

注視方向による奥行き知覚の差異とその視覚誘発電位

藤田 聡¹⁾, 二唐 東朔²⁾¹⁾岩手医科大学医学部眼科学教室, ²⁾弘前大学医療技術短期大学部作業療法学科生理学教室

要 約

目的: 水平網膜視差だけでは説明できない奥行き知覚の現象を発見したので, その機構について電気生理学的に検討した。

対象と方法: 正常な成人 8 名. 左右眼それぞれの画面に 14 本の垂直線を並べ, 各線に同じ量の水平網膜視差を与えた. 以下に示すように, 視線と視差を変えながら視覚誘発電位 (VECP) を測定した。

結果: この画面を中央固視すると, 全垂直線が同じ高さに浮いてみえた. 一方, この画面の左端を固視すると左端の垂直線が最も高く浮いて見え, 右側ほど低くなった. 次に, この左方固視下で全垂直線が同じ高さにみえる

ように各線に与える視差量を変えた後に中央固視すると, 上述の中央固視下での浮き上がりよりも一層浮いてみえた. これらの画面に対する VECP 振幅を比較したが, 各画面間には統計学的に有意差はなかった。

結論: 中央固視と左方固視下の奥行き知覚の違いは, 水平網膜視差を抽出している後頭部および頭頂部の視覚野よりも高次中枢に依存している可能性がある. (日眼会誌 104: 417—423, 2000)

キーワード: 奥行き知覚, 水平網膜視差, 視覚誘発電位, 中央固視, 左方固視

Visual Evoked Potentials and Recognizing Depths during Changes in Gaze Direction

Satoshi Fujita¹⁾ and Tosaku 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

Purpose: The neurophysiological mechanism underlying a phenomenon of depth perception that can not be explained by only the horizontal binocular retinal disparity was analyzed by means of visual evoked cortical potentials (VECPs).

Methods: A pair of pictures showing fourteen vertical lines with the same magnitude of horizontal retinal disparity were presented to eight normal subjects stereoscopically. Subjects were required to view the pair while changing the visual line direction. VECPs were measured while changing both the visual line directions and the sizes of the horizontal retinal disparity.

Results: The subjects perceived all lines as having the same magnitude of depth when they viewed the center position of the pictures stereoscopically (centro-version viewing). Shifting their visual line direction to the left end (laevo-version viewing), the depth magnitude of each line decreased gradually with increase of retinal eccentricity. Next, while

maintaining the laevo-version the subjects were asked to make all lines of the same depth by changing the disparity magnitude of each line manually. Viewing this new version of the picture in the centro-version, the further each line was separated from the line located in the center, the greater was the magnitude of its depth. However, no significant differences in amplitudes of VECPs, corresponding to those pictures were found.

Conclusions: Our results suggest that differences of recognizable depth perception between the centro- and the laevo-version viewing occur in a higher order visual center than in the occipital and parietal zone when analyzing horizontal retinal disparity. (J Jpn Ophthalmol Soc 104: 417—423, 2000)

Key words: Depth perception, Horizontal retinal disparity, Visually evoked cortical potential, Centro-version viewing, Laevo-version viewing

別刷請求先: 020-8505 盛岡市内丸 19-1 岩手医科大学医学部眼科学教室 藤田 聡

(平成 11 年 4 月 1 日受付, 平成 11 年 12 月 14 日改訂受理)

Reprint requests to: Satoshi Fujita, M.D. Department of Ophthalmology, Iwate Medical University School of Medicine, 19-1 Uchimarui, Morioka 020-8505, Japan

(Received April 1, 1999 and accepted in revised form December 14, 1999)

I 緒 言

外界の三次元像を両眼でみることによって奥行き知覚を得るが、立体像が左右眼の網膜に結像するとき、像の網膜上での幾何学的位置は僅かにずれている。この左右眼でのずれの大きさから奥行きを知覚している。このずれの生じる方位は全方向性であるが、奥行き知覚に利用されているのは垂直方位と水平方位のずれが主である^{1)~5)}ことが示されており、それぞれの方位のずれは垂直網膜視差、あるいは水平網膜視差と呼ばれている。

視差を検出する細胞、いわゆる視差抽出細胞は後頭葉の視覚野の V1~V5 に存在しており⁶⁾、その細胞からの応答が視覚誘発電位 (visually evoked cortical potential: 以下、VECP) でも確認できる^{7)~12)}。この神経生理学的知見は、奥行き知覚の情報処理は視差抽出細胞を介して行われることを強く支持する。また、この細胞が垂直網膜視差よりも水平網膜視差によく応答することから、水平視差が奥行き知覚の主因子であるとされている。

