

Fourier 分析による Binocular VEP

—刺激融像面積の影響について—

小口 芳久*・勝海 修** (*慶応義塾大学医学部眼科学教室
**東京女子医科大学第二病院眼科)

要 約

1. 融像図形を用いて左右眼に映る格子縞反転刺激画面をかさね合わせ、VEP を記録しフーリエ解析を行うと、左右眼に与えた2種類の周波数成分のほかに、その中間周波数成分 (Intermediate Frequency Component: IFC) を認める。左右眼の像の重なりあった領域 (Superimposed area: SA) を変化させ、IFC につき検討した結果、1) SA が視角60分以上の時 IFC は出現する。2) SA が視角140分で IFC の振幅は飽和する。3) SA が視角200分 (100%の重なり) の時、IFC は単眼の activity を示す monocular component の約0.6倍の振幅を示す。2. 両眼に同一周波数刺激を行い、SA のみを変化させ、VEP を記録しフーリエ解析を行った結果、1) SA が増大するとともに振幅も増大する。2) SA が視角100%の重なり時には、全く重りのない時に比較して約1.42倍の振幅を示す。(日眼会誌 93: 1108-1113, 1989)

キーワード: VEP, フーリエ解析, 融像

Fourier Analysis of Binocular VEP with Stimulation of Fusional Areas

Yoshihisa Oguchi* and Osamu Katsumi**

*Department of Ophthalmology, School of Medicine Keio University

**Department of Ophthalmology, Tokyo Women's Medical College, Daini Hospital

Abstract

Dioptric stimulation, by which each eye was stimulated by the same checkerboard pattern but at different pattern reversal rates, was performed and the visually evoked potentials (VEP) were analyzed with a Fourier processor. When both images from each eye were superimposed using fusional targets and prisms, the intermediate frequency component (IFC) was recognized besides two components corresponding to each stimulating frequency reversal rate. The relationship between IFC and the superimposed area (SA) was studied. IFC appeared clearly when the visual angle of SA was above 60min. (18% of SA). The amplitude of IFC was saturated at a visual angle of 140min. (53% of SA). Furthermore, when the SA was 200min. of the visual angle (100% of SA), the IFC showed 0.6 times the activity of the monocular component. When dioptric stimulation was used, only one component corresponding to the stimulating pattern rates was observed and the amplitude became higher with increase of SA. The amplitude of the SA (areas of each eye were fully superimposed) was 1.4 times greater than that of 0% SA. (Acta Soc Ophthalmol Jpn 93: 1108-1113, 1989)

Key words: VEP, Fourier analysis, Fusion

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
(平成元年2月9日受付, 平成元年7月24日改訂受理)

Reprint requests to: Oguchi Yoshihisa, M.D. Dept. of Ophthalmol., School of Med., Keio Univ.
35 Shinano-Machi, Shinjuku-ku, Tokyo, 160, Japan

(Received February 9, 1989 and accepted in revised form July 29, 1989)

I 緒 言

著者らは既報¹⁾にて、テレビ画面を左右に二分し、その画面にそれぞれ軸が直交するポラロイドフィルターを置き、眼前にも軸の直交するポラロイドフィルターを装用し、それぞれ左眼と右眼に異なる時間周波数の格子縞反転刺激を行い、融像図形を用いることにより、左右眼に映る画面を重ね合わせると、自覚的に左右眼にそれぞれ単独で感じる周波数と異なった周波数の刺激感覚を得ることを認め、VEPを記録しフーリエ分析を行うと各眼個々の刺激周波数成分と同一の周波数成分の他に、左右の周波数成分の中間の周波数成分(Intermediate Frequency Component, IFC)を発見し、報告した。さらにこの新しい中間の周波数成分が、融像図形にて融像が感覚的に確認されている時のみ認められることより、融像に関係の深い成分であると考えた。既報¹⁾において、IFCが時間周波数の異なる二つの市松模様を融像した効果であるのか、単なる円型の図形の融像効果であるのか議論があった。そこで今回は左右画面の格子縞の重なり合う領域の範囲を変化させ、IFCがいかに変化するかをdichoptic刺激にて検討を試み、併わせてdioptric刺激の場合と比較検討した。方法としては、左右重なり合う領域を単眼の刺激面積を減じることにより変化させる方法と、単眼への入力としての刺激面積は一定にして重なり合った面積を順次変える方法がある。本研究では、後者につき検討し若干の知見を得たので報告する。

