

網膜各部位における深径覚感度と視性誘発電位振幅の対応

中西 史憲¹⁾, 二唐 東朔²⁾¹⁾岩手医科大学眼科学教室, ²⁾弘前大学医療技術短期大学部作業療法科生理学教室

要 約

網膜に投射された視覚情報は後頭葉から導出した視性誘発電位 (VEP) に反映し, また, 平面像よりも立体像による刺激の方が VEP 振幅が増大するとされている。しかしながら, この振幅の増大には視路における解剖生理学的因子の他に心理的因子が関与しているか否かは知られていない。本実験の目的は, 立体像を網膜中心窩に投影した時と傍中心窩に投影した時に得られる心理的深径覚感度および VEP 振幅を比較し, 心理的因子が VEP 振幅に影響を与えているか否かを調査することである。その結果, 心理的手法による深径覚感度と VEP によるそれとを比較すると, 前者は中心窩を離れるに従って緩や

かに低下するのに比べ, 後者の低下は顕著であった。このことから, 立体像を提示した際に後頭葉の視覚野に発生する VEP 振幅には心理的要因は反映されにくいことが示唆された。また, 網膜の周辺部であるほど, 心理的深径覚感度と VEP 的手法による感度との差異は大きくなった。したがって, 周辺部での心理的深径覚感度は高次視覚中枢で増幅されることが推察された。(日眼会誌 100: 877-884, 1996)

キーワード: 深径覚感度, 視性誘発電位, 視差抽出細胞, 両眼視差, 網膜部位

Correspondence of Depth Sensitivity and Visually Evoked Potential Amplitude in Retinal Eccentricity

Fuminori Nakanishi¹⁾ and Tousaku Nikara²⁾¹⁾Department of Ophthalmology, Iwate Medical University School of Medicine²⁾Laboratory of Physiology, Department of Occupational Therapeutics, School of Allied Medical Sciences, Hirosaki University

Abstract

It is believed that an enhancement of visual evoked potential (VEP) amplitude in response to stereograms is due to the activity of disparity-sensitive neurons in the visual center. However, it is unclear whether the enhancement works only on retinal disparity cues or on other depth cues as well, which are derived from the mental process of recognizing a depth. The aim of this study is to analyze this relationship by comparing the degree of amplitude increase in the VEP with that of the magnitude in depth perception by viewing a stereopair with a stereoscope. The reduction of the retinal disparity sensitivity in increasing retinal eccentricity was confirmed by psychophysical measurement tests and

visual evoked potential measurement. However, the reduction rate of the sensitivity curve was greater in the VEP than in the psychophysiological curve. This means that changes in the VEP, when responding to a stereogram, are mainly due to factors in the disparity sensitive neurons rather than in the mental process of recognizing a depth. (J Jpn Ophthalmol Soc 100: 877-884, 1996)

Key words: Depth sensitivity, Visual evoked potential, Binocular disparity selective neuron, Disparity, Retinal eccentricity

I 緒 言

後頭葉の視覚野に存在する両眼視差抽出細胞の興奮

が, 奥行き知覚(深径覚)の初期段階の手掛かりの解析に関与していると報告^{1)~6)}されている。この視差抽出細胞の興奮は, 視性誘発電位 (visual evoked potential, VEP)

別刷請求先: 020 岩手県盛岡市内丸 19-1 岩手医科大学眼科学教室 中西 史憲

(平成7年12月18日受付, 平成8年6月27日改訂受理)

Reprint requests to: Fuminori Nakanishi, M.D. Department of Ophthalmology, Iwate Medical University School of Medicine, 19-1 Uchimaru, Morioka-shi, Iwate-ken 020, Japan

(Received December 18, 1995 and accepted in revised form June 27, 1996)

によって記録できる^{7)~13)}。立体像を網膜の中心窩に投影したときに生じる VEP の振幅は、同じ立体像を傍中心窩に投影したときに生じる振幅よりも大きいといわれている¹⁴⁾¹⁵⁾。中心窩に投影したときに振幅が大きいことについては、従来の報告では、解剖学的因子として、網膜神経節細胞の網膜の部位による分布密度の違い、網膜部位による脳皮質に投射される面積の違い¹⁶⁾、また、生理学的因子として視差抽出細胞の網膜部位による感度の違い^{17)~20)}などに依存しているとされている。しかし、この VEP 振幅の違いがこれらの解剖・生理学的因子によって起こるのか、あるいは解剖・生理学的要因に加えて心理的要因、すなわち、奥行きを認識したときに生じる VEP の変化も加わって振幅の増大が起こるのかは明確にされていない。著者らは、前報において刺激方法を工夫することによって、網膜中心部とその周辺部の深径覚感度の違いを定量的に測定できることを報告²¹⁾した。今回、この結果を利用し、立体像を網膜の中心窩に投影したときと傍中心窩に投影したときの VEP 振幅の大きさの違いの原因が心理的要因あるいは解剖・生理学的要因のどちらに主に依存するかを調査した。

II 実験方法

1. 被験者

被験者は既報²¹⁾と同じ男性3名、女性5名の計8名で、年齢は19~21歳(平均20.3歳)である。被験者の矯正視力は0.9~1.5、立体視力は、Titmus stereo testでは40分以下、TNOテストでは60分以下、いずれも正常域にある。

