

視野の時間特性の臨床的評価 (9)

視標面積と2刺激分解能, フリッカー融合
頻度との関係について (図4, 表2)

山本 憲明*・安間 哲史** (*名古屋大学医学部眼科学教室, **名古屋市)

要 約

正常者の視野中心部, 5°上方視野の2カ所において, 視標面積を種々に変えて, フリッカー融合頻度, 2刺激分解能を測定した。用いた視標は視角5分から3度36分までの円形視標6種類である。その結果, フリッカー融合頻度はどの視野部位でも, すべての視標面積を通じて面積の拡大と共に上昇していた。一方, 2刺激分解能は, 視野中心部では, ある面積までは上昇したが, それ以上の視標では低下しており抑制現象を示した。5°上方視野では, 2刺激分解能の抑制現象には個人差が大きく一定しなかったが, 単純に上昇するものは少なかった。これらの結果から, フリッカー融合頻度にはその刺激の伝達に受容野周辺野からの抑制効果の弱い **transient** 系の刺激伝達系の関与が大きいために抑制現象が現れにくく, 単純に上昇するのであろうと考えた。それに対して, 2刺激分解能では受容野周辺野からの抑制効果の強い **sustained** 系の刺激伝達系が, 特に視野中心部で大きく関与するために, 抑制現象が強く現れるのであろうと考えた。5°上方視野では **sustained** 系に **transient** 系の関与が大きな個人差を伴って加わっているために, 抑制現象は一定しなかったのであろうと考えた。一方, フリッカー融合頻度, 2刺激分解能ともに, 直線的に上昇する部分の上昇率は, 視野中心部より5°上方視野の方が大きいことが見出された。(日眼会誌 93: 418-424, 1989)

キーワード: 2刺激分解能, フリッカー融合頻度, 視標面積, 受容野

Clinical Application of time Dependent Perimetry (9) The Relations Between Stimulus Area and Double Flash Resolution, and Critical Flicker Frequency

Noriaki Yamamoto* and Tetsushi Yasuma**

*Department of Ophthalmology Nagoya University School of Medicine

**Nagoya City

Abstract

Double flash resolution (DFR) and critical flicker fusion frequency (CFF) at the center of the visual field and the 5° superior visual field were measured in normal subjects as a function of the stimulus area. Six stimulus sizes, ranging from a visual angle of 5' to 3°36' were used. The following results were obtained. First, the CFF increased as the stimulus area became larger at both the center and the 5° superior visual field. Secondly, at the center of the visual field, the DFR initially increased as the stimulus area became larger and then decreased. Thirdly, at the 5° superior visual field, this

別刷請求先: 466 名古屋市昭和区鶴舞町65 名古屋大学医学部眼科学教室 山本 憲明
(昭和63年12月5日受付, 平成元年2月20日受理)

Reprint requests to: Noriaki Yamamoto, M.D. Dept. of Ophthalmol., Nagoya Univ. School of Med.
65 Tsurumai-cho, showa-ku, Nagoya 466, Japan

(Received December 5, 1988 and accepted February 20, 1989)

inhibitory phenomenon was also encountered with great individual variations and was not so evident as at the center of the visual field. Fourthly, the increasing rate of sensitivity was found to be greater at the 5° superior visual field than at the center of the visual field in both CFF and DFR. From these results, we speculated that the CFF was detected by the transient system, which exhibited a weaker or no surround inhibition, and that the DFR in the center of the visual field was detected by the sustained system, which exhibited great surround inhibition. The DFR at the 5° superior visual field could be detected by both transient and sustained systems. (Acta Soc Ophthalmol Jpn 93: 418-424, 1989)

Key words: Double flash resolution, Critical flicker fusion frequency, Stimulus area, Receptive field

I 緒 言

一般にフリッカー融合頻度 (critical flicker fusion frequency: CFF) は、視標面積の対数値に比例して感度が上昇することが知られている (Granit-Harper 則)¹⁾⁻⁶⁾。その理由として、かつては、刺激される錐体の数が増加するためであると考えられていたが⁷⁾、近年では、刺激される神経節細胞の数が増えるために受容野全体の受ける光量が増加するからであるという意見⁸⁾を始めとして、受容野の概念に関連づけて説明しようとする報告も散見される⁹⁾。一方、刺激光が2つになった場合の、2刺激分解能(double flash resolution: DFR)についてもこれまでに様々な研究が行われ、様々な知識が蓄積されてきている。我々はこれまでに、CFFとDFRの間の様々な相違を見出し、その相違にはsustained (X)系、transient (Y)系に代表される刺激伝達系が関係している可能性の強いことを報告してきた。更に視野の部位別に見ると、視野中心部と傍中心部のCFF、あるいは傍中心部のDFRの伝達には、sustained系よりtransient系の関与の方が大きく、視野中心部のDFRの伝達には、sustained系の関与が大きい可能性のあることを発表した¹⁰⁾¹¹⁾。

