

視差視標刺激による視覚誘発電位の検討—注意に注目して

秋山 邦彦¹⁾, 前田 多章²⁾, 木村 至¹⁾, 大出 尚郎¹⁾, 真島 行彦¹⁾, 小口 芳久¹⁾¹⁾慶應義塾大学医学部眼科学教室, ²⁾慶應義塾大学医学部生理学教室

要 約

目的: 立体視に特異的な視覚誘発電位を導出する目的で新たな刺激視標を作製した。それにより誘発された陰性波が、深径知覚のような高次の機能を反映するものかどうかを調べるため、注意が陰性波に与える影響を検討した。

対象と方法: 8名を対象とした。視標は固視点の周囲に4点配置されて点滅し、赤緑フィルタ眼鏡装用下で視差が付くことにより、基準面、近位、遠位の3パターンのいずれかに見える。誘発電位は国際標準法により記録し、パターン別に平均加算した。近位に見える場合を標的的刺激とし、標的弁別課題(注意課題)の有無による誘発電位の変化を検討した。

結果: 潜時170~280 msecの陰性波が後側頭部に観測された。その振幅は標的刺激のみならず、非標的刺激

においても課題遂行により増大した。また、無課題では刺激のパターン間の差は不明瞭であるが、注意課題下では非標的刺激に比べ標的刺激で高振幅となった。視差による変化もあった。

結論: 得られた誘発電位は注意と視差の影響を受けることから、V1よりも高次の機能を反映し、深径知覚に関係している可能性が推定された。同時に、従来からvisuo-spatial attentionによる注意関連電位として知られるものと類似の性質が明らかとなった。(日眼会誌 104: 797-804, 2000)

キーワード: 立体視, 深径知覚, 視覚誘発電位, 注意, 注意関連電位

The Effect of Attention on Visual Evoked Potentials Elicited by a Newly Designed Stereogram

Kunihiko Akiyama, Kazuaki Maeda, Itaru Kimura, Hisao Ohde, Yukihiro Mashima and Yoshihisa Oguchi

Department of Ophthalmology, Keio University School of Medicine

Abstract

Purpose: To investigate whether the visual evoked potentials (VEPs) obtained by a newly designed stereogram were generated by some higher function like depth perception, we examined the effect of attention on the VEPs.

Subjects and Method: Eight subjects participated in the experiments. The VEPs were recorded according to the international 10/20 system. The stimulus consisted of circles with or without disparity presented on 4 locations around the fixation point, and they appeared in one of 3 patterns in random order when viewed through red/green spectacles ① at the same distance as the fixation point, ② in front of it, or ③ at the back of it. The near pattern was defined as the target. In Experiment 1, the subjects just fixated on the fixation point. In Experiments 2 and 3, they were required to respond to the target by pressing a button and counting the number (target discrimination task).

Results: A scalp negative potential with a latency

of 170~280 msec was elicited in the lateral occipital area. For each of the 3 patterns the amplitude was greater in Experiments 2 and 3 than in Experiment 1. In Experiments 2 and 3, stimuli with disparity resulted in larger amplitude than without disparity. The target stimulus also evoked larger potentials than non-target stimuli did, although no such effect was apparent in Experiment 1.

Conclusion: Attention, as well as disparity, increased the VEPs amplitude, which indicates that the potential could be generated by neural activity higher than V1 including depth perception. Moreover, the potential showed characteristics similar to attention-related potentials modulated by visuo-spatial attention. (J Jpn Ophthalmol Soc 104: 797-804, 2000)

Key words: Stereopsis, Depth perception, Visual evoked potential, Visuo-spatial attention, Attention-related potential

別刷請求先: 160-8582 東京都新宿区信濃町 35 慶應義塾大学医学部眼科学教室 秋山 邦彦
(平成 11 年 12 月 18 日受付, 平成 12 年 5 月 10 日改訂受理)

Reprint requests to: Kunihiko Akiyama, M.D. Department of Ophthalmology, Keio University School of Medicine, 35 Shinanomachi, Shinjuku-ku, Tokyo 160-8582, Japan

(Received December 18, 1999 and accepted in revised form May 10, 2000)

I 緒 言

両眼視機能の評価は主に自覚的な検査法で行われる。しかし、対象によってはそのような検査が困難であり、十分な情報が得られないことがあるため、他覚的検査法が望まれる。

他覚的に両眼視機能の評価するためには、非侵襲的な電気生理学的方法が有用である。パターン視覚誘発電位 (visual evoked potential, VEP) による P 100 成分の頭皮上分布が片眼視時と両眼視時で異なることが報告されているが、これは V 1 および V 2 での、片眼から入力を受けるニューロンと、両眼から同時に入力を受けるニューロンの分布の違いを反映しているとされている¹⁾²⁾。