2. 刺激画面およびその提示方法

刺激画面はパーソナルコンピュータ(PC-9801 RA, 日本電気)と左眼用および右眼用の各1台のTV画面(KX 14 HD 14, ソニー)を組み合わせで作成された。刺激図形は、図1に示した格子図形で黒いTV画面で表示された²¹⁾。固視点をそれぞれの格子図の左端の縦線の中央に置いた。この二つの固視標は工夫されており、左右眼で融像視するとマス内に中央が抜けた十字像がみえるようにしてある。この十字像を知覚したとき、被験者の左右眼は両眼単一視していることになる。なお、この固視標には後述する視差を与えていない。

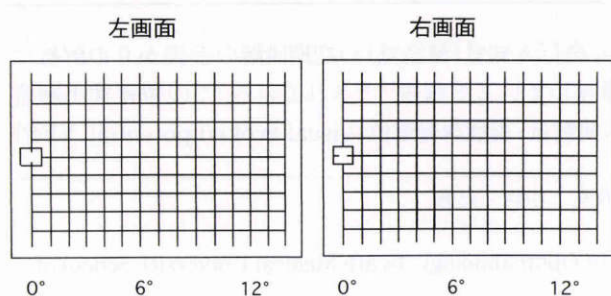


図1 左右のTVに提示される刺激画面。

1) 心理的手法による網膜各部位の深径覚感度の計測
網膜内に与えられる立体像の部位の違いによる心理的深径覚感度の計測方法については既に報告²¹⁾しているが、その概要を述べる。上記の刺激画面を用いて、以下に述べるステレオグラムを作成した。例えば、左右のTV画面の格子図形のうち、右のTV画面内のすべての縦線を右方へ8分移動させ、左のTV画面の縦線は同じ量を左方へ移動させることによって視差(左右の合計で16分)を与えた画面(同一視差画面と呼ぶ)を作成した。この与えられた視差の大きさを絶対視差量と呼ぶ。この画面の左側にある固視点を注視して融像視させると、各縦線が横線よりも種々の大きさを持って浮いてみえる(図2A)。この各縦線の浮き量の違いが網膜各部位の心理的深径覚感度の違いに当たる。網膜の各部位における心理的深径覚感度の差を数量的に表すために、次のような操作を被験者に指示した。TV画面に提示されている14本の縦線(視角14°に相当する)が横線よりも同じ量だけ浮いてみえるように(図2B)、固視点を通る縦線以外の各縦線について、個々の縦線に与える視差量を手動で変化させることを被験者に指示した。このようにして、各縦線に追加された視差量が求められる。図3は各絶対視差量に対する網膜各部位の追加視差の変化を示す。これら追加視差値の逆数を求めることで、網膜各部位の心理的深径覚感度が求められる。それを図7に示す(結果で後述)。こうして作られた視差画面を追加視差画面と呼ぶことにする。固視点上の縦線が横線から浮いてみえる高さをh(図2)とすると、両画面の縦線に与える視差量が大きいほどhは大きい値となる。固視点上の縦線の絶対視差量を左右画面を合計して4~32分まで4分刻みで8段階