今回、著者らは水平網膜視差だけでは説明できない奥行き知覚の現象を新たに発見した。水平網膜視差をつけた画面(ステレオグラム)を両眼で正面視するときと側方視するときとは奥行き知覚量が異なる現象である。このことは、網膜からの視差情報が脳内で視差以外の奥行き情報によって補正され、最終的に奥行き知覚に結びついていると推察される。

そこで、その脳内部位は一次視覚野か、それよりも高次の視覚野であるかを VECP の応答を指標にして検討したので報告する。

II 実験方法

1. 対 象

被験者は 19~21 (平均 19.5) 歳の正常な 8 名 (男性 3 名、女性 5 名) である。矯正視力は 0.9 以上、立体視力は Titmus stereo test で 40 arc sec 以下、TNO stereo test で 60 arc sec 以下で、正常である。

2. 実験装置

図 1 に実験装置とその配置を示した。刺激方法とデータ解析は基本的には中西ら¹³⁾¹⁴⁾の報告に準じた。被験者をシールド椅子 (EEG 用椅子、日本光電) に座らせ、額を暗箱の外窓に押し付けて固定し、暗箱の内部にある右眼用と左眼用の各 1 台ずつのディスプレイ (MF-8615、飯山電機) を覗かせた。暗箱内に置かれた左右各 2 枚の鏡によって、各眼の視線が平行になるように調整してある。暗箱の正中線上には遮蔽板を置き、両眼が互いに干渉を起こさないようにした。角膜頂点からディスプレイ画面までの光路距離は鏡を介して 1 m とした。2 台のパーソナルコンピュータ (PC-9801 VX 41、日本電気) を用いて左右眼に与える刺激画面を作製した。両刺激画面の提示および VECP の取り込みタイミングの調整には第三の

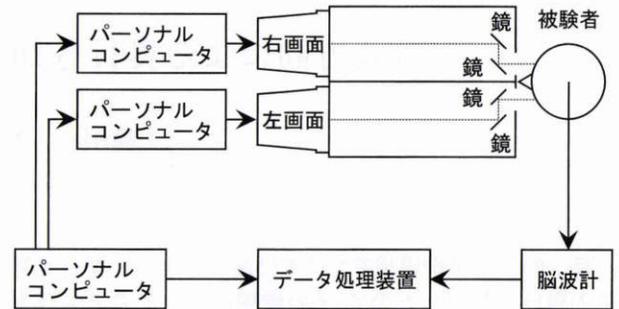


図 1 実験装置の模式図。

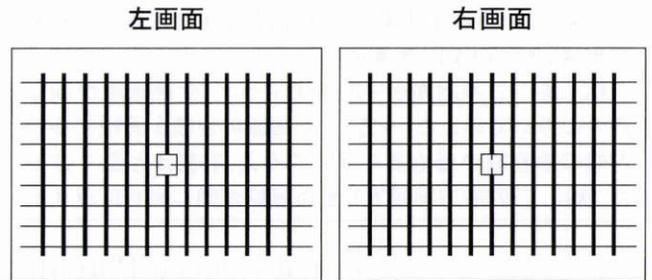


図 2 基本刺激画面。

両眼のそれぞれに、左右に示した画面が別々に呈示される。

パーソナルコンピュータ (PC-9821 Ap/U 2、日本電気) を用いて制御した。

3. 刺激画面と刺激方法

図 2 に左眼用と右眼用の基本刺激画面を示した。外枠の長方形がそれぞれのディスプレイ画面の大きさで、15 インチ (視角にして縦約 13°、横約 17°) である。各画面の中央部 (縦 8.9°、横 14.2° の範囲) に、黒を背景として以下に述べる縦 (13 または 14 本) と横 (9 本) の白い線 (図では白地に黒線で示している) を提示した。縦線はその太さが視角 12 分、線と線の間隔が 1°、横線はその太さが視角 1.3 分、各線間は 1° である。基本刺激画面では各画面の中央を走る縦線と横線の交点を基点に視角 1° の正方形を描き、それを固視標にした。両眼同時視の成立を被験者に認識させるために、左眼用固視標の正方形の内部には 2 本の短い横線を、右眼用のそれには 2 本の短い縦線を入れた。左右眼でそれぞれの中央の固視標をみる (中央固視する) と、正方形が融像し、その中の短い縦横線が 4 本同時にみえることで、両眼同時視と融像とが獲得できたことを確認できる。この基本画面 (中央固視・無視差) を融像させると、縦線、横線、および固視標の視野空間の位置は図 3 A に示したようにすべて同一平面空間上にみえる。