DFRと視標輝度との関係については以前報告したが¹²⁾、これまでにDFRと視標面積との関係について述べた報告は少なく¹³⁾¹⁴⁾、CFFと視標面積との関係と比較した報告は今まで無い。CFFと視標面積との関係に受容野が関与し、また、既に述べた様にCFFとDFRとでは、その伝達される刺激伝達系が異なっている可能性があるとするならば、DFRと視標面積との間にはCFFの場合とは異なった関係が成り立つことが予想され、興味あるところである。

そこで今回は、視野中心部と5°上方視野の2カ所において、CFFとDFRを、視標面積を種々に変えて測

定し興味深い結果を得たので、考察を加えて報告する。

II 方法および対象

視標には、マイクロコンピュータによってコントロールされた主波長650nmの赤色発光ダイオードの前に、白色拡散板を置き、平均輝度90nitとしたものを使用した。視標の面積は、拡散板の前に異なる大きさの円形孔を置くことによって変化させた。円形孔の大きさは直径約5分、10分、24分、40分、1度34分、3度36分の6種類である。

2刺激分解能 (DFR) の測定には、各々の露光時間を10msecに設定した2個の刺激光の時間間隔を変化させることにより、2個の光として分離して知覚されるときに時間間隔 (stimulus onset asynchrony) を求めた。2個の刺激光は750msec毎に点灯させた。フリッカー融合頻度 (CFF) の場合には、明暗比を1:1で点灯させ、視標がちらついて知覚される時の1周期の時間 (periodic time) を求めた¹⁵⁾。

測定は小視標から始めて次第に大きくしていった。閾値の決定には極限法を用い、上昇系列、下降系列を交互に3回ずつ行い平均した。測定部位は視野中心部および5°上方視野とし、視標周囲の背景照度は80luxに固定した。

対象は20歳代と30歳代の、軽度屈折異常以外の眼科的異常を認めない正常者11名である。実験中は他眼をアイパッチで遮蔽した。

III 結 果

両測定部位におけるCFFと視標面積との関係を表1に示した。それらを一括して図示したのが図1 (視野中心部)、図2 (5°上方視野) である。視野中心部では、ほとんどの例で視標面積の $3.09 \log \text{min of arc}^2$ まではCFFの感度は視標面積の対数値に比例して直線

表1 Mean values (m) and the standard deviations (SD) of the periodic time of the critical flicker fusion frequency (CFF) at the center and the 5° superior visual field in each subject are listed.