さらに明確に両眼視機能の評価するためには、立体視により特異的に誘発される VEP を測定できればよいと考えられる。そのために、視差を用いた視標による方法がいくつか考案されている。その代表といえる dynamic random-dot stereogram は、monocular cue (片眼視でも認識可能な変化) を含まず、両眼視差のみを要素としている。この視標を用いて数多くの研究がなされた結果、検出される VEP は両眼視差抽出段階によるもので、立体感を認識したことによるものではないとの結論に達している^{3)~7)}。また、dynamic random-dot stereogram の前身である static random-dot stereogram によって得られる VEP についても同様に考えられている^{8)~14)}。

著者らは立体視による深径知覚を反映する VEP を導出することを目的に、新たな視標を作製した。その際、従来の random-dot stereogram では、大きな刺激視標面積による面の効果と、輝度の明瞭なコントラストによるエッジの効果が含まれていることを考え、新しい視標では刺激面積を小さく、かつ、コントラストを低くした。また、現実の立体視においては monocular cue は無視できない重要な部分であり、monocular cue の有無により課題に対する反応時間に差があるとの報告¹⁵⁾もあることから、monocular cue を含むものとした。この視標を用いて立体視による誘発電位を記録し、それが視差抽出段階より高次の過程を反映しているかを調べるため、注意課題による影響を検討した。その結果、random-dot stereogram で得られる VEP (Lehmann ら⁶⁾, Herpers ら⁷⁾) と異なり、注意課題による振幅増大があり、また注意関連電位として知られるものに類似する性質も確認されたので報告する。

II 対象と方法

1. 対 象

矯正視力が両眼とも 1.0 以上で、両眼視機能が Titmus stereo test で circle 9/9 (視差 40 s) の男性 1 名、女性 7 名 (年齢 19~29 歳、平均 21.6 歳) を対象とした。屈折は全員が -3 D 以内の近視であった。また、対象は全員右利きで

あった。実験に際しては、被験者全員に目的および方法を十分に説明し同意を得た。

2. 方 法

視標はコンピュータディスプレイを用いて提示し、赤緑フィルタ眼鏡装用下で立体視を得るものである (図 1)。固視点および上下左右の 4 点に細い線で描かれた二重の円を黒の背景上に配置し、これらにより基準面を明確に提示した。固視点と周囲の 4 点の中間に、点滅する 4 点を設け、これらを視差視標とした。これら 4 点は、次の 3 通りのパターンで出現する。① 固視点と同様に二重の円のみ、② 赤と緑で左右水平方向に等距離で解離する、③ 左右の赤緑が逆に解離する。したがって被験者には点滅する 4 点は、① では基準面と同一平面上 (視差なし) に、② と ③ ではそれぞれ基準面より近位または遠位 (視差あり) に見える。4 点の提示時間は 1.0 s、提示間隔は 1.5 ± 0.75 s でランダムに動かした。各パターンの出現頻度は、近位を 34%、基準面と遠位をそれぞれ 33% に設定した。また、3 通りのパターンはランダムな順序で提示され、被験者には次にどのパターンが現れるか予測できないようにした。視角は各々の円の直径が 16 分、固視点の中心と視差視標の中心が 48 分、固視点の中心と周囲 4 点の中心が 96 分である。視差は 6.4 分、9.6 分、12.8 分のうち、各被験者が無理なく立体視できる範囲で最大のものを用いた。フィルタ眼鏡装用下での視標の平均輝度は 0.22 cd/m²、平均コントラストは 40% である。

被験者は暗室で椅子に座り、リラックスした状態で赤緑フィルタ眼鏡を装用し、モニターから 1.5 m の距離で視標の固視点を固視した。屈折異常がある場合は完全矯正下で実験を行った。誘発電位は国際標準法 (10—20 法) に従い、ECL エレクトロロキャップ電極 (EEG-2100, 日本光電社) を用いて記録された。基準電極は A 1-A 2 連結とし、Fpz を接地電極にした。また、両外眼角外側の電極により眼球電図 (electro-oculogram, EOG) を同時に記録し、眼球運動をチェックした。記録された誘発電位は、視差視標出現時を trigger point としてその前後 1 s について、3 つの視標の出現パターン別に 64 回平均加算した (FOCUS/QP-211 A, 日本光電社、フィルタは 0.53~60 Hz)。その際、EOG に明らかな変化のある epoch、瞬目を含む epoch、 α 律動などの大きな変動のある epoch は除外した。極性は、頭皮上電極マイナスの電位変化が上向きになるように記録装置を設定した。平均加算で得られた電位変化の振幅と頂点潜時を計測し、paired t 検定を用いて解析した。振幅は直前の谷から頂点までとした。また、電位変化の頂点潜時付近での頭皮上分布をトポグラフィ表示し、その電流源密度から集積部位を推定した (FOCUS/QP-211 A, 日本光電社)。

実験は次の 3 つの条件で行った。実験 1 と 2 は 4 名の被験者で、実験 1 と 3 は 6 名の被験者で行い、そのうち 2 名では実験 1~3 のすべてを行った。原則として 1 セット



図 1 刺激視標.

