である。このように両眼視 VEP は、不等像視の程度によりその振幅が変化することがわかる。そこで、不等像視の程度が両眼視 VEP に与える影響につき、被検者 6 名につき検査した結果が図3である。図の縦軸は、両眼視 VEP と単眼視 VEP の振幅の比(R)を、横軸は不等像視の程度を表わす。不等像視が3%までは binocular summation は大きくほぼ一定であるが、5%になると binocular summation は存在するが単眼視 VEP の振幅にかなり近くなってきている。5%までは summation の相と考えられる。5%を越えて7%では、binocular summation は認められず単眼視 VEP の振幅以下となり、15%までは inhibition の相が認められた($p < 0.01$)。N150の頂点潜時については、不等像視の程度とは特に一定の関係は認めなかった。

心理物理的には、summation の相の3%までは被検

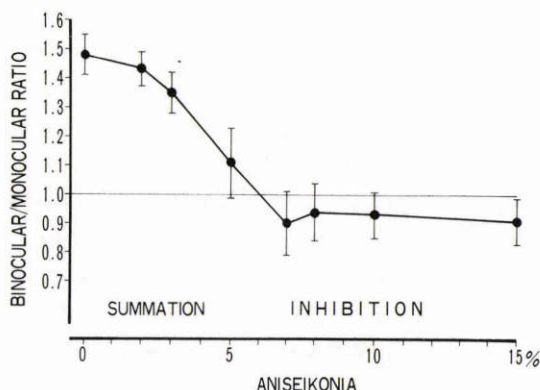


図3 不等像視による両眼相互作用 サイズレンズを负荷した時の両眼視 VEP の振幅と単眼視 VEP の振幅の比(R)を縦軸に、负荷したサイズレンズの%を横軸にとると、5%までは summation を示し、それ以上では inhibition の相となった。summation の相は自覚的に立体視が可能であり、inhibition の相では立体視は困難で横運動の知覚であり、視野闘争を示す。各不等像視における点の棒線は±1S.D.を示す(N=6)

者全例が前後運動する市松模様をはっきりと知覚できるが、5%になると立体感は知覚することが出来るが、かなり努力を要する(6例中4例)。7%になると、ディスプレイ画面上に部分的に赤色と緑色のまだら模様が見えたり、画面全体が赤味を帯びたり緑の色調を帯びたり、視野闘争が認められた(6例中5例)。8%以上では被検者全例が視野闘争を知覚し、10%まではディスプレイ画面全体の融合はなんとか可能であった。15%になると7%～10%の見え方の他に、画面全体の融合は全く不可能となり、拡大した緑色の画面の中に赤色の画面が見えたりし、やはり視野闘争あるいは生理的抑制が認められた。7%以上の刺激状態では、両眼を開放して見ていることはかなりの苦痛を伴う。

以上をまとめると、VEP上 binocular summation の認められる相、不等像視5%以内では、心理物理的にも立体視が可能であり、5%を越える inhibition の相では、立体視はなく視野闘争が認められる。

IV 考 按

両眼に入る視覚情報(Visual input)が異なる場合に、両眼相互作用の生じることが報告されており¹¹⁾¹²⁾、発達期においてこのような状態が続くと両眼視機能の異常や弱視などが生じることが、臨床的ならびに動物実験などでも報告されている^{13)~15)}。今回、人工的に不