field location		center						5° superior visual field					
size of the stimulus	log min of arc ²	1.22	1.87	2.64	3.09	3.70	4.50	1.22	1.87	2.64	3.09	3.70	4.50
	visual angle	5'	10'	24'	40'	1°34'	3°36'	5'	10'	24'	40'	1°34'	3°36'
case	m												
Y. O.	m	49.47	40.42	30.60	27.25	25.66	22.62	62.75	48.81	41.25	35.10	28.17	26.18
	SD	2.39	0.83	1.57	1.12	0.76	0.79	4.53	1.37	0.83	0.71	0.46	1.19
K. H.	m	52.33	43.97	33.33	29.63	27.59	24.39	58.01	46.54	37.75	33.08	26.58	25.33
	SD	3.12	0.99	0.00	0.45	0.38	0.00	1.63	1.25	0.82	1.06	0.98	0.63
C. M.	m	69.23	60.89	47.08	39.62	32.80	30.08	91.29	69.05	50.86	46.54	38.49	28.72
	SD	5.13	4.78	1.08	0.77	0.62	0.45	6.82	2.75	3.92	1.25	1.21	2.27
T. K.	m	50.86	46.64	36.73	32.26	29.63	26.67	70.24	55.39	51.45	38.22	34.38	29.73
	SD	3.92	2.81	1.31	0.00	0.45	0.41	2.38	7.70	3.42	2.56	4.71	1.99
M. K.	m	59.97	46.04	36.07	31.01	30.33	26.88	91.29	65.63	51.45	45.55	33.35	27.59
	SD	4.72	1.99	1.23	0.47	1.06	1.07	6.82	2.08	3.42	2.39	0.91	0.38
T. N.	m	58.01	47.62	37.86	31.27	28.82	25.66	85.52	62.62	50.06	35.10	28.57	25.84
	SD	1.63	0.00	2.47	0.80	1.25	0.76	6.75	3.21	2.05	0.71	0.00	1.01
T. I.	m	47.62	39.23	32.01	27.98	24.55	22.99	64.58	54.09	40.09	35.41	29.23	21.53
	SD	0.00	0.89	0.50	0.40	0.57	0.31	2.41	1.69	2.18	0.62	1.89	0.90
S. N.	m	58.93	44.55	32.53	27.22	24.86	24.56	67.86	55.64	40.16	32.06	28.17	25.50
	SD	2.84	2.56	0.54	0.70	0.60	0.77	2.38	2.53	2.94	1.62	0.46	0.80
N. Y.	m	37.95	33.62	29.91	26.22	24.08	22.50	52.05	45.09	34.31	32.29	28.97	23.26
	SD	5.39	3.69	1.55	1.68	2.00	0.88	2.65	5.30	2.37	1.20	3.02	2.16
T. N.	m	55.56	47.62	37.39	31.25	28.93	25.36	89.39	75.55	57.19	51.97	39.23	27.07
	SD	0.00	0.00	0.71	0.00	1.70	1.20	7.92	2.75	1.89	1.32	0.89	1.24
T. Y.	m	65.63	45.50	34.35	29.65	27.21	25.14	80.36	62.62	50.72	37.09	30.32	25.18
	SD	2.08	1.69	1.59	0.83	0.38	1.11	5.95	3.21	2.41	1.59	0.75	0.96

的に上昇し、その後は、上昇の傾きが緩やかであることがわかる。即ち、約3.1 log min of arc²を、完全な空間的寄せ集め機能が働く限界の面積、いわゆる、臨界面積とみなすことができる。一方、5°上方視野においては、すべての視標面積を通じて上昇し続けていた。

DFRの結果を表2、図3(視野中心部)、図4(5°上方視野)に示す。視野中心部では、視標面積の2.64 log min of arc²または3.09 log min of arc²まではCFF同様、DFRの感度は視標面積の対数値に比例して直線的に上昇したが、それ以後は逆に低下していることがわかる。即ち、2.64 log min of arc²または3.09 log min of arc²を視野中心部のDFRの臨界面積とみなすことができる。多くの例では3.70 log min of arc²から4.50 log min of arc²までの間の感度低下の割合は、3.09 log min of arc²から3.70 log min of arc²までの間の感度低下の割合より少なかった。5°上方視野ではDFRは約3.0 log min of arc²までは直線的に上昇したが、その後は飽和する例や低下する例があり、様々であった。

個人差は見られたものの、約3.0 log min of arc²を5°上方視野のDFRの臨界面積とみなすことができる。

臨界面積に達するまでの上昇率はCFF、DFRともに視野中心部よりも5°上方視野の方が大きかった。

IV 考 按

今回の結果から、CFFあるいはDFRの空間的寄せ集め機能を検討すると、視野中心部のCFFでは、ある面積(臨界面積)までは完全な空間的寄せ集め機能が働いているが、それを越えると寄せ集め機能は不完全になると解釈できた。5°上方視野のCFFでは臨界面積を見出すことはできなかった。一方、DFRでは両測定部位ともに臨界面積までは寄せ集め機能が働くが、その面積を越えると何らかの抑制効果が視覚系に働いたことが考えられる。Meijerらは、我々とは別の方法によりDFRを調べ、ある視標面積を越えると抑制効果が働き、さらにある面積以上では抑制効果は一定になることを示した¹³⁾。我々も前報において、CFFと