左：視差なし(基準面), 右：視差あり(近位または遠位)

中央の固視点と周辺の 4 点は常に点灯しており, これらによって基準面が構成される. 固視点と周辺 4 点の中間に点滅する 4 点を刺激視標として設ける. これらが赤緑フィルタ眼鏡装用下で基準面(左)および近位または遠位(右)に見える, 立体視標となる. 3 パターンはランダムな順序で, インターバルを挟んで出現する.

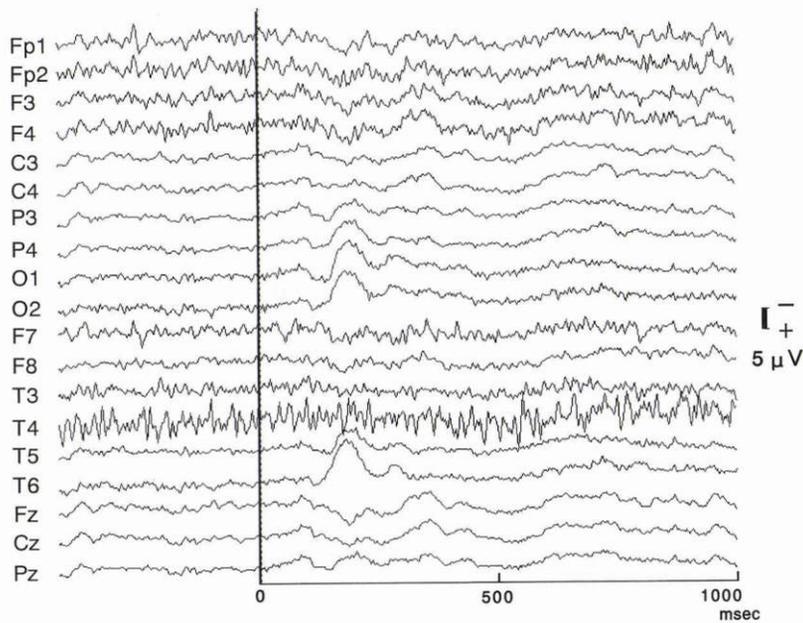


図 2 平均加算により得られた脳波の 1 例.

刺激視標の近位(課題なし)により誘発された脳波を 64 回平均加算した. 導出は国際標準法により, 両耳朶連結を基準電極としている.

の実験を 5 分程度の休憩を挟んで連続して行ったが, 被験者の疲労が強いと判断された場合は 2 日に分けて実験を行った.

実験 1: 視標の固視点を注視する(視差視標の見え方に対し特定の注意を払わない).

実験 2: 視差視標が近位に浮き出して見えたとき(標的刺激)に, 膝の上で右手に持ったボタンを押す(ボタン押し課題).

実験 3: 視差視標が近位に浮き出して見えた回数をカウントする(カウント課題).

実験 2 についてはボタン押しの結果により正解率を確認し, 90% 以上を評価の対象とした. 同様に, 実験 3 についてはカウントした答えが正解の前後 10% 以内である場合を評価の対象とした.

III 結果

被験者は全員が視標により明瞭な立体感を得た. ランダムに提示される 3 パターンの奥行き変化を容易に区別でき, 注意課題の正解率基準はすべての試行で満たされた.

実験 1~3 で記録された脳波を各視標パターン別に平均加算した結果, いずれにおいても後頭から側頭にかけて頂点潜時 170~280 msec の陰性波が得られた. 図 2 はその 1 例である. 各データのうち, 陰性波が大きく, しかもノイズが最も少なかった後頭部の 2 電極(O1 と O2)でのデータを評価の対象とした.