等像視を作ることにより両眼への視覚情報入力のパラメータを変えて、VEPによる電気生理学的検討と心理物理的検討を施行した。VEPによる不等像視の検討は、Lovasikら⁸⁾、勝海ら⁹⁾の報告があるが、いずれもパターン・リバーサル刺激による単眼視と両眼視の比較であり、特に著者らが行なったような立体視刺激ではないため融像、抑制、視野闘争などの心理物理的検索は困難である。著者らの実験では、人工的不等像視によるVEPの変化のみならず、同時に立体感の変化を感覚的に把握できた。また、Lovasikら⁸⁾の報告ではVEP上不等像視の影響は認められず、勝海ら⁹⁾の報告では明らかにVEP上で不等像視の影響が認められるとしている。勝海らはこの不一致につき刺激方法の違いにあると推論している。しかし、両者の方法ともに心理物理的にパターン刺激の際に両眼視をしているのか、片眼が抑制されているのかは不明であり、心理物理的にはVEPの結果の不一致について説明できない。random-dot stereogramを使用した今回の実験結果では、勝海らの報告と同様に不等像視の影響をVEP上で認めた。

心理物理的には、一般的に両眼融像を維持できる不等像視の許容限界(aniseikonia tolerance)は種々の報告があり、その値は1.5%¹⁶⁾~18%¹⁷⁾と範囲が広いが、約5%^{11)~5)}というものが多く、aniseikonia toleranceに関しては、その測定方法の違いや、目標とするstereo acuityによっても数値が異なると考えられる。stereo acuityが大きくなるに従い、aniseikonia toleranceも増大する⁴⁾。今回、著者らの使用した立体視図形はrandom-dot stereogramであり、視差は20'とかなり大きいものを使用した。したがってaniseikonia toleranceもかなり大きな数値になると予想されたが、前後運動をするrandom-dot stereogram刺激図形を用いたためか、予想よりも小さく約5%前後であると考えられた。今回、著者らの使用した立体視図形では、心理物理上、実際3%までの不等像刺激で立体視は容易に得られるが、5%では立体視を維持するのにかなりの努力を必要とした。5~15%では、もはや立体視は困難となった。一方、VEP上では、5%までの不等像視まではbinocular summationは存在するが、それ以上の不等像視の状態ではinhibitionの相であった。

立体視刺激によるVEPの結果と心理物理的結果に関しては、浜田は¹⁸⁾その重要性につき述べ、真島ら¹⁹⁾は、今回と同様の刺激装置を用いて視方向の変化の立体視におよぼす影響につき心理物理およびVEP上で

検討しており、VEPと心理物理の結果が一致することを報告した。しかし、今回実施したような不等像視の程度が立体視におよぼす影響についての研究報告はない。心理物理的結果とVEPの結果がよく一致したことより、本刺激装置の眼科臨床面での応用の可能性が高いと考える。

さて、一旦両眼視機能を獲得してから不等像視になった場合と、生後より不等像視があって成長してきた場合とでは、aniseikonia toleranceは異なってくるものと考えられる。生後発達期において不等像視が存在した場合に、今回の実験に見られるような両眼のsummationが行なわれるのか、inhibitionが行なわれるのか興味のある所である。臨床面では遠視性不同視においては、弱視を伴い初期の段階から矯正が行なわれることが稀なこと、またほとんどがKnappの法則にあてはまるので、仮に眼鏡装用をして後に不等像視が存在するとしても、両眼視機能の異常を生じる程の不等像視を来すことはないと考えられる。むしろ、不同視弱視のための両眼視機能の異常の方が問題となる。一方近視性不同視では、強度の近視以外は弱視は生じにくいが不等像視を認めることがあり、この場合には発達期にどのような影響を生じるかは興味深い。勝海ら⁹⁾は、近視性不同視の症例に両眼と単眼のpattern VEPを行ない、両眼加算が0.7と低値を示すことを報告している。これはおそらく両眼視機能発達途上にて不等像視のため、片眼が他眼に対して干渉があり両眼視機能の正常の発達が阻害されたものであると考えられ、今後近視性不同視の乳幼児の両眼視機能の獲得に対して考えなくてはならない問題であろう。臨床的に不等像視と我々が言っているものは、大脳皮質における最終的な知覚像の左右差を意味している。したがって、大脳の視中枢の反応の積分値と考えられているVEPにより他覚的に両眼視機能を検討することは意義がある。両眼への不均等な入力がかされた場合に両眼視機能は阻害されるが、視覚発達期において高度な不同視や不等像視が存在すれば、弱視を伴ったり両眼視機能異常が生じる²⁰⁾²¹⁾。発達期においてどの程度の不同視があると弱視となるか、またその不同視を矯正した場合に生じる不等像視がどの程度のものであれば、両眼視機能の発達が阻害されるのか、またそのcritical periodはいつかなどに関しては、未だ詳細には検討はされていない。今後はこれらの点について臨床的にまた動物実験にて電気生理学的に解明していく必要があると考える。