ディスプレイ上の縦線に次のように水平視差を与えてステレオグラムを作製した。すなわち、左眼用の画面ではすべての縦線を一定量だけ右にずらし、右眼用の画面ではすべての縦線を左画面のそれと同じ距離だけ左にずらし、ステレオグラムを作製した (同一視差)。横線と固視標

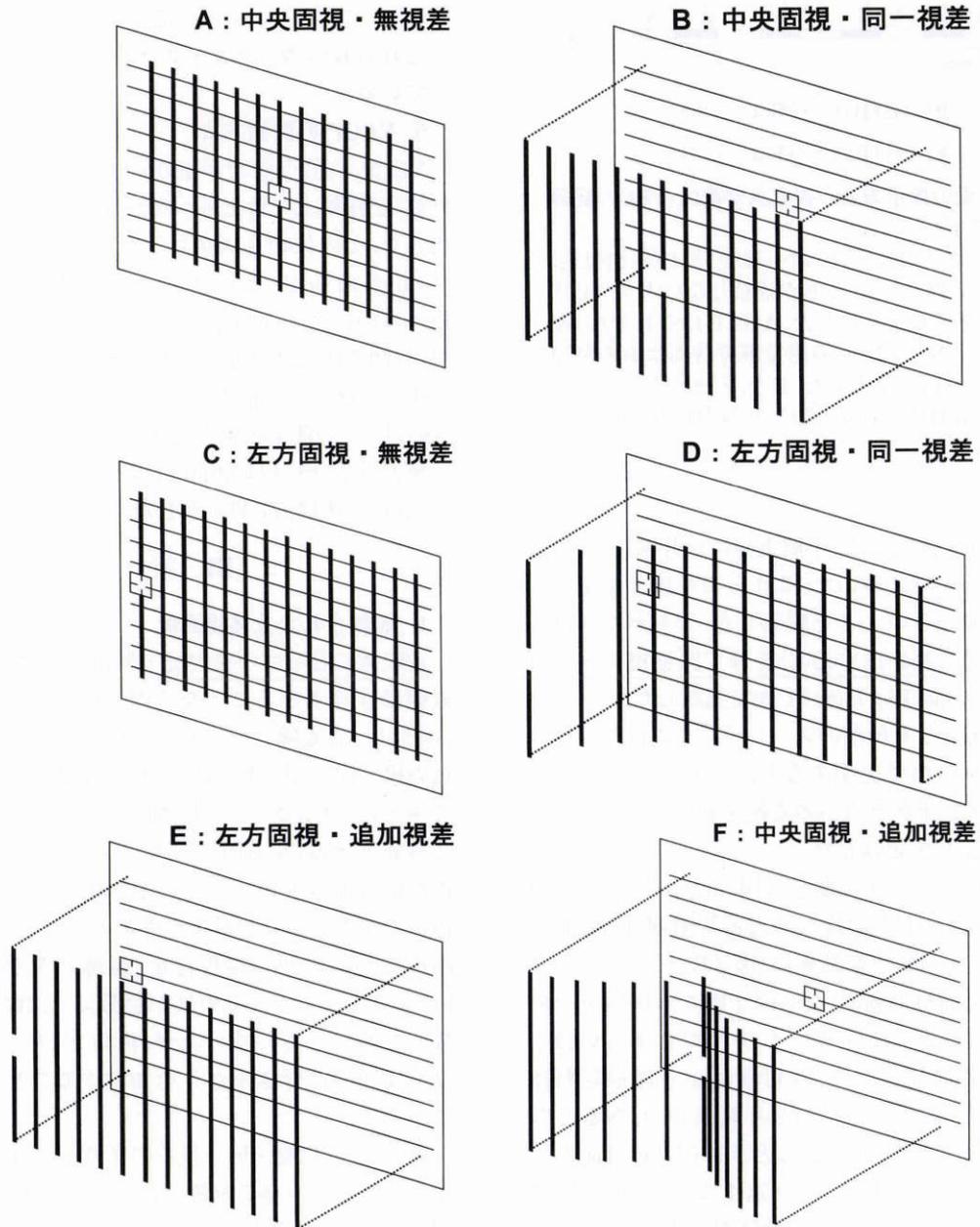


図 3 刺激画面のみえ方(俯瞰図).

A : 中央固視・無視差, B : 中央固視・同一視差, C : 左方固視・無視差, D : 左方固視・同一視差, E : 左方固視・追加視差, F : 中央固視・追加視差. 浮いて見える高さは誇張して示してある.