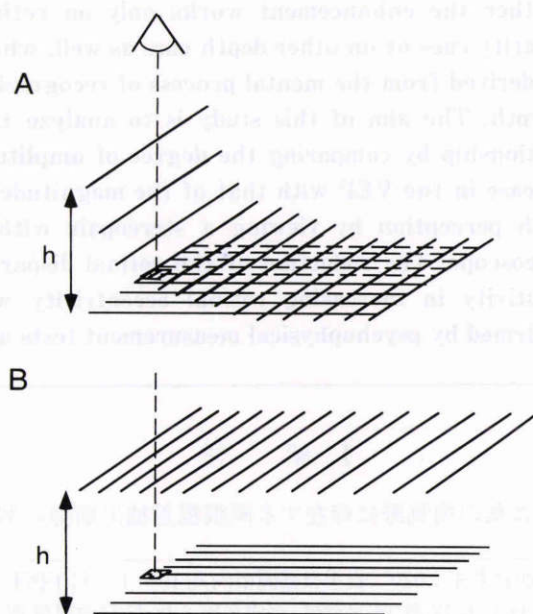


図2 融像視した場合の刺激画面の見え方。
A: 同一視差画面, B: 追加視差画面, h: 固視点上の縦線が横線から浮いてみえる高さ

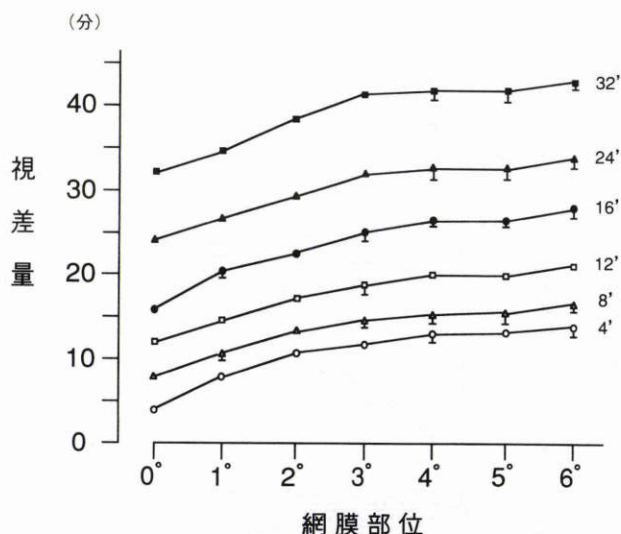


図3 各絶対視差量の場合に各網膜部位において中心窩上の縦線と同じ深径覚を得るための視差量。各曲線の右端の数字は絶対視差量を示す。

に変えた場合の網膜各部位における心理的深径覚感度については既に報告²¹⁾している。

2) VEP による網膜各部位の深径覚感度の計測

網膜各部位の心理的深径覚感度を VEP の変化として測定するため、TV 画面上に間隔 1° を持つ 2 本の縦線を固視点から右方へ 0° および $1^\circ, 2^\circ$ および $3^\circ, 4^\circ$ および 5° (図 4) のいずれかの部位に提示して VEP を記録した。用いた刺激画面は、同一視差画面および追加視差画面の両者である。同一視差画面では、各網膜部位に示される 2 本の縦線それぞれに左画面 8 分、右画面 8 分、合計 16 分の絶対視差量が与えられてある。被験者にとっては 2 本の縦線のうち、向かって左側の縦線が右側の縦線よりも浮いて見える (図 5, I-1, I-2 と I-3)。一方、追加視差画面についても、固視点の網膜部位の絶対視差量は同一視差画面と同じように左右画面合計 16 分とし、その他の網膜部位に提示する 2 本の縦線には固視点上の縦線と同じ高さに浮いて見えるように、前もって求めた (図 3) 追加視差量を与える (図 5, II-1, II-2 と II-3)。なお、本来は 1 本の縦線の刺激に対する応答を記録すべきであるが、1 本では刺激量が小さく VEP 振幅も小さいので、今回は 2 本の縦線による刺激を採用した。絶対視差量 16 分を選んだ理由は、伊藤¹²⁾の報告によると視差量が 3.8 ~ 30 分までは VEP の振幅が比例的に増加するため、今回はこの中間値である 16 分に設定した。

3. VEP の記録装置および記録法

VEP の記録装置の構成を図 6 に示した。被験者はシールド椅子に座り、中央に隔板のある暗箱の中に設置された鏡を介して 1 m 前方の距離にある 2 台の TV 画面を左右別々に注視した。後述のように TV 画面の変化に回答する VEP を多用途脳波計 (5214, 日本光電) によって頭皮上から導出した。VEP の記録部位は、飯塚¹³⁾、中島

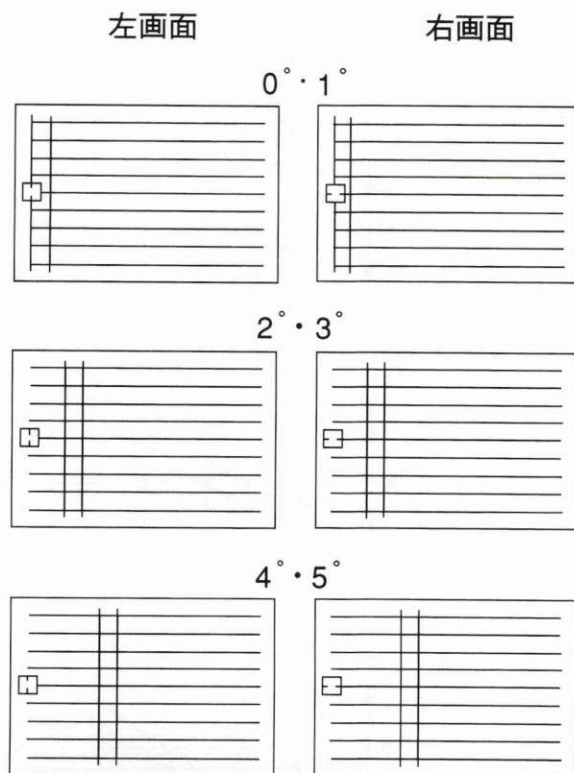


図4 視性誘発電位 (VEP) による網膜各部位の深径覚感度計測のための刺激画面。

ら¹⁵⁾の報告に従い、視差刺激に対して最も良く応答する左右の頭頂部の P 3, P 4 と後頭部の O 1, O 2 (国際 10-20 法に従って) の 4 か所とし、銀-塩化銀電極を頭皮上にゴムバンド (KM 式脳波記録装置, ユニークメディカル) で固定した。不関電極は両耳に、接地電極はオトガイ部中央に置いた。導出された VEP 波形を医療用データ処理装置 (Brain Atlas, Biologic) によって表示した。

VEP を記録する際の刺激画面は、前述した有視差画面である同一視差画面 (図 5, I-1, I-2 と I-3) と追加視差画面 (図 5, II-1, II-2 と II-3) をアランダムな順番で提示した。しかし、同一視差画面と追加視差画面が連続して表示されないように、両者の間に視差のない画面 (無視差画面) を常に挟むように工夫した。換言すれば、同一視差画面と無視差画面を一組とし、追加視差画面と無視差画面を他の一組として、この二つの組み合わせをアランダムに提示した。刺激画面の表示時間は、有視差画面が 680 msec、無視差画面が 344 msec である。したがって、コンピュータのメモリーの一区画は 1,024 msec の情報が入るように設定した。VEP の加算時のトリガー信号は、それぞれの有視差画面の直前に発生するようにした。記録装置全体の周波数帯域は 3 ~ 60 Hz である。導出された VEP の波形を 64 回加算して平均した。また、記録紙上の VEP 波形の極性は、陰性の電位変動が上向きになるように記録装置を設定した。