文 献

- 1) **Duke Elder**: System of Ophthalmology. Vol 5, p507, Henry Kimpton, London 1970.
- 2) **Crone RA, Leuridan OMA**: Unilateral aphakia and tolerance of aniseikonia. Ophthalmologica Basel 171: 258—263, 1975.
- 3) **Campos EC, Enoch JM**: Amount of aniseikonia: Compatible with fine binocular vision: Some old and new concepts. J Pediatric Ophthalmol Strabismus 17: 44—47, 1980.
- 4) 磯村悠宇子, 栗屋 忍: Aniseikonia と両眼融像に関する研究. 日眼 84: 1619—1628, 1980.
- 5) 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 による他覚の評価法について. 日眼 90: 301—307, 1986.
- 6) **Petrig B, Julesz B, Kropfl W, Baumgartner G, Anliker M**: Development of stereopsis and cortical binocularity in human infants: Electrophysiological evidence. Science 213: 1402—1405, 1981.
- 7) **Braddick O, Atkinson J, Julesz B, Kropfl W, Bodis-Wollner I, Raad E**: Cortical binocularity infants. Nature 288: 363—365, 1980.
- 8) **Lovasik JV, Bishop D**: Short-term effects of induced aniseikonia on binocular pattern VER. Am J Optom Physiol Opt 61: 513—516, 1984.
- 9) 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.
- 10) 栗屋 忍, 菅原美雪, 堀部福江, 鳥井文恵: 新しい不等像視検査表 “New Aniseikonia Tests” の開発とその臨床応用について. 日眼 86: 217—222, 1982.
- 11) **Harter MR**: Binocular interaction: Evoked potentials to dichoptic stimulation. In Visual Evoked Potentials in man: New Development (Desmedt JE, ed), 208—233, Clarendon Press, Oxford 1977.
- 12) **Apkarian PA, Nakayama K, Tyler CW**: Binocularity in human visual evoked potential: Facilitation, Summation and Suppression. Electroenceph Clin Neurophysiol 51: 32—48, 1981.
- 13) **Wiesel TN, Hubel D**: Single-cell responses in striate cortex of kittens deprived of vision in one eye. J Neurophysiol 26: 1003—1017, 1963.
- 14) **von Noorden GK**: Experimental amblyopia in monkeys. Further behavioral observations and clinical correlations. Invest Ophthalmol 12: 721—726, 1973.
- 15) **Ikeda H, Wright MJ**: Is amblyopia due to inappropriate stimulation of the “sustained” pathway during development? Brit J Ophthalmol 58: 165—175, 1974.
- 16) **Ogle KN**: Researches in Binocular Vision. Saunders, Philadelphia, 1950.
- 17) **Cowan A**: Monocular aphakia. AMA Arch Ophthalmol 49: 473—474, 1953.
- 18) 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.
- 19) 真島行彦, 田中悦子, 小口芳久, 植村恭夫: 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.
- 20) 加藤桂一郎: 不等像視の両眼視におよぼす影響—特に深径覚との関連について—. 日眼 72: 1415—1428, 1968.
- 21) 山本裕子, 大和征子: 弱視の両眼視機能に関する研究. 1. 高度遠視性弱視の両眼視および各種両眼視機能検査の難易度検討. 眼臨 73: 603—608, 1979.