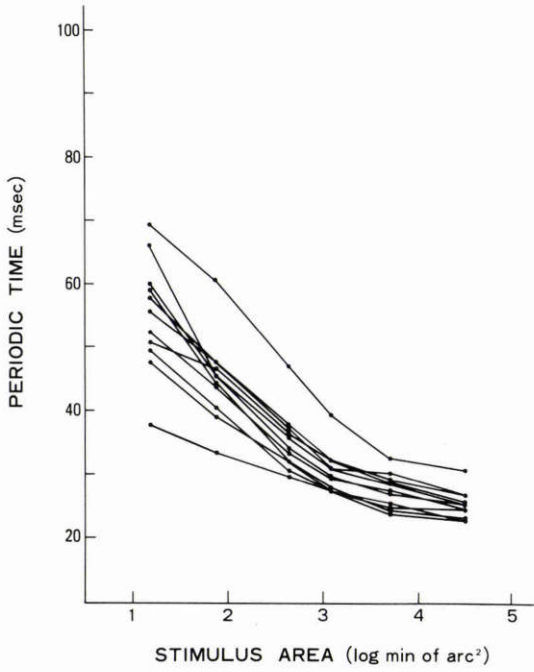


図 1 Mean values of the periodic time of the CFF at the center of the visual field are plotted as a function of stimulus area.

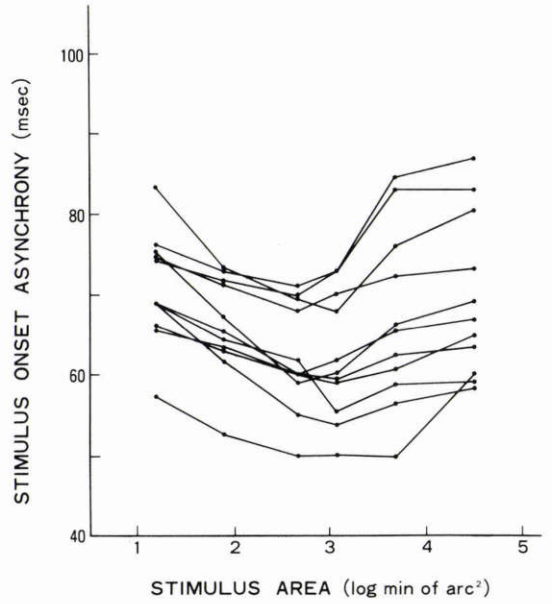


図 3 Mean values of the stimulus onset asynchrony of the DFR at the center of the visual field are plotted as a function of stimulus area.

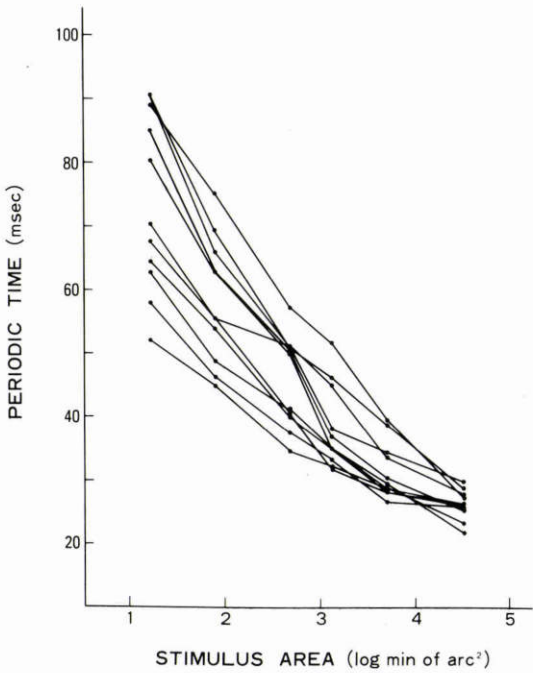


図 2 Mean values of the periodic time of the CFF at the 5° superior visual field are plotted as a function of stimulus area.