4. VEP の評価方法

今回の検討には、VEP 波形のうち頂点潜時が 132 ~

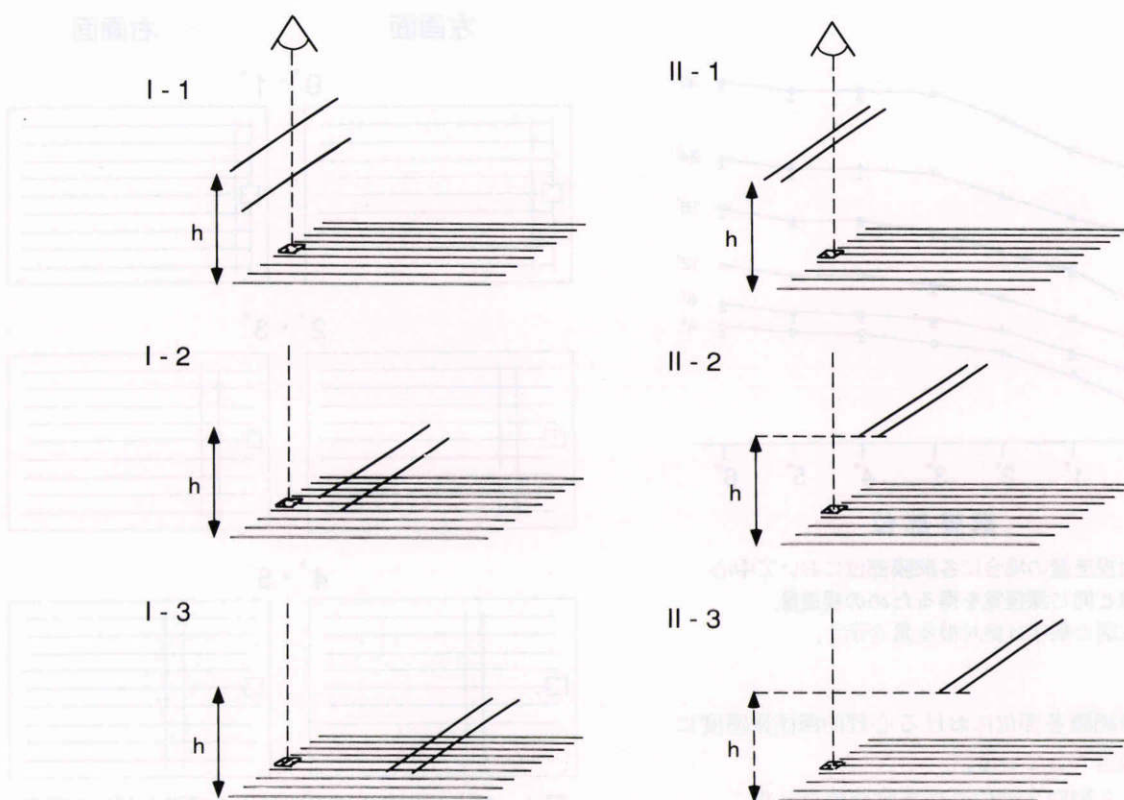


図5 VEPによる網膜各部位の深径覚感度計測のための刺激画面の見え方。

I：同一視差刺激の場合，II：追加視差刺激の場合，-1：網膜部位 $0^{\circ} \cdot 1^{\circ}$ ，-2：網膜部位 $2^{\circ} \cdot 3^{\circ}$ ，-3：網膜部位 $4^{\circ} \cdot 5^{\circ}$ ，h：固視点上の縦線が横線から浮いて見える高さ

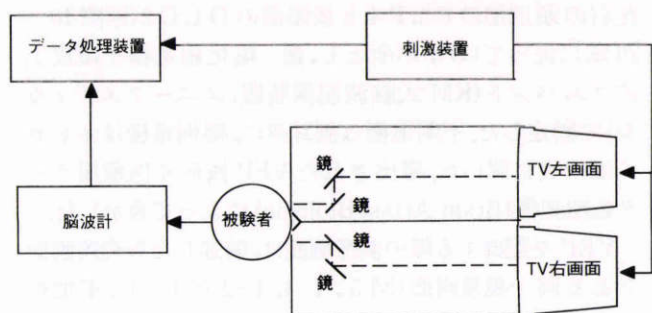


図6 実験装置の模式図。

204(平均163.4)msecの陰性波(記録紙上は上方に向かう波)を対象にし、その立ち上がりの最低点から頂点まで(trough to peak)を測定して波の振幅(以下、VEP振幅)とした^{13)~15)}。統計学的解析には students paired t-test の片側検定を行い、5%以内を有意水準とした。

5. 網膜各部位の心理的およびVEPによる深径覚感度の比較

心理的およびVEP的手法によって求めた網膜各部位の深径覚感度を比較することによって、VEP振幅に解剖・生理学的要因の他に心理的要因が関与しているか否かを検討した。