II 対象ならびに実験方法

対象とした被検者は、矯正視力1.0以上で両眼視機能正常(Titmus stereo test; Circle 9/9, TNO 30")の成人女性3名(20~30歳)と男1名(42歳)である。dichoptic刺激では女性3名をdioptric刺激では女性3名と男性1名を対象とした。フーリエ分析によるBinocular VEPの実験方法は、既報¹⁾にて詳述したので省略し、本実験の方法について述べる。テレビ画面は中央より左右に分離し、左右画面ともにそれぞれ水平方向に10個(視角200分)、垂直方向には18個(視角

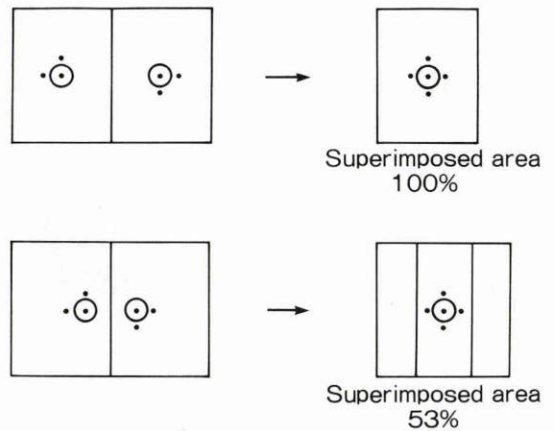


図1 融像図形と Superimposed area. TV画面上の左右の融像図形を中心に近付けることにより、Superimposed areaを変化させることができる。

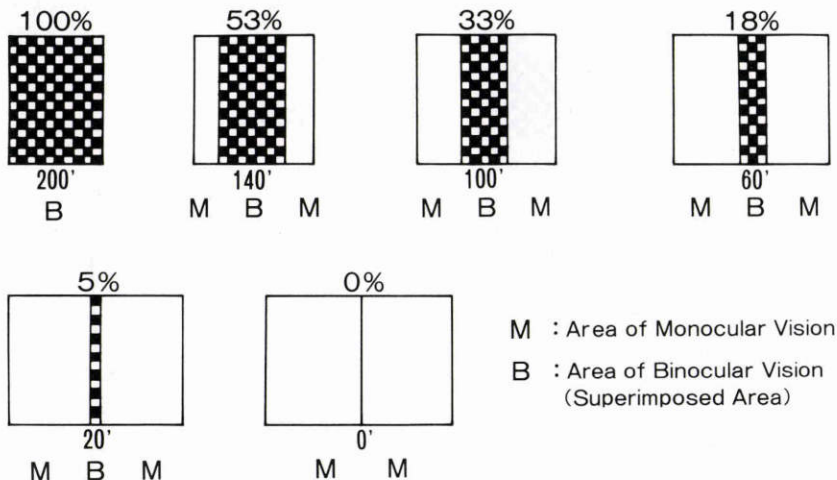


図2 6段階の重ね合わせた格子縞刺激領域。融像図形を変化させることにより、100%から0%まで6段階の重ね合わせ領域を作ることができる。

360分)の格子縞があり、左右の融像図形をテレビ画面の中央に向けて横方向にずらすことにより、格子縞の重なり合う個数の領域 (Superimposed area: SA) を変化させることができる (図1)。左右10個 (視角200分) を重ねたものから、7個 (視角140分)、5個 (視角100分)、3個 (視角60分)、1個 (視角20分) の5段階の重ね合わせ領域にて実験を行った (図2)。以上の実験条件にて左右眼で時間周波数の異なる dichoptic な刺激と左右同一周波刺激を用いた dioptic 刺激を行い dichoptic 刺激にては、重なり合った領域と power spectrum 上から得られた振幅との関係につき検討した。