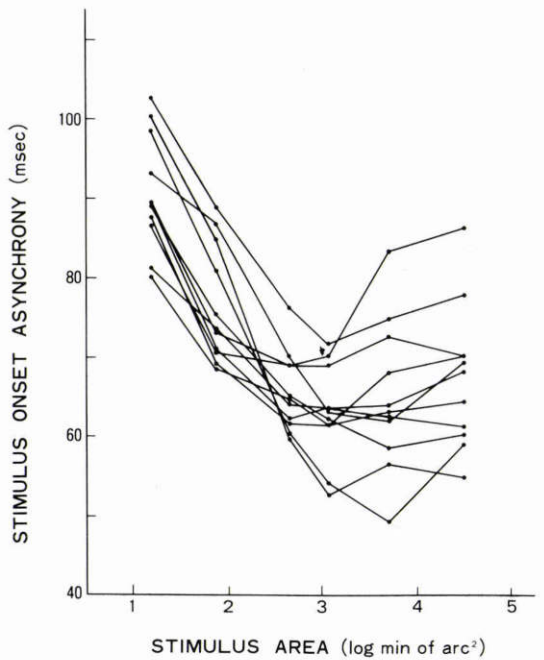


図 4 Mean values of the stimulus onset asynchrony of the DFR at the 5° superior visual field are plotted as a function of stimulus area.

表2 Mean values (m) and the standard deviations (SD) of the stimulus onset asynchrony of the double flash resolution (DFR) at the center and the 5° superior visual field in each subject are listed.

field location		center						5° superior visual field						
case	size of the stimulus	log min of arc ²	1.22	1.87	2.64	3.09	3.70	4.50	1.22	1.87	2.64	3.09	3.70	4.50
	visual angle	5'	10'	24'	40'	1°34'	3°36'	5'	10'	24'	40'	1°34'	3°36'	
Y. O.	m SD	75.25 1.50	67.75 3.85	59.25 1.50	60.25 1.50	66.25 1.26	69.25 0.96	89.25 2.99	75.25 6.24	65.00 2.94	62.25 3.30	58.50 2.38	60.25 2.63	
K. H.	m SD	76.50 3.42	73.00 4.24	71.25 4.99	73.00 2.45	83.00 0.82	83.00 2.45	103.0 4.97	88.75 3.77	76.25 1.89	71.75 2.50	74.75 2.22	77.75 2.36	
C. M.	m SD	83.25 1.50	73.75 3.40	69.50 1.91	68.25 6.85	76.25 5.74	80.75 6.80	81.00 8.60	73.50 3.51	64.25 8.42	63.50 5.45	64.00 7.12	68.25 2.99	
T. K.	m SD	65.75 2.22	63.50 3.51	60.25 0.50	59.25 0.50	60.83 3.31	65.00 2.94	87.83 7.52	69.33 4.72	61.50 8.19	61.50 3.42	63.25 3.10	64.50 8.23	
M. K.	m SD	66.25 2.22	63.25 3.20	60.25 2.63	59.50 2.52	62.75 1.71	63.50 1.73	80.00 6.38	68.50 8.35	64.75 5.12	61.50 3.32	68.00 5.35	70.25 4.03	
T. N.	m SD	69.00 2.83	65.50 1.29	60.25 1.71	62.00 3.16	65.67 5.47	67.00 5.94	89.75 9.03	71.00 5.23	62.25 3.95	63.50 2.89	62.50 0.58	61.25 1.71	
T. I.	m SD	57.50 1.73	52.75 0.50	50.00 0.82	50.25 1.50	50.00 2.94	60.25 3.40	77.00 2.71	70.50 1.29	69.00 1.41	69.25 2.06	72.50 1.00	70.00 0.82	
S. N.	m SD	74.25 2.63	71.75 1.50	70.00 3.37	73.00 2.94	84.67 3.72	87.25 2.75	89.50 1.00	73.25 2.50	69.00 2.16	70.25 1.26	83.25 2.50	86.25 1.50	
N. Y.	m SD	75.00 2.00	71.50 1.91	68.00 0.82	70.25 0.96	72.50 1.29	73.17 1.17	93.00 2.58	87.00 6.48	70.00 2.16	63.00 4.32	62.00 7.62	69.25 2.22	
T. N.	m SD	68.75 2.63	64.50 2.89	62.00 3.65	55.50 3.70	58.75 3.86	59.00 5.35	98.50 4.80	80.75 8.54	60.25 3.77	54.25 4.65	49.25 3.40	59.00 5.48	
T. Y.	m SD	68.75 1.89	62.00 1.83	55.25 2.50	54.00 2.16	56.50 2.38	58.50 2.88	100.3 6.70	84.75 2.22	59.75 2.22	52.75 4.57	56.75 4.99	55.50 4.43	

DFR を正常者の各視野部位について調べた結果、視野中心部において DFR の感度のみ特異的に低下していたが、それは DRF だけが抑制現象を示すと解釈することによって説明できることを示唆した¹⁶⁾。