III 結 果

1. 心理的手法による深径覚感度

中心窩に与えた各絶対視差量の大きさに対する浮き量

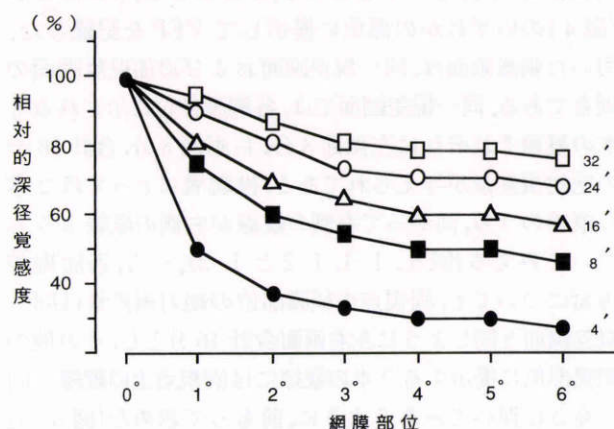


図7 各絶対視差量の場合に中心窩に対する各網膜偏位における相対的深径覚感度。

各曲線の右端の数字は与えた絶対視差量の大きさを示す。

と、網膜各部位における浮き量とを同じにするために追加した視差量を示したのが図3である。絶対視差量の大きさに関係なく、視角 $0^{\circ} \sim 4^{\circ}$ の範囲までは、固視標と同じ浮き量を得るために必要な追加視差量はほぼ直線的に増加しているのに対し、それより周辺部では追加視差量は飽和するように僅かずつ増加している。これは、心理的深径覚はいずれの絶対視差量でも網膜部位が中心から 4° までは著しく低いことを意味する。これをそれぞれ与えられた絶対視差量(固視点)を100とした場合に、各網膜

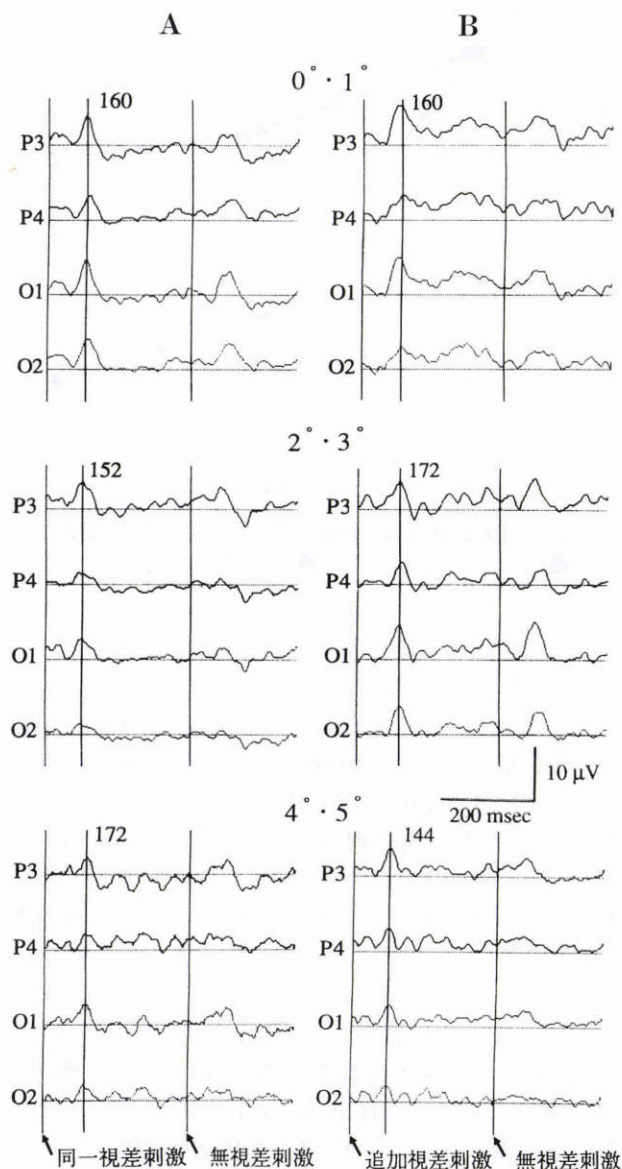


図 8 同一および追加視差刺激と無視差刺激で誘発された VEP の原波形の 1 例。

A: 同一視差刺激と無視差刺激による波形, B: 追加視差刺激と無視差刺激による波形, 上段: 網膜部位 $0^{\circ} \cdot 1^{\circ}$ による波形, 中段: 網膜部位 $2^{\circ} \cdot 3^{\circ}$ による波形, 下段: 網膜部位 $4^{\circ} \cdot 5^{\circ}$ による波形, 波形上の数字は頂点潜時(msec)を示す。波形左側の文字は国際 10~20 法に従った関電極の位置を示す。

部位における心理的深径覚感度の大きさとして示したのが図 7 である。この図の作成については文献 21 を参照されたい。図 7 からわかるように、中心固視から 1° 離れた部位の深径覚の感度は、絶対視差量が 8 分以上の場合には 0° の部位よりも 25% 以内、 2° ずれた部位のそれでは 40% 以内、 6° では 50% 以内の低下を示しているが、絶対視差が 4 分の場合には 1° で約 50%、 2° で約 60%、 6° で約 70% と大きく低下している。