には視差を与えていない. この左右画面を中央固視で融像させる(中央固視・同一視差)と, 被験者にとっては図 3B に示したように, すべての縦線は固視標および横線よりも同じ距離だけ手前に浮き上がって見える. 縦線の浮き上がる量は縦線を左右にずらす距離(視差の量)を変えることで定められる.

4. VECP の記録方法

視差刺激に最も良く応答する^{14)~16)}とされている頭頂部の P3, P4, および後頭部の O1, O2(国際脳波学会 10-20 法¹⁷⁾)の 4 部位に VECP 記録用の頭皮電極を設置した(図 4). 関電極には銀-塩化銀電極棒(KM 式脳波記録装置, ユニークメディカル)を用いた. これらを網状の

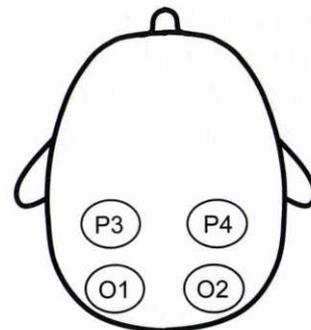


図 4 頭皮電極の位置.

国際脳波学会 10-20 法で規定される 19 個の頭皮電極のうち, 実験で使用した 4 個の電極の位置を示す.

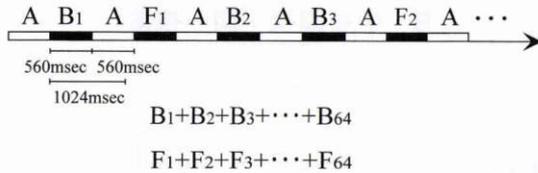


図5 刺激画面の提示方法と視覚誘発電位(VECP)記録結果の保存方法.

中央固視を例にとると, B(同一視差)と F(追加視差)をランダムに提示し, Bと Fが連続しないように必ず A(無視差)を挟むようにした. A, B, Fはそれぞれ 560 msec 提示したが, VECP の測定解析時間は B の刺激開始から 1,024 msec とした. また, F-A の組み合わせの解析時間も同様である. VECP の加算は 64 回であった.

ゴムバンドで頭に固定した. 不閃電極は両耳朶に, 接地電極はおとがい部中央に置いた. これらの電極と頭皮間の電気抵抗は十分小さいことを確認した. 得られた VECP は多用途脳波計(5214, 日本光電)を経て医療用データ処理装置(Brain Atlas, Bio-logic)で加算記録した.

刺激として用いた 6 種類のステレオグラム画面の詳細については結果の項で説明するが, 1つのステレオグラムから次のステレオグラムへの変換を刺激としてその刺激に対する VECP を記録した.

刺激画面の提示の方法と順序を図5に示した. 中央固視下の記録の場合, 中央固視・無視差刺激画面(図3A)と, 中央固視・同一視差刺激画面(図3B)および後述する中央固視・追加視差刺激画面(図3F)の3画面を一組とし, 図5に示すように A 画面を挟んで B あるいは F 画面をランダムに提示した. 各刺激画面の提示時間は 560 msec とした. 被験者には図3A画面から, あるときは図3B画面の浮き上がり, あるときは図3F画面の浮き上がりが 560 msec 間隔で繰り返すようにみえる. この両画面に回答する VECP の解析時間を 1,024 msec に設定した. VECP の測定加算回数は, 被験者に疲労を与えず, 良好な S/N 比を得られる回数として 64 回とした.

次に, 固視標を画面の左端の縦線上(視角 7°)に置いた場合(左方固視)にも同様に行った. すなわち, 左方固視・無視差刺激画面(図3C)と, 後述する左方固視・同一視差刺激画面(図3D)および左方固視・追加視差刺激画面(図3E)の3画面を一組とし, C画面を挟んで D あるいは E 画面をランダムに提示して, 中央固視の場合と同様

のタイミングで VECP を記録した.

これら 6つのステレオグラム画面の輝度は等しく調整している.

5. VECP の評価方法

VECP の頂点潜時が 160~180 msec の範囲にある陰性波(記録紙上では上方へ向かう振れ)の振幅を測定に採用した. その振幅高は立ち上がりの最低点から頂点まで(trough to peak)とした^{14)~16)18)}. 視差量を一定にして固視の違いによる VECP を比較するため, 中央固視・同一視差(図3B)と左方固視・同一視差(図3D)との間, および中央固視・追加視差(図3F)と左方固視・追加視差(図3E)との間で振幅の大きさを比較した.