CFF と視標面積の関係については、ある限られた視標面積の範囲内に限れば、Granit-Harper 則が成立し、視標面積の拡大とともに感度は直線的に上昇するが、視標がごく小さい範囲内か、あるいは、ある程度以上の大きさになると、一定になるとされている¹⁴⁾。我々の結果も、視野中心部の CFF は 3.09 log min of arc² までは直線性を示したが、より大きくなると飽和する傾向を示し、諸家の報告と一致した。Granit-Harper 則が成り立つ理由として、刺激される視細胞の数が増加するためとする意見は多い⁷⁾。また、CFF においても定常光におけるのと同じく、視標面積が拡大すると閾値が低下するという Ricco の法則が成り立つこと、即ち、空間寄せ集め機能が働くことが既に報告されている¹⁷⁾¹⁸⁾。以上より、CFF が視標面積に比例して直線的

に上昇する部分は、この範囲では視標は受容野中心野のみを刺激していると考えれば説明可能であろう。

DFR の場合も臨界面積に達するまでの感度の上昇には、上記と同様の、空間的寄せ集め機能の関与が考えられた。

CFF と DFR は共に、直線的に上昇する部分の上昇率は視野中心部よりも 5° 上方視野で大きかったが、これも他の報告と一致する¹¹⁾⁹⁾。これは視野中心部では、視標面積が拡大すると刺激される錐体の数の増加は少なくなるため、感度の上昇は少ないのに対し、5° 上方視野では、視標面積が拡大すると視標が中心窩の近くを刺激するようになり、刺激される錐体の数は大きく増加するため、感度の上昇はより大きいと考えられた。

次に、臨界面積付近の CFF について考えてみる。これに関しては、生理学的に神経節細胞のフリッカー光に対する反応を調べた研究がある。即ち、視標面積が受容野中心野を越えると、機能的な受容野中心野が拡大すると同時に受容野周辺野は縮小し、受容野周辺野

からの抑制効果も減弱するため、全体としての反応はさらに増加し続けるという見解がある²⁰⁾。それに従えば、視野中心部の CFF では、臨界面積である約 $3.1 \log \min \text{ of arc}^2$ で視標面積が受容野中心野を越えたため、飽和する傾向を示したと考えられる。即ち、臨界面積は CFF の受容野中心野の大きさを示すのである。それとは別に、錐体密度の観点から、視標の大きさが視角2度を越えると刺激される錐体の数が急に減少するために、CFF の上昇が鈍るとする意見もある¹⁸⁾。5°上方視野においてはその受容野は視野中心部に比べて大きいので、今回の実験条件では、どの視標面積でも受容野周辺野は刺激されずに興奮性の寄せ集め機能のみが働き、直線性を示し続けたと考えられる。

DFR では視標面積が臨界面積を越えたとき、CFF の場合には見られなかった抑制現象を示しており、この傾向は視野中心部で顕著であった。これは Ikeda¹³⁾も述べているように、視標が大きくなると受容野周辺野を刺激するために抑制効果が働いたとみなすのが妥当であろう。即ち、DFR においても臨界面積は受容野中心野の大きさに一致すると考えられる。また、多くの例では $3.70 \log \min \text{ of arc}^2$ あたりから感度は飽和する傾向を示したが、これはここで視標が受容野周辺野の範囲をも越えたため、抑制効果はそれ以上増大せず、一定となったのであろう。

今回の結果を見ると、両測定部位とも、視標面積が DFR の臨界面積を越えても CFF は上昇し続けており、明らかに CFF の方が DFR より受容野中心野が大きいと言える。我々は、DFR と静的刺激に対する受容野中心野の大きさはほぼ等しいが、CFF の受容野の大きさは、それらの受容野の大きさの約 $0.4 \log \min \text{ of arc}^2$ 大きいことを見出した¹⁰⁾。King-Smith は、CFF を感知するシステムの受容野の大きさは、パターンを感知するシステムの受容野の大きさの2~4倍であり、しかも抑制効果は弱いとしている²¹⁾。これらはいずれも今回の結果を支持する。

それでは、視標が受容野中心野を越えたとき、なぜ CFF と DFR とでは抑制効果の働き方が違うのであろうか。その理由として、CFF の伝達は、視標が大きくなると周辺野が減少するような受容野、あるいは周辺野が存在しないような受容野を持つ刺激伝達系が行うのに対し、DFR の伝達は、中心野一周辺野の関係が歴然とした、CFF の場合とは異なった受容野を持つ刺激伝達系が行うという可能性がある。一般に、刺激の伝達には sustained (X)、transient (Y) の独立した2つ