2. VEP による網膜各部位の深径覚感度

有視差画面(同一あるいは追加視差画面)と、無視差画面による刺激によって得られた網膜部位差の VEP 波形

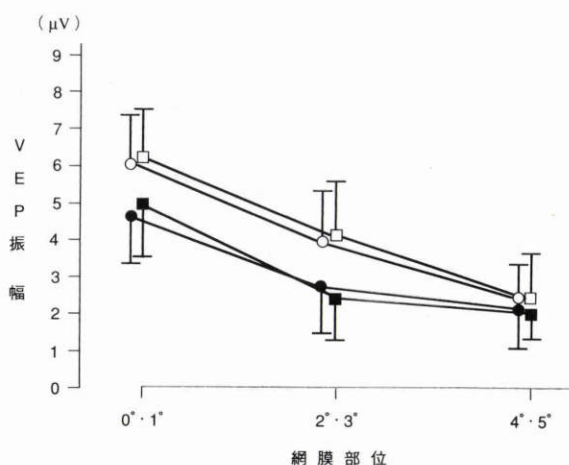


図 9 各網膜部位における同一および追加視差画面で得られた VEP 8 名の平均振幅。

■: P3 同一視差, ●: O1 同一視差, □: P3 追加視差, ○: O1 追加視差

を記録比較した 1 例を図 8 に示す。有視差画面の絶対視差量は 16 分である。

図 8 A の縦列に示した VEP 波形は、無視差画面から同一視差画面に変わったときに生じたものと、さらに引き続いて無視差画面に変わったときのものであり、一方、B のそれは同様に無視差画面から追加視差画面、それに続く無視差画面に対して得られたものである。図の上段、中段、下段は、それぞれ 0° および 1° 、 2° および 3° 、 4° および 5° の網膜部位の刺激で得られたものである。有視差刺激による VEP 振幅(各波形の前半)は、中段 B の追加視差刺激による P3 と O1 の波形を除くと、無視差刺激による VEP 振幅(各波形の後半)よりも大きい傾向にあった。同一あるいは追加視差の刺激による VEP 振幅は、同じ網膜部位では後者の方が総じて大きい。網膜の刺激部位による VEP 振幅の変化をみると、有視差あるいは無視差の刺激のいずれにおいても、刺激が中心窩を離れるほど振幅が減少する傾向にある。頂点潜時は同一あるいは追加視差のいずれの画面の場合でも 144~172 msec の範囲にあり、その変動幅は大きい。また、刺激の種類あるいは刺激部位に対しても頂点潜時に規則性はみられない。

同一あるいは追加視差の刺激で得られた 8 名の被験者の平均 VEP 振幅と、網膜偏位との関係を図 9 に示す。今回の刺激画面は、左側脳の視覚野を刺激したので左側脳(P3, O1)からの VEP 振幅のみを示す。刺激が中心窩を離れるほど、同一あるいは追加視差の両刺激に対する VEP 振幅はいずれも減少している。しかしながら、両者の振幅値を比較すると、前者の振幅値が後者のそれよりも常に小さい。しかし、両者の振幅値間に統計学的有意差を認めた網膜部位は 0° および 1° と 2° および 3° であり(有意差 > 0.05)、 4° および 5° には有意差は認められない。

8 名の頂点潜時の値は、同一視差刺激では 132~

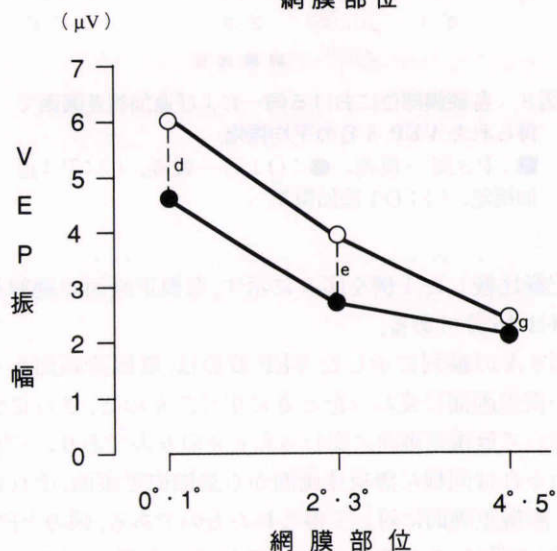
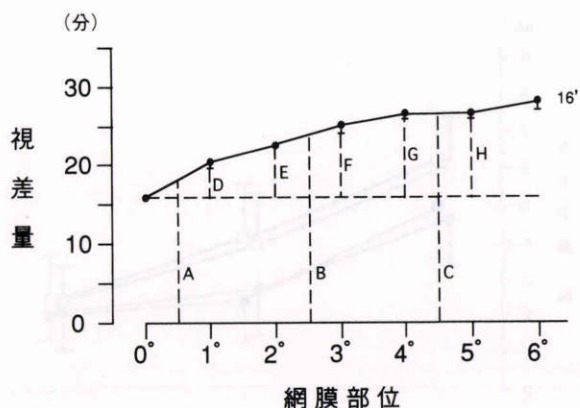


図10 心理的深径覚感度およびVEPによる深径覚感度を算出する際の説明図。

●：O1 同一視差，○：O1 追加視差

192(平均163.5)msec, 追加視差刺激では132~196(平均163.3)msecの範囲にあり, 両者の間に差異はみられない。

3. 心理的手法とVEP的手法による網膜各部位の深径覚感度の比較

既に報告した心理的手法による網膜各部位の深径覚感度²¹⁾と, 今回のVEP的手法によって求めた感度を比較するために, 下記に述べる補正調整を行った。すなわち, 心理的手法によって得られた絶対視差量16分の感度曲線(図3)の網膜部位0°および1°の視差量の平均値(図10, 上段のAの値)に対する2°および3°の視差量の平均値(図10, 上段のBの値)の割合(A/B)を求め, これを網膜部位2°および3°における心理的深径覚感度として図11にプロットした, 同様に4°および5°の視差量の平均値(図10, 上段のCの値)のAに対する割合(A/C)を網膜部位4°および5°の心理的深径覚感度として図11にプロットした。

VEP的手法によるO1からの深径覚感度曲線(図11)を求めるには, 図9のO1における同一視差と追加視差に対する振幅変動曲線を用いた。図10の下段のグラフは, 図9のO1曲線を抜き書きしたものである。すなわ