統計学的検討は Student's paired t-test によって行い, 有意水準は 5% 以下とした.

III 結 果

1. 知覚された立体視画像

被験者にとって中央固視・無視差刺激画面のすべての縦線は浮き上がることなく固視標と同じ高さにみえた(図3A). 各縦線に視差 16分の同一水平視差を与えた中央固視・同一視差刺激画面の全縦線は同じ高さだけ浮いてみえた(図3B). この刺激画面の固視標を画面の左端に移動させる(左方固視・同一視差)と, 固視標を通る縦線が最も浮き上がってみえ, 固視標から離れた右側の縦線ほど浮き上がりの量は小さくなった(図3D). その際, 固視標から周辺へ視角約 6°(縦線の左から 7本目くらい)までは浮き上がりの量が急激に二次関数あるいは指数関数的に小さくなったが, 視角 9°(左から 10本目)よりも周辺では浮き上がりを知覚することが困難であった.

次に, 左方固視・同一視差の条件下で, 被験者の口述に従って固視標を通る縦線と同じ高さにみえるように(図3E, 左方固視・追加視差)各縦線に視差を追加し, その追加視差量を求めた. 固視標を通る縦線に与えた視差量を 16分としたとき, 各縦線の求められた追加視差量の結果の 1例を表1に示した. また, 全被験者の追加視差量の平均値を図6に示した. 視角 8° 付近までの網膜偏位と追加視差量の関数関係は二次関数よりは指数関数に従っていた.

中央固視・追加視差画面の作製は, 上述の左方固視・追加視差(図3E)の画面左端から 7本までのそれぞれの

表1 各縦線に与えた視差量の 1例

縦線 No.(左から)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
中央固視・同一視差(3B)	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
左方固視・同一視差(3D)	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
左方固視・追加視差(3E)	16	18.7	20	21.3	21.3	22.7	24	24	24	24	24	24	24	24
中央固視・追加視差(3F)	24	22.7	21.3	21.3	20	18.7	16	18.7	20	21.3	21.3	22.7	24	

同一視差量が 16 分の場合. 単位 分

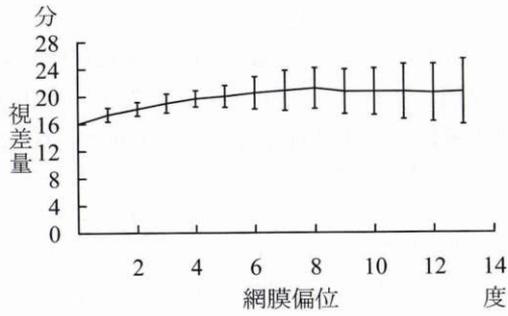


図 6 各縦線に与えた視差量の平均.

左方固視・追加視差における視差量の 8 名の平均値±標準偏差を示す.

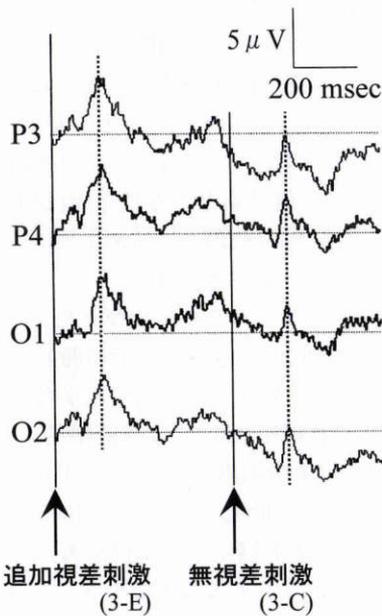


図 7 VECP の代表例. 左方固視・追加視差の場合.

P3, P4, O1, O2 の 4 か所の電極から得られた 64 回加算の波形を示す. 縦軸は振幅(上方向がマイナス), 横軸は時間である. 追加視差刺激開始時から VECP 記録を開始し, 560 msec 後に無視差刺激に切り換わるが, 測定解析時間は記録開始から 1,024 msec である. 縦 2 本の破線はそれぞれの波の頂点潜時を示す.

縦線に与えた追加視差量を, 図 3 B の画面の中央固視標から右側へ向かう 7 本に同じ順列で適用して行った. 一方, 中央固視標から左側へ向かう 7 本には, 上述の右側に適用した順列が固視標に対して対称になるようにそれぞれの縦線の視差量を適用した. つまり, 中央の固視標から右側と左側の 1 本目の縦線同士, 右側と左側の 2 本目同士は先に測定された視差量と同じになっている(表 1). この刺激画面を中央固視で融像させると, 固視標を通る縦線が一番低く, 固視標から左右へ離れるほど高く浮き上がってみえた(図 3 F).