の機構が働いているとされており²²⁾、ここでもこの2つを考えるのが妥当である。これまでにも CFF にはこれら両系が関与しているという報告があり²³⁾、我々も、CFF のみならず DFR も両系が相互に干渉しながら伝達していることを見出ししている。即ち、CFF は特に transient 系の機能を強く反映し、DFR は transient、sustained 両系が相互に干渉したものであると考えている¹⁰⁾。更に傍中心部の DFR には transient 系の関与がより大きいのに対し、中心部の DFR には sustained 系が主に関与するということが既に報告した¹¹⁾。

一方、生理学の分野での刺激伝達系の研究を顧みると、一般に、受容野周辺野からの抑制効果は transient 系の方が sustained 系よりも弱いとされている^{24)~26)}。transient 系では受容野中心野と周辺野は重なっており、周辺に行くほど抑制効果は弱くなるという報告²⁷⁾²⁸⁾や、純粋な抑制効果は得られなかったという報告²⁹⁾もある。また、同じ神経節細胞でも順応状態により中心野、周辺野の大きさは変わるとか、抑制効果の強さも変わるとする報告も多いことから^{25)~27)30)}、今回の実験条件では、transient 系は抑制効果を示さず sustained 系のみが抑制効果を示した可能性は十分にある。

これら心理物理学、生理学の両分野から得られた2つの事象を総合すると、以下の説明が可能である。即ち、CFF では、視野中心部においても5°上方視野においても、transient 系の関与がより強いので、抑制現象が現れなかった。DFR では、視野中心部においては sustained 系の関与がより強いので、受容野周辺野を刺激した時に抑制効果が強く働いたが、5°上方視野においては、transient 系の伝達と sustained 系の伝達が混在し、抑制現象を強く示す例が少なかったと説明することが可能である。

transient 系の神経節細胞の受容野中心野は sustained 系の神経節細胞の受容野中心野の2倍から3倍であるという報告がほとんどであり³¹⁾³²⁾、CFF の受容野が DFR の受容野より大きいという今回の結果は、sustained 系、transient 系による解釈からも説明可能である。

以上のように、今回の実験によって DFR と CFF の相違点が一層明確になり、CFF は transient 系を強く反映し、DFR は sustained 系を強く反映するという仮説が強く示唆された。

御校閣下さった栗屋忍教授に深謝いたします。

文 献

- 1) **Granit R, Harper P**: Comparative studies on the peripheral and central retina II. Synaptic reactions in the eye. *Am J Physiol* 94: 41—50, 1930.
- 2) **Roehrig WC**: The influence of area on the critical flicker-fusion threshold. *J Psychol* 47: 317—330, 1959.
- 3) **Landis C**: Determinants of the critical flicker-fusion threshold. *Physiol Rev* 34: 259—286, 1954.
- 4) **Foley PJ**: Interrelationships of background area, target luminance in their effect on the critical flicker frequency of the human fovea. *J Opt Soc Am [A]* 51: 737—740, 1961.
- 5) **Glazer VD**: The receptive field of the retina. *Vision Res* 5: 497—525, 1965.
- 6) **Hartman E, Lachenmayr B, Brettel H**: The peripheral critical frequency. *Vision Res* 19: 1019—1023, 1979.
- 7) 神作 博: CFF, 和田陽平 他編: 感覚・知覚心理学ハンドブック, 東京, 誠信書房, 238—249, 1969.
- 8) **Rovano J, Raninen A**: Critical flicker frequency and M-scaling of stimulus size and retinal illuminance. *Vision Res* 24: 1127—1131, 1984.
- 9) 乾 敏郎, 近江栄美子, 中村孝子他: フリッカー感度と受容野面積との関係について. *眼臨* 77: 1126—1130, 1983.
- 10) 安間哲史, 山崎 淳, 山本憲明他: 視野の時間特性の臨床的評価(6)受容野特性との関連. *日眼* 91: 1235—1243, 1987.
- 11) 安間哲史, 山本憲明, 山崎 淳他: 視野の時間特性の臨床的評価(7)DFRとCFFの生理的