ボタン押し課題(実験 2), カウント課題(実験 3)ともに課題の遂行により陰性波の振幅が増大した. この効果は,

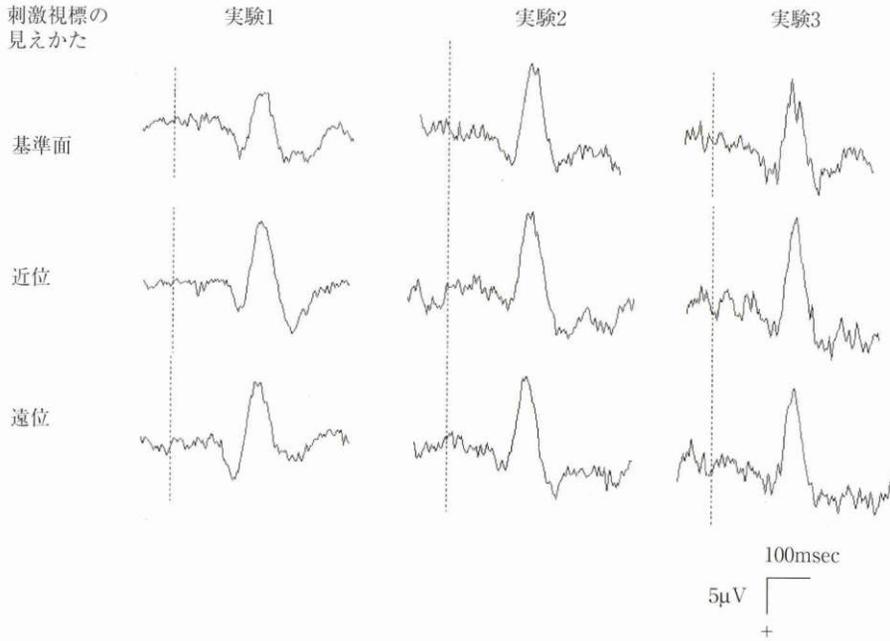


図3 陰性波の変化の1例(O1-A1-2).

課題なしと比べ、課題遂行下では陰性波の振幅が増大している。この変化は標的刺激(近位)のみならず、非標的刺激(基準面と遠位)でもあった。

表1 ボタン押し課題による振幅の変化(平均値±標準偏差)

		実験1(課題無し)	実験2(ボタン押し課題)	p値*	
基準面	O1	6.3 ± 1.0	9.0 ± 1.2	0.0016	** ① ② ③
	O2	6.3 ± 1.7	9.8 ± 2.5	0.0060	
近位	O1	6.5 ± 1.3	13.8 ± 3.2	0.0255	
	O2	7.8 ± 1.7	13.5 ± 4.5	0.0431	
遠位	O1	7.3 ± 2.6	12.5 ± 1.7	0.0652	
	O2	7.8 ± 2.2	12.3 ± 3.4 (µV)	0.1399	

*: paired t 検定 **：課題遂行下での各パターン間のp値(O1/O2)：
① 0.0192/0.0358 ② 0.0123/0.0154 ③ 0.3416/0.1942 (paired t 検定)

表2 カウント課題による振幅の変化(平均値±標準偏差)

		実験1(課題無し)	実験3(カウント課題)	p値*	
基準面	O1	4.8 ± 1.5	8.5 ± 2.7	0.0060	** ① ② ③
	O2	5.5 ± 1.8	9.0 ± 2.9	0.0046	
近位	O1	5.0 ± 1.3	10.3 ± 3.2	0.0039	
	O2	6.7 ± 2.4	11.7 ± 3.3	0.0030	
遠位	O1	5.0 ± 0.9	9.2 ± 2.5	0.0050	
	O2	6.2 ± 1.2	10.0 ± 3.1 (µV)	0.0199	

① 0.0284/0.0074 ② 0.2856/0.0756 ③ 0.0583/0.0005 (paired t 検定)

標的刺激(近位)に対してのみならず、その他の刺激(基準面と遠位)に対してもあった(図3)。3パターン別の振幅(平均値±標準偏差)は表1,2および図4のごとくであり、特にカウント課題による振幅変化には有意差があった。

3つの刺激パターン間の振幅には、課題がない場合、僅

かに視差の有無による変化があるのみで、有意差はなかった。しかし、各課題遂行下では、基準面と遠位に比べ近位(標的刺激)で振幅が増大する傾向が明らかであり、基準面と近位の間には有意差があった(図4,表1,2の①)。同様に、各課題遂行下では、非標的刺激同士である基