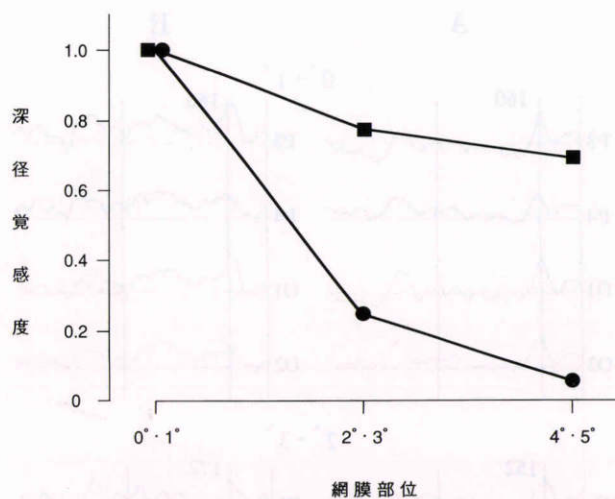


図11 各網膜部位における心理的深径覚感度の比較。

■：心理的深径覚感度，●：VEPによる深径覚感度

ち, 0°および1°での追加視差刺激と同一視差刺激によって得られたVEP振幅の差(図10の下段のd)を図10, 上段の0°および1°における追加視差量(D)で割ると, 追加した視差量1分当たりの増加したVEP振幅の値(Pとする)が得られる。同様に図10下段の2°および3°での追加視差刺激と同一視差刺激とによって得られたVEP振幅の差(e)を図10上段の2°および3°での追加視差量の和(図10, 上段のE+F)で除した値(この部位での追加視差量1分当たりの増加したVEP振幅値: Qとする)が得られる。Pを1としたときのQの割合(Q/P)を求めることによって, 2°および3°における0°および1°に対する比(VEPによる深径覚感度)が算出される。この値を図11にプロットした。同様の計算を4°および5°についても行って, 4°および5°における深径覚感度を算出した。

上記によって作図した心理的およびVEPによる深径覚感度(図11)を比較すると, 心理的手法による感度は中心窩を離れるに従って緩やかに低下するのに比べ, VEPによる感度の低下は顕著であった。

IV 考 按

今回, 前述したように刺激方法を工夫し, その刺激によって得られた心理的深径覚感度曲線²¹⁾と, VEP振幅の変化から求めた深径覚感度曲線を比較することによって, 立体像を中心窩に投影したとき, それよりも周辺部に投影したときのVEP振幅の差異の原因が心理的要因か解剖・生理的要因かのいずれに強く依存するかを検討できると考えた。以下にその考按を述べる。

1. 同一視差刺激と追加視差刺激による網膜各部位のVEP振幅

追加視差刺激によるVEP振幅は同一視差刺激のそれより常に大きかったが, いずれの刺激による振幅も刺激部位が中心窩を離れるほど減少し, また, 両者の差も小さくなった(図9)。このことは以下の点で注目される。

第一点は、追加視差画面ではいずれの縦線も中心窩のそれと同じ高さにみえているにもかかわらず、刺激が中心窩を離れるほど VEP 振幅は低下していた。これは心理的深径覚の認識は VEP 振幅には反映されにくいことを示している。

第二点は、網膜への刺激が周辺部になるほど VEP 振幅が減少する原因としては、解剖学的因子として網膜の神経節細胞分布密度の不均一および脳皮質に分布する視野支配部位の面積の不均一、生理学的因子として視差抽出細胞の視野による感度の違い、皮質拡大因子があげられ、さらには心理物理的因子の関与もあると報告¹³⁾¹⁵⁾されている。今回の結果から、追加視差刺激と同一視差刺激とによる VEP 振幅の網膜偏位による減少勾配は、調べた範囲ではほぼ同じであった(図9)ことは、周辺部での VEP 振幅の減少は心理的因子よりも解剖・生理学的因子に依存していることを明らかに指摘している。しかしながら、心理的因子が直接的に VEP 振幅に影響を与えていないことの証明は今回の結果からは得られなかった。

第三点として、視角が3°以内では追加視差刺激による VEP 振幅が同一視差刺激のそれよりも大きかった(図9)ことから、視差の追加は VEP の振幅に大きく反映すると考えられる¹²⁾。これは、大本ら²²⁾が視差刺激による VEP 応答の変化が深径覚に上る前に現れるとした見解をも支持するものである。

2. 立体像に対する後頭葉の視覚野における心理的要因の関与

深径覚は後頭葉の視覚野(V1, V2, V3)の視差抽出細胞が両眼視差を抽出し³⁾⁴⁾²⁰⁾²³⁾²⁴⁾、その分析結果が側頭葉に至る腹側経路と頭頂葉に至る背側経路の二つの経路²⁵⁾を介して高次視覚中枢で知覚されると考えられている²⁶⁾。また、従来の報告^{13)~15)}では、視差によって生じた深径感覚は後頭部から導出した VEP 振幅に反映されるとしている²⁶⁾。これらの報告と、今回の VEP 的手法で求めた深径覚感度が心理的手法で求めた感度よりも著しく低下していたことは(図11)、立体像を提示した際に後頭部の視覚野で発生する VEP 振幅には心理的要因は反映されにくいことが示唆された。また、心理的深径覚感度は網膜周辺において VEP 的手法による感度よりも高く、周辺になるほどその差は大きかった(図11)。この結果から、周辺部での心理的深径覚感度は高次視覚中枢で増幅される可能性が推察された。