III 実験結果

1. dichoptic 刺激

図3の上段は32歳の女性の dichoptic 刺激条件で、

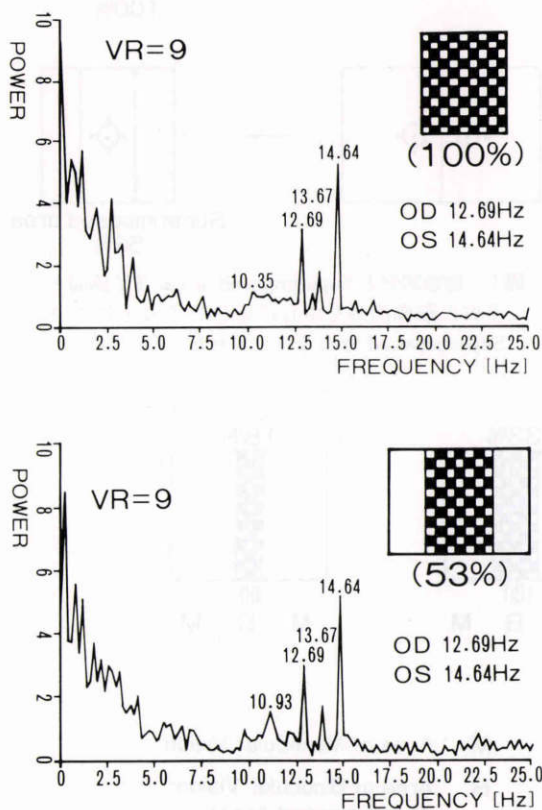


図3 刺激領域のフーリエ分析による binocular VEP. 上段は重ね合わせ領域100%における binocular VEPで周波数成分13.67HzにIFC成分を認める。下段は53%の領域のIFC成分で100%の時とほぼ同じ。

分離した左右の像が重なり合った領域 (SA) の格子縞が10列 (水平方向の視角200分) の時のフーリエ分析の結果である。図にて認められるように左右成分の他に IFC が出現する。この重なり合った領域を減じると、5列 (視角100分, SA:33%) までは、IFC は明らかに認められるが3列 (視角60分, SA:18%) になると非常に減少し、1列 (視角20分, SA:5%) では、ノイズレベルとなる (図4, 図5)。次の3例の被検者につき、重なり合った領域とパワーの平方根 (\sqrt{P}) との関係を図示すると図6のようになる。重なり合った領域が1列 (視角20分, SA:5%) 以下の場合にはIFCはノイズレベルであるが、3列 (視角60分, SA:18%) では、IFCの振幅が認められるようになり、5列 (視角100分, SA:33%)、7列 (視角100分, SA:53%) と、漸次パワーの平方根は増大し、視角140分 (SA:53%) 以上では、ほぼ飽和する傾向が認められた。