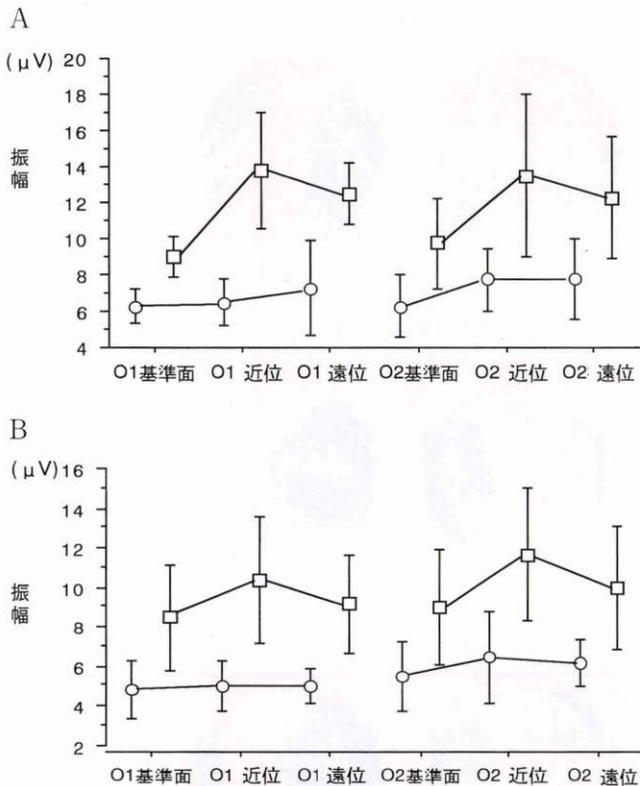


図4 各課題遂行による振幅の変化(平均値±標準偏差)。

A: ボタン押し課題(n=4)○: 課題なし, □: ボタン押し課題, B: カウント課題(n=6), いずれにおいても課題遂行によって陰性波の振幅は増大している。さらに, 課題なしでは視標のパターンによる違いは明瞭でないが, 課題遂行下では標的刺激(近位)で非標的刺激(基準面と遠位)より高振幅となっている。同様に, 課題遂行下で基準面より遠位の振幅が増大する傾向が, 特にAで明らかである。

準面と遠位の間で振幅が変化する傾向があり, ボタン押し課題においてはその差は有意であった(図4, 表1, 2の②)。

頂点潜時は170~280 msecと被験者により差があったが, 同一被験者では実験条件による差はなかった。課題の有無や視標のパターンによる潜時の一定の傾向はなく, 統計上有意差もなかった。

陰性波の頭皮上分布を頂点潜時付近の電流源密度(図5)で見ると, 課題の有無にかかわらず側頭~後頭部に集積があった。被験者により若干のずれはあるが, 側頭~後頭部という点では一致していた。また, 4名で両半球に集積し, 3名で右半球優位, 1名で左半球優位であった。

IV 考 按

新たな視標を作製するに当たり, monocular cue を含まないものはdynamic random-dot stereogram 以外に考えにくく, また monocular cue の立体視における重要性¹⁵⁾も考慮に入れ, monocular cue を含むものが考案された。さらに, random-dot stereogram では, 刺激視標の

面が大きいこと, dot と background の間の輝度のコントラストが明瞭であることから, 純粋な立体感の変動のみならず面とエッジの効果が含まれていると考えられる。そこで, これらの効果を抑えることを目的として, 視標の面積を小さくし, かつ視標の輝度を低く設定した。また, 視標をインターバルをおかず連続して提示すると, 視標の移動による運動成分が含まれるので, これを排除するためにインターバルをおいた。赤と緑の各フィルタを通して見た視標の輝度は厳密に等しくすることは困難であるが, 可能な限り差を小さくした。Lovasikら¹⁶⁾によると, 両眼立体視が成立しなくなるには片眼の輝度がもう片眼の約98%減少する必要があるが, 我々の実験での輝度差は明らかに十分小さいといえた。また, 真島ら¹⁷⁾はrandom-dot stereogramを用い, 心理物理的に立体視が成立する両眼輝度差の範囲と, 電気生理学的にbinocular summationが起こる両眼輝度差の範囲が一致することを報告している。我々の視標では心理物理的には立体感を十分に誘発されており, 両眼の輝度差は実験に大きな影響のない範囲であると考えられる。

視標により導出された陰性波は, 視差により振幅が増大する傾向がある程度確認された。かつて, static random-dot stereogramの研究で小口ら¹⁰⁾, 濱田ら¹¹⁾¹²⁾が行ったように, 刺激条件(輝度や視差の大きさなど)を工夫することにより, 視差の有無による差を明瞭に記録できる可能性もある。視標はインターバルを設けた結果, パターンのON/OFF刺激をも生じており, 陰性波にはその要素が含まれている可能性は否定できない。しかし, 注意課題下で, 非標的刺激同士である基準面と遠位との間で振幅が変化する傾向が明らかであったことから, このVEPは視差の影響を受けると考えられる。ON/OFF刺激の影響を考察するには, 片眼視でのデータも必要であり, 今後の課題である。