被験者のすべてがこのような立体知覚を容易に確保した.

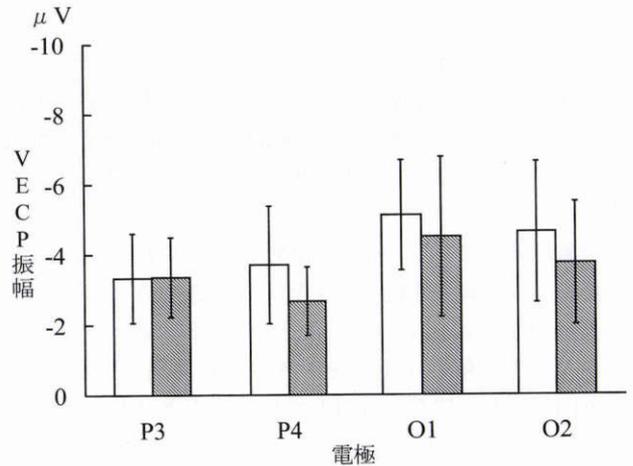


図 8 同一視差への変換時の VECP 振幅.

□: 中央固視, ▨: 左方固視. 各値は平均値±標準偏差.

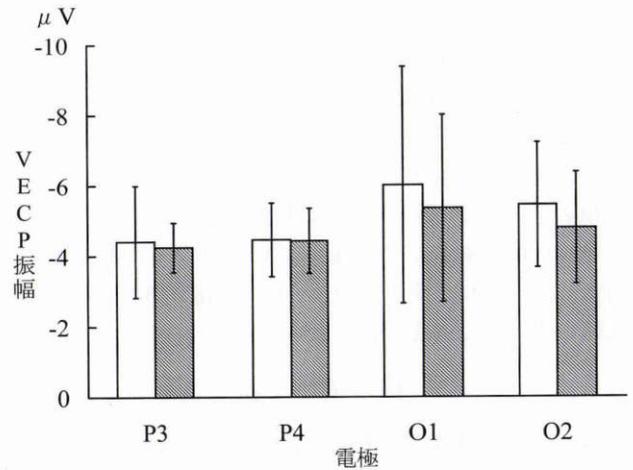


図 9 追加視差への変換時の VECP 振幅.

2. VECP の頂点潜時と振幅

VECP 波形の 1 例として, 左方固視・追加視差(図 3 E)および左方固視・無視差(図 3 C)を刺激とし, 64 回加算した VECP 波形を図 7 に示した. 追加視差画面(図 3 E)によって得られた VECP の陰性波(図では上向きの波)の頂点潜時は 152 msec, 次の無視差画面(図 3 C)で得られた陰性波の頂点潜時は 192 msec であった. VECP の陰性波の振幅は前者において大きかった. 中央固視・同一視差(図 3 B)と中央固視・無視差(図 3 A), 中央固視・追加視差(図 3 F)と中央固視・無視差(図 3 A), 左方固視・同一視差(図 3 D)と左方固視・無視差(図 3 C)の各組み合わせの場合も, 図 7 とほぼ同様に, 有視差刺激では大きな振幅の陰性波, 無視差刺激では小さな振幅の陰性波が得られた. 大きな振幅の陰性波は有視差刺激による立体視が成立したときに発生したものである.

この被験者の頂点潜時は有視差, 無視差のいずれの刺激画面の場合でも 148~160 msec の範囲にあり, 刺激画

面の違いによる変化はなかった。

他の7名の被験者の波形も上記とほぼ同様であった。その頂点潜時は、各被験者間および各刺激画面間で変動しているが、120~196 msec の範囲にあった。また、各刺激画面に対する頂点潜時の変動はある一定の傾向を示さなかった。

全被験者について、中央固視あるいは左方固視において無視差から同一視差(図3Aから図3B,あるいは図3Cから図3D)に切り換わったときに得られた各電極からのVECP振幅の平均値をグラフにして図8に示した。中央固視と左方固視に注目して比較すると、同一視差(図8)では、P4, O1, O2において中央固視のVECP振幅が左方固視よりも大きい傾向を示したが、統計学的には有意差はなかった。一方、中央固視あるいは左方固視において無視差から追加視差(図3Aから図3F,あるいは図3Cから図3E)に切り換わったときの各電極からのVECP振幅の平均値を図9に示した。追加視差では、O1とO2において中央固視が左方固視よりも大きい傾向にあったが、統計学的には有意差はなかった。