さて、振幅はパワーの平方根に比例するので、右眼由来の振幅を $A(R)$ 、左眼由来の振幅を $A(L)$ 、融像マ-

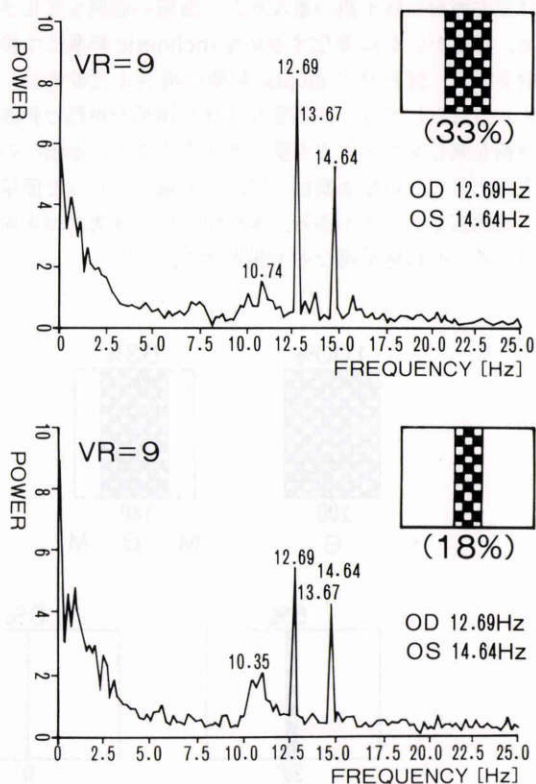


図4 刺激領域のフーリエ分析による binocular VEP. 上段は重ね合わせ領域33%、下段は18%のIFCを示す。18%のIFCはノイズレベルである。

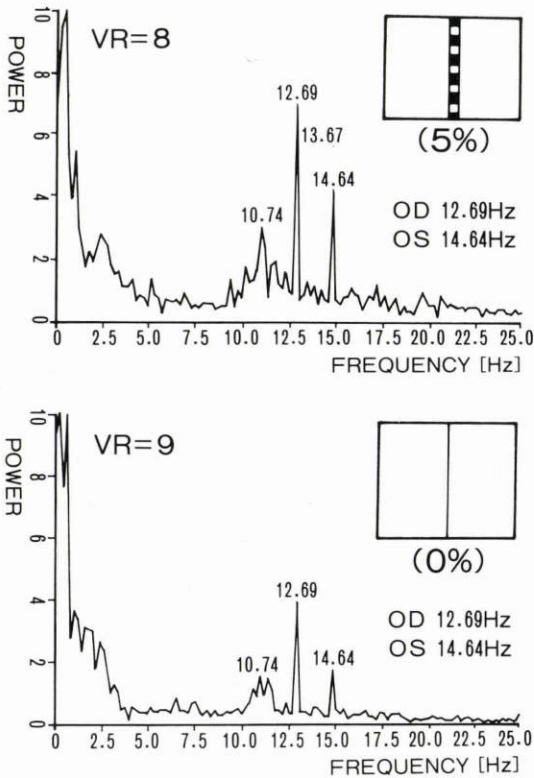


図5 刺激領域のフーリエ分析による binocular VEP. 重ね合わせ領域5%と0%はIFCは出現しない。

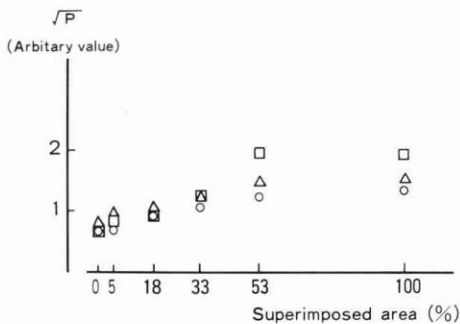


図6 重ね合わせ領域(SA)とIFCパワーの平方根との関係

クにて融像を確認した時のみに得られるIFCの振幅をA(B)とする。単眼由来の振幅に対してA(B)がいかなる割合を示すかをみるには、それぞれ左右眼由来の振幅の平均とA(B)を比較すればよいことになる。この関係を図示したものが、図7である。IFCの振幅(A(B))を(A(R)+A(L))/2で除した値は、重なり合