視差による振幅変化や視差の有無による波形変化は, random-dot stereogramにより誘発されるVEPで報告^{6)9)11)~14)}されている。しかし, 同様のVEPがuncorrelogram(両眼視のできない視標)でも誘発されたこと⁵⁾, 心理物理的に立体視が成立しない高頻度刺激でも同周波数のVEPが誘発されたこと⁵⁾, 注意の影響を受けないこと⁶⁾⁷⁾, また打点密度の変化が深径感の強弱に影響を与える一方で, VEPには影響を与えないこと¹⁴⁾などから, それらの変化は視差抽出段階よりも高次の機能を反映するものではないと結論づけられている。

サルのV1のニューロンの多くがdisparity-sensitiveであることが知られており¹⁸⁾¹⁹⁾, ヒトでも同様であると考えられる。したがって, 視差の影響を受けるVEPの場合, このニューロンの反応の影響をとらえている可能性があり, 深径知覚によるVEPであるためにはその可能性を否定しなければならない。

視標により得られたVEPがV1レベルの活動を主に

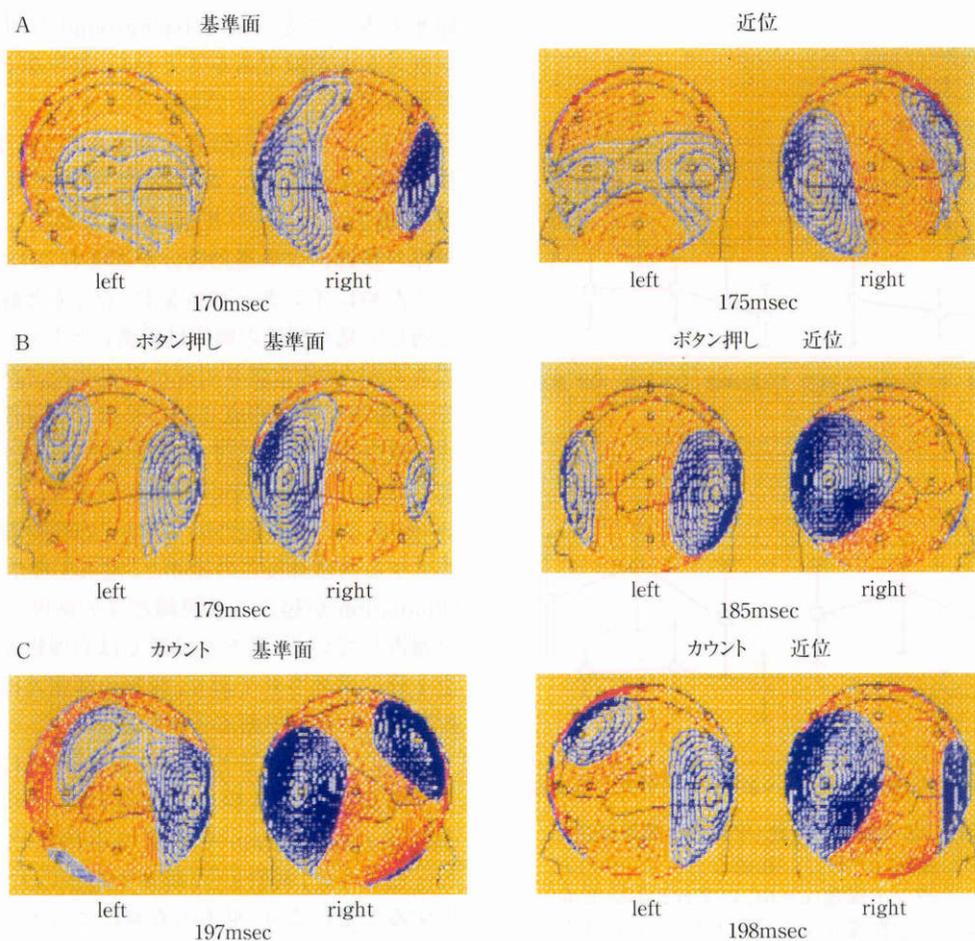


図5 陰性波の頂点付近での電流源密度の1例。

同一被験者で、A：実験1(課題なし)、B：実験2(ボタン押し課題)、C：実験3(カウント課題)による。各図の下に潜時(msec)を示す。赤は電位の湧き出し、青は吸い込みを表す。信号発生源は、青の中心と赤の中心を結ぶ線の中点、すなわち、この場合は後側頭部に推定される。