次に、各電極間の振幅の大きさを比較すると、同一視差(図8)条件下の中央固視のP3よりもO1が、また左方固視のP4よりもO2がそれぞれ大きく、有意差があった($p > 0.05$)。それ以外の電極間では有意差はなかった。追加視差(図9)条件下では、いずれの電極間においても振幅の大きさに有意差はなかった。

IV 考 按

今回の中央固視と側方固視下で奥行き知覚量に変化を生じさせる要因のうち、物理的に影響を与える可能性があるものとして、①実験装置で使用したモニターディスプレイ面の扁平率、②tangent効果、③形成されるhoropterの湾曲率が考えられる。今回のモニターディスプレイの表面は僅かに湾曲しているが、眼球から刺激画面までの距離は1mと大きく設定されているので、その湾曲が影響を与えるとは考えられない。また、tangent効果についても同様の設定距離から影響はないと考えられる。Horopter面は正面が最も遠く、円弧を描いて瞳孔に近づくように形成されるが、今回の刺激画面の大きさ(視角 14° 以内)と画面までの距離とから、形成されるhoropter湾曲面の影響はないと考えられる。ちなみに、平らな紙に印刷したステレオグラムでも今回の現象は確認できた。以上の理由から、物理的要因による修飾はないと考えられる。

中西ら¹³⁾¹⁴⁾によれば、奥行き知覚の感度は視力と同じように、網膜中心窩から離れるほど低下するので、側方固視では固視標から離れている縦線の浮き上がり量が小さくなるとしている。我々の実験における左方固視・同一視差で、中心窩に結像する縦線よりも周辺寄りの網膜に結像する縦線の方が浮き上がりの量が小さくなる原因は

上記の中西らの報告によって説明できる。しかし、中央固視・同一視差ですべての縦線が同じ高さに浮いてみえる現象の説明にはあたらぬ。ステレオグラムの中の各縦線の視差量はいずれの固視条件下でも同一であるので、この正面視と側方視における奥行き知覚の大きさの違いには、両眼視差の手がかりに加えてもう1つの別の生体メカニズムの関与が推測される。これについては、我々は既に中央固視の場合には網膜周辺の奥行き知覚の大きさを補正する機構が存在していることを提唱した(Fourth IBRO World Congress of Neuroscience, 1995年発表)。

しかしながら現在のところ、著者らはこの新しい現象を合理的に説明できる仮説は持ち合わせていない。これに影響を与える可能性として、今回用いた刺激画面を左方固視した場合、外界の像は網膜中心窩の左側に結像する。したがって、中心窩に結像した一部の網膜像は網膜重複部¹⁶⁾¹⁹⁾を介して両側半球に到達するが、その他の大部分の像は左半球を刺激するのに対し、中央固視の場合には網膜中心窩の両側に結像するため、両側半球を平等に刺激する。このように、刺激される両半球の部位差が今回の現象に関与しているかも知れない。

同一のステレオグラムを中央固視と左方固視で注視したとき、奥行き知覚の大きさが両者の間で異なっていたことから、この差がVECPに反映するか否かを検討したが、両者のVECP振幅の間には統計学的に有意差はなかった。今回の現象の抽出部位がV1~V4に存在する視差抽出細胞にあると仮定すると、VECPに反映しなかった理由として、①中心窩からの偏位が大きくなるほど視覚野皮質部位における拡大因子は小さくなり^{20)~22)}、興奮する細胞数が減るので、網膜周辺部からのVECP振幅は小さくなること。②ヒトにおいて視野中心約 2° までの応答を受け取る視覚野皮質は脳表面に露出しているが、それ以降の視野では周辺ほど半球内側に投射する^{23)~26)}。このため、中心窩から離れた部位のVECP応答は頭皮に置かれた電極から離れることになり検出されにくくなること。③脳回の向きによってダイポールの大きさや向きの影響を受け、検出できなかった可能性があることなどがあげられる。

以上のことから、同一のステレオグラムを中央固視と左方固視で注視したとき、奥行き知覚の大きさが両者の間で異なるという現象の中枢部位を今回のVECP研究からは特定することはできなかった。しかしながら、最近、サルの中側頭皮質(MT)の視差抽出細胞を電気刺激すると、奥行き知覚の特性が変化することが発見された²⁷⁾ことから、視差抽出段階(V1~V4)の情報をMTで修飾して奥行き知覚を獲得している可能性が考えられる。