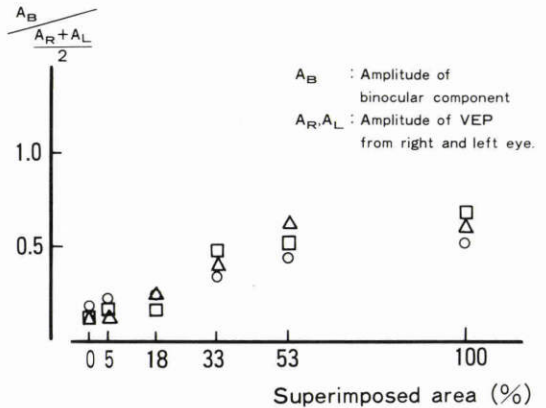


図7 重ね合わせ領域とIFC振幅/左右振幅の平均との関係

た領域(SA)が0%(視角0分)では0.16で、5%(視角20分)では、0.18、18%(視角60分)では0.22で、33%(視角100分)では0.4付近にあり、53%(視角140分)以上では、0.6付近ではほぼ一定となる傾向を示す。

2. dioptic 刺激

dioptic 刺激すなわち左右画面ともに同じ周波数の刺激を行った場合には、power spectrum上には刺激周波数に一致した周波数のところに peak が認められる。融像チェックマークを中心方向に移動させることより(図1, 2)重なり合った領域(SA)を視角200分(100%)、140分(53%)、100分(33%)、60分(18%)、20分(5%)、0分(0%)と変化させ、それぞれのパワーを求めると、42歳男性の例ではそれぞれ、8.2, 7.8, 6.2, 4.0, 3.7, 3.6であった。パワーの平方根は振幅に比例することより、領域が全部重なり合った視角200分の振幅は、全く重ならない場合の約1.5倍の振幅となる。被験者4名の結果もほぼ同様で、融像チェックマークで全部重なった時と、全く重ならない時の振幅を比較すると、その比は平均1.42であった。

IV 考 按

今回試みた実験は、融像図形を用いることにより左右各眼にテレビ画面による格子縞反転刺激を行い、得られた power spectrum 上の power が、左右分離したテレビ画面の重なり合った領域によっていかなる変化を生じるかを検討したものである。心理物理的には異なった2種類の時間周波数刺激(dichoptic 刺激)を行った場合にもすでに、左右のいずれでもない周波数のパタン変化として感じられる。しかし power spec-

trum 上で、明らかな IFC が出現してくるのは、全例とも重ね合わせた領域が 5 列すなわち 100 分の視角に相当する時である。

一般にテレビ画面を用いた格子縞反転刺激を行った場合に、 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ あれば、VEP の波は得られるとの報告²⁾³⁾があるが、今回の実験では水平方向が 6 度の視角の重なり合った領域があるときに明らかな power が認められた。それ以下の領域では power はノイズレベルであった。しかるに単眼のみで水平方向 20 分、垂直方向 6 度の刺激で power が認められることにより、融像に関する IFC の出現にはある程度の重なり合った領域が必要であることが示唆された。さらに今回重なり合った領域の範囲によって、出現する IFC の power が異なるということは、使用した融像図形は単に一定であるので、IFC が融像図形に影響されて出現するものではなく、左右眼に異なった時間周波数の反転格子縞刺激が行われた結果によるものであると考えられた。一方、誘発脳波において引き込み現象が起こり刺激周波数の両サイドに side lobe が出現することが報告されており⁴⁾、左右眼に与えた周波数の選び方により、たまたま中央部に side lobe が出現したとも考えられる。しかし刺激周波数を変えても IFC は生じること¹¹⁾、またもし IFC が 2 個の刺激周波数の side lobe の合成であるとするれば、当然重なり合った領域を変化させても常に出現していなければならない。しかるに重なり合った領域を減少させると、IFC のパワーは小さくなることより、side lobe の関与を全く否定することはできないが、少なくとも IFC は別のメカニズムから生じていると考えられる。また 2 種類の刺激周波数は全く別々の generator を用いているので相互の周波数の interaction は存在しないと考えられる。