反映したものか、より高次の活動を反映したものかを判断するために、被験者が視標に対して向ける注意がVEPに及ぼす影響に着目した。これはLehmannら⁶⁾、Herpersら⁷⁾がdynamic random-dot stereogramにおいて行った方法であり、注意という高次機能の影響を受けるVEPは、V1よりも高次の活動を反映すると考えられる。注意課題として、ボタン押しとカウントの2種類の標的弁別課題を用いた。いずれにおいても、注意課題は陰性波の振幅に影響を与えた。注意による振幅変化は、①非標的刺激に対する標的刺激での増大、②いずれの刺激でも同様にみられる、注意課題の有無による変化の2種類があった。

一方、事象関連電位(event-related potential, ERP)の一つとして、視標の位置に対する注意(visuo-spatial attention)を反映する注意関連電位が知られている。比較的早期にみられる電位では、80~130 msecの陽性波(P1)、170~210 msecの陰性波(N1)の2つが注意の影響を受ける電位として知られるが^{20)~28)}、このうちN1は、潜時、頭皮上分布ともに今回報告する陰性波と類似している。

注意関連電位の実験においては、固視点に対して左右

どちらかに視標(標的刺激または非標的刺激)がランダムに出現し、被験者にはどちらか一方に注意を向けさせ、そのうえで標的刺激を弁別させるのが一般的な方法である。我々が視標が近位に見える場合のみに注意を向けさせたように、注意を一定の方向のみに向け続けた(sustained attention)実験において、Mangunら²⁴⁾やGonzalezら²⁷⁾は、標的刺激に対する振幅が非標的刺激と比較して増大するのみならず、非標的刺激に対する振幅が非注意側と比較して注意側で増大することを報告している。このことは我々の場合の、①注意課題下における標的刺激と非標的刺激の振幅の変化と、②注意課題の有無による振幅の変化に対応している。またMangunら²³⁾²⁴⁾、Gonzalezら²⁷⁾によると、注意は陰性波の潜時には明らかな影響を与えず、我々の結果と共通している。

これらの注意関連電位に影響を与えるvisuo-spatial attentionは、固視点に対して左右いずれかの視野に対する注意である。その場合、注意の影響は視標が提示された視野の対側の脳半球でより大きく現れるが、それは単に刺激の視野と脳半球の関係ではなく、あくまでも注意に

よる変化であることを Harter ら²⁰⁾は示している。そうであれば、我々が行った実験のように視標が立体感を伴って提示された場合に、その三次元の位置に対して注意を払ってもほぼ同様な注意関連電位が検出されることは十分に考えられる。

陰性波はいずれも後側頭部に集積があった。この結果から信号発生源を特定することはできないが、V1 から V4 あるいは V5 に至る視覚領域(サルにおいて証明されたこれらの視覚情報の流れはヒトでも同様であると考えられている²⁰⁾)の、V1 より高次側であると推測される(刺激視標は固視点の近傍にあり、もし陰性波が V1 に発生したものであれば、もっと後頭部側に集積するはずである)。また、用いた視標により誘発される立体視はいわゆる静的立体視(static or fine stereopsis)と考えられ、これは V4 が関与するとされる²⁰⁾。陰性波は頭頂部側(V5 側)に集積する傾向はなく、おそらく V4 に至る parvocellular pathway²⁰⁾のどこかに発生源があると考えて矛盾しない。

一方、注意関連電位 N1 のダイポールモデルによる信号発生源推定については、lateral extrastriate cortex と inferotemporal cortex (Gonzalez ら²⁷⁾)、lateral extrastriate は影響を受けず、parietal activity で変化が起こる (Bruin ら²⁸⁾)、ただし、この報告の実験系は他と大きく異なる)など報告により違いはあるものの、Gonzalez らの報告している頭皮上分布は、今回我々の得た頭皮上分布と類似している。

以上のように、今回得られた後側頭部優勢の陰性波は、視差の影響を受ける傾向があるのみならず、注意の影響をも受けることから、V1 よりも高次の機能を反映すると考えられる。その頭皮上分布からは、静的立体視に関わる V4 に至る parvocellular pathway 上に発生源があるとして矛盾しない。一方で注意関連電位と類似する ERP としての性質が示された。いずれの側面がどの程度関与しているのかは今回の実験からは不明であるが、この陰性波は、さらに性質を解明することで、深径知覚との関連がより明らかになる可能性がある。