今回のVECP振幅応答には主としてV1の応答が反映する²⁸⁾と考えられるが、それ以外の視覚中枢部位電位も混在している。そのため、V1などを同定する分解能に

は乏しい。現象と電位の対応関係、あるいは電位の発生部位と解剖学的知見との対応から活動部位を推測することになるが、先に述べたように、高次になるほど活動は VECP に反映しにくくなる。近年著しい進歩を遂げている脳の代謝や血流変化をみる positron emission tomography (PET) や functional MRI (f-MRI) による分析が待たれる。

稿を終えるに当たり、研究の機会を与えて下さり、ご指導、ご校閲下さいました岩手医科大学医学部眼科学教室田澤 豊教授に心から深謝いたします。また、ご協力、ご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学科ならびに岩手医科大学医学部眼科学教室の諸兄姉に感謝いたします。

本論文の要旨の一部は第 33 回国際臨床視覚電気生理学シンポジウム (ISCEV)、第 100 回日本眼科学会総会において発表した。

文 献

- 1) Julesz B: Binocular depth perception of computer-generated patterns. *Bell System Technical Journal* 39: 1125—1161, 1960.
- 2) 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.
- 3) Poggio GF, Fischer B: Binocular interaction and depth sensitivity in striate and prestriate cortex of behaving rhesus monkey. *J Neurophysiol* 40: 1392—1405, 1977.
- 4) Anderson BL: The role of partial occlusion in stereopsis. *Nature* 367: 365—368, 1994.
- 5) Bishop PO: Stereoscopic depth perception and vertical disparity: Neural mechanisms. *Vision Res* 36: 1969—1972, 1996.
- 6) Howard IP, Rogers BJ: Binocular vision and stereopsis. In: Mackintosh NJ, et al (Eds): *Oxford Psychology Series 29*. Oxford University Press, Oxford, 114—148, 1995.
- 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, Petrig B: Large evoked potentials to dynamic random-dot correlograms and stereograms permit quick determination of stereopsis. *Proc Natl Acad Sci USA* 77: 2348—2351, 1980.
- 9) 深井小久子: 視覚誘発動的脳電位図法による両眼視機能検査. *眼臨* 78: 1695—1699, 1984.
- 10) 小口芳久, 浜田恒一, 河原哲夫: 視覚誘発電位による立体視の研究—static random dot stereogram 刺激装置の試作—. *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—959, 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) 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.
- 14) 中西史憲, 二唐東朔: 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. *日眼会誌* 100: 877—884, 1996.
- 15) 飯塚和彦: 静的 random dot stereogram の打点密度の増減に対する VEP 振幅と深径覚知. *日眼会誌* 96: 985—992, 1992.
- 16) 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.
- 17) 大熊輝雄: *臨床脳波学* 4 版. 医学書院, 東京, 35—37, 1991.
- 18) 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度との関連. *神眼* 7: 75—83, 1990.
- 19) Ogle KN: The visual space sense. *Science* 135: 763—771, 1962.
- 20) Rovamo J, Virsu V: An estimation and application of the human cortical magnification factor. *Exp Brain Res* 37: 495—510, 1979.
- 21) Wässle H, Grünert U, Röhrenbeck J, Boycott BB: Cortical magnification factor and the ganglion cell density of the primate retina. *Nature* 341: 643—646, 1989.
- 22) Horton JC: The central visual pathways. In: Hart WM (Ed): *Adler's Physiology of the Eye 9th Edition*. Mosby Year Book, St Louis, 728—772, 1992.
- 23) Horton JC, Hoyt WF: The representation of the visual field in human striate cortex. A revision of the classic Holmes map. *Arch Ophthalmol* 109: 816—824, 1991.
- 24) Endo S, Toyama H, Kimura Y, Ishii K, Senda M, Kiyosawa M, et al: Mapping visual field with positron emission tomography by mathematical modeling of the retinotopic organization in the calcarine cortex. *IEEE Trans Med Imaging* 16: 252—260, 1997.
- 25) 安達恵美子, 千葉次郎: 視野と VECP. 田澤 豊 (編): *眼科 Mook 14 眼と電気生理*. 金原出版, 東京, 182—189, 1980.
- 26) Aine CJ, Supek S, George JS, Ranken D, Lewine J, Sanders J, et al: Retinotopic organization of human visual cortex: Departures from the classical model. *Cereb Cortex* 6: 354—361, 1996.
- 27) DeAngelis GC, Cumming BG, Newsome WT: Cortical area MT and the perception of stereoscopic depth. *Nature* 394: 677—680, 1998.
- 28) Roland PE: The Primary Visual Area (V1): Immediate, Intermediate, and Remote Visual Association Areas. *Brain Activation*. Wiley-Liss, New York, 377—385, 1993.