さて、これまでの報告では単眼視と両眼視では、VEP の振幅は、単眼視に比較して両眼解放下の場合には $\sqrt{2}$ 倍から 1.6 倍⁵⁾⁻⁸⁾との報告があり、さらに Srebro⁹⁾、深井ら¹⁰⁾は $\sqrt{4}$ 倍になると報告している。今回の実験では、分離した左右画面を重ね合わせた時の activity のみならず融像に関する IFC の power も知ることができるので、完全に左右画面を重ね合わせた時の各眼単独の振幅と IFC の振幅との比較が可能であり、その結果は単独の場合の約 0.6 倍であり、単独の振幅を 1 とした場合両眼視状態で得られる IFC の振幅は 0.6 となる。また左右画面が重なり合っていない時の各コンポーネントの振幅の和と左右画面が 100% 重なり合った時の振幅の和を比較すると、100% 重なり

合った時が重ならない時の約 1.6 倍となる。一方 dioptic 刺激で左右画面が重なり合った時に得られる振幅は左右画面が重ならない時の振幅の約 1.42 倍なることを考えると興味深い。dioptic 刺激の方が dichoptic 刺激に比較して同じ融像図形を用いているにもかかわらず低値なのは、心理物理的にも理解できる。dioptic 刺激においては、自覚的には極めて不快な刺激であり、時には融像チェックマークの大きな円の周囲の黒点が消失することがある。しかるに dichoptic 刺激の場合は、一たん融像チェックマークで融像が完成すると、その後方の格子縞刺激は、それほど不快感なく見ていられる。したがって dichoptic 刺激の場合、空間的には disparity は存在しないが、時間的なずれが左右両眼の刺激周波数にあるため、時間的に特異な disparity を感じる皮質の細胞を刺激した結果、IFC なる中間周波数の波の成分が得られたとも考えられる。これは Pettigerw¹²⁾の報告した change of disparity neuron に関する左右両眼像の視差の時間的変化に反応する特殊な融像である可能性もある。今後時間的融像に関しては興味ある研究対象になると考えられる。

稿を終えるにあたり、ご指導、ご校閲を賜りました植村恭夫教授に深謝致します。また多大な御協力をいただいた金沢工業大学、河原哲夫助教授に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 小口芳久, 勝海 修, 河原哲夫: Fourier 分析による Binocular VECF に関する研究. 日眼会誌 85: 1548-1533, 1981.
- 2) Bartle G, van Lith GHM, van Marle GW: Cortical potentials evoked by a TV pattern reversed stimulus with varying check sizes and stimulus field. Brit J Ophthalmol 62: 216-219, 1978.
- 3) 勝海 修, 松橋正和, 小口芳久: パターンリバーサル VECF に影響を与える刺激パラメーターについて. 日眼会誌 84: 1723-1730, 1980.
- 4) Yanashima K, Degering B: Mutually coupled nonlinear oscillator as one origin of the VECF. Ophthalmic Res 14: 5-8, 1982.
- 5) Wanger P, Nilsson BY: Visual evoked responses to pattern reversal stimulation in patient with amblyopia and/or defective binocular function. Acta Ophthalmol 56: 617-627, 1978.
- 6) 阿部春樹: チェッカーボード VECF (視覚誘発脳波) による両眼相互作用に関する研究. 日眼会誌 83: 1575-1583, 1979.

- 7) 安達恵美子：両眼視における VECF 振幅 vs 空間周波数曲線. 日眼会誌 83: 298-301, 1979.
 - 8) Campos EC: Anomalous retinal correspondence. Monocular and binocular visual evoked response. Arch Ophthalmol 98: 299-302, 1980.
 - 9) Srebro R: The visually evoked response. Binocular facilitation and failure when binocular vision is disturbed. Arch Ophthalmol 96: 839-844, 1978.
 - 10) 深井小久子, 阿部哲子, 筒井 純: 両眼性 disparity sensitive VECF の研究. 日眼会誌 84: 1629-1633, 1980.
 - 11) 勝海 修, 小口芳久, 河原哲夫: パターンコントラストの Fourier 分析による両眼視 VECF におよぼす影響について. 日眼会誌 86: 341-347, 1982.
 - 12) Pettigrew JD: Binocular nervous whic signal change of disparity in area 18 of cat visual cortex. Nature New Biology 241(108): 123-124, 1973.
-