一方、O1とP4の VEP の結果において振幅および潜時に差が認められなかった。これは、O1とP4の部位に直接的に視差刺激に対する興奮が到達していることも考えられる。しかしながら、この考えが正しいかどうかはその発生源が今回特定できなかったため、言及はできない。

稿を終えるに当たり、研究の機会を与えて下さり、御指導、御校閲下さいました岩手医科大学眼科学講座田澤 豊教授に心から感謝いたします。また、御協力、御助言をいただきまし

た弘前大学医療技術短期大学部作業療法科ならびに岩手医科大学眼科学講座の諸兄姉に感謝いたします。

本論文の要旨の一部は第31回日本神経眼科学会、第32回国際臨床視覚電気生理学シンポジウム(ISCEV)、第98回日本眼科学会総会において口頭発表した。

文 献

- 1) Ogle KN: The visual space sense. *Science* 135: 763—771, 1962.
- 2) Julesz B: Binocular depth perception without familiarity cues. *Science* 145: 356—362, 1964.
- 3) Barlow HB, Blakemore CB, Pettigrew JD: The neural mechanism of binocular depth discrimination. *J Physiol (Lond)* 193: 327—342, 1967.
- 4) Nikara T, Bishop PO, Pettigrew JD: Analysis of retinal correspondence by studying receptive fields of binocular single units in cat striate cortex. *Exp Brain Res* 6: 353—372, 1968.
- 5) Hubel DH, Wiesel TN: Cells sensitive to binocular depth in area 18 of the macaque monkey cortex. *Nature* 225: 41—42, 1970.
- 6) Poggio GF, Fischer B: Binocular interaction and depth sensitivity in striate and prestriate cortex of behaving rhesus monkey. *J Neurophysiol* 40: 1392—1405, 1977.
- 7) Lehmann D, Skrandies W, Lindenmaier C: Sustained cortical potentials evoked in humans by binocularly correlated, uncorrelated and disparate dynamic random-dot stimuli. *Neurosci Lett* 10: 129—134, 1978.
- 8) Julesz B, Kropfl W, Petric B: Large evoked potential to dynamic random-dot correlograms and stereograms permit quick determination of stereopsis. *Proc Natl Acad Sci* 77: 2348—2351, 1980.
- 9) 深井小久子: 視覚誘発動的電位図法による両眼視機能検査. *眼臨* 78: 1695—1699, 1981.
- 10) 小口芳久, 浜田恒一, 川原哲夫: 視覚誘発電位による立体視の研究. *日眼会誌* 89: 470—475, 1985.
- 11) 真島行彦, 小口芳久: 静的および動的ランダム・ドット・ステレオグラムによる両眼視 VEP. *眼紀* 37: 955—956, 1986.
- 12) 伊藤千春: 視差刺激に対する頭頂部と後頭部の VEP の差異. *日眼会誌* 90: 1564—1573, 1986.
- 13) 飯塚和彦: 静的 random dot stereogram の打点密度の増減に対する VEP 振幅と深径知覚. *日眼会誌* 96: 985—992, 1992.
- 14) 二唐東朔, 小山内隆生, 藤井浩美: VEP を指標にした網膜不一致と網膜偏位との関連. *神眼* 7: 75—83, 1991.
- 15) 中島理子, 二唐東朔: 視差刺激に対する網膜重複部からの視覚誘発電位. *日眼会誌* 98: 298—305, 1994.
- 16) Horton JC, Hoyt WF: The representation of the visual field in human striate cortex. *Arch Ophthalmol* 109: 819—824, 1979.
- 17) Rovamo J, Virsu V: An estimation and application of the human cortical magnification factor. *Exp Brain Res* 37: 495—510, 1979.
- 18) Collewijn H, Erkelens CJ: Binocular eye move-

- ments and the perception of depth. In: Collewijn H (Ed): Reviews of Oculomotor Research Vol 4. Elsevier, Amsterdam, 231—261, 1990.
- 19) **Blakemore C**: Binocular depth discrimination and the nasotemporal division. *J Physiol* 205: 471—497, 1969.
 - 20) **Poggio GF**: Cortical neural mechanisms of stereopsis. *Cold Spring Harbor Symp Quant Biol* 55: 749—758, 1990.
 - 21) **中西史憲, 二唐東朔**: 網膜各部位における深径覚感度の相違—心理物理学的計測—. *岩手医誌* 47: 441—448, 1995.
 - 22) **大本達也, 初川嘉一, 村井保一**: Dynamic random-dot pattern による disparity 刺激に対する VEP. *日眼会誌* 88: 559—564, 1984.
 - 23) **Zeki SM**: Functional specialization and binocular interaction in the visual areas of rhesus monkey prestriate cortex. *Proc R Soc Lond [Biol]* 204: 379—397, 1979.
 - 24) **Hubel DH, Livingstone MS**: Segregation of form, color and stereopsis in primate area 18. *J Neurosci* 7: 3378—3415, 1987.
 - 25) **Mishkin M, Ungerleider LC, Macko KA**: The postulated 'two pathway organization of the visual cortex'. *Trends Neurosci* 6: 414—417, 1983.
 - 26) **Horton JC**: The Center Visual Pathways. In: Hart NM Jr (Ed): *Adler's Physiology of the Eye*. Mosby Year Book, St Louis, 743—759, 1992.