本論文の要旨は第 45 回日本臨床視覚電気生理学会および第 102 回日本眼科学会総会で発表された。

文 献

- 1) Adachi-Usami E, Lehmann D: Monocular and binocular evoked average potential field topography: Upper and lower hemiretinal stimuli. *Exp Brain Res* 50: 341—346, 1983.
- 2) Skrandies W: Monocular and binocular neuronal activity in human visual cortex revealed by electrical brain activity mapping. *Exp Brain Res* 93: 516—520, 1993.
- 3) Skrandies W: Contrast and stereoscopic visual stimuli yield lateralized scalp potential fields associated with different neural generators. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 78: 274—283, 1991.
- 4) Lehmann D, Julesz B: Lateralized cortical potentials evoked in humans by dynamic random-dot stereograms. *Vision Res* 18: 1265—1271, 1978.
- 5) 大本達也, 初川嘉一, 村井保一: Dynamic random-dot pattern による disparity 刺激による VEP. *日眼会誌* 88: 559—564, 1984.
- 6) 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.
- 7) Herpers MJ, Caberg HB, Mol JMF: Human cerebral potentials evoked by moving dynamic random dot stereogram. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 52: 50—56, 1981.
- 8) Regan D, Spekreijse H: Electrophysiological correlate of binocular depth perception in man. *Nature* 225: 92—94, 1970.
- 9) Regan D, Beverley KI: Electrophysiological evidence for existence of neurons sensitive to direction of depth movement. *Nature* 246: 504—506, 1973.
- 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) 濱田恒一, 小口芳久, 河原哲夫: Static random-dot stereogram による立体視刺激 VEP の研究—刺激条件に関する検討—. *日眼会誌* 89: 582—588, 1985.
- 12) 濱田恒一, 小口芳久, 河原哲夫: 各種刺激条件による立体視 VEP の反応性に関する研究—刺激提示方式, 刺激変換時間, 刺激提示時間に関する検討—. *日眼会誌* 89: 1059—1063, 1985.
- 13) Yanashima K, Miwa M, Akeo Y, Kawara T: Topographical study of stereo-related potentials. *Doc Ophthalmol* 65: 25—33, 1987.
- 14) 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.
- 15) Julesz B, Oswald HP: Binocular utilization of monocular cues that are undetectable monocularly. *Perception* 7: 315—322, 1978.
- 16) Lovasik JV, Szymkiw M: Effects of aniseikonia, anisometropia, accommodation, retinal illuminance, and pupil size on stereopsis. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 26: 741—750, 1985.
- 17) 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的研究—輝度による影響—. *日眼会誌* 90: 1381—1387, 1986.
- 18) Poggio GF, Fischer B: Binocular interaction and depth sensitivity in striate and prestriate cortex of behaving rhesus monkey. *J Neurophysiol* 40: 1392—1407, 1977.

- 19) **Poggio GF, Gonzalez F, Krause F** : Stereoscopic mechanism in monkey visual cortex : Binocular correlation and disparity selectivity. *J Neurosci* 8 : 4531—4550, 1988.
 - 20) **Harter MR, Aine C** : Hemispheric difference in the neural processing of stimulus location and type : Effects of selective attention on visual evoked potentials. *Neuropsychologia* 20 : 421—438, 1982.
 - 21) **Eason RG** : Visual evoked potential correlates of early neural filtering during selective attention. *Bull Psychon Soc* 18 : 203—206, 1981.
 - 22) **Neville HJ, Lawson D** : Attention to central and peripheral visual space in a movement detection task : An event-related potential and behavioral study. I. Normal hearing adults. *Brain Res* 405 : 253—267, 1987.
 - 23) **Mangun GR, Hillyard SA** : Spatial gradients of visual attention : Behavioral and electrophysiological evidence. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 70 : 417—428, 1988.
 - 24) **Mangun GR, Hillyard SA** : Allocation of visual attention to spatial location : Trade off functions for event-related brain potentials and detection performance. *Percept Psychophys* 47 : 532—550, 1990.
 - 25) **Mangun GR** : Neural mechanism of visual selective attention. *Psychophysiology* 32 : 4—18, 1995.
 - 26) **Eimer M** : Spatial cueing, sensory gating and selective response preparation : An ERP study on visuo-spatial orienting. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 88 : 408—420, 1993.
 - 27) **Gomez Gonzalez CM, Clark VP, Fan S, Luck SJ, Hillyard SA** : Sources of attention-sensitive visual event-related potentials. *Brain Topogr* 7 : 41—51, 1994.
 - 28) **Bruin KJ, Kenemans JL, Verbaten MN, Van der Heijden AHC** : Localization of spatial attention processes with the aid of a probe technique. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 108 : 110—122, 1998.
 - 29) **Tychsen L** : Binocular vision. In : Hart WM Jr (Ed) : *Adler's Physiology of the Eye*, ninth edition. CV Mosby, St Louis, 773—853, 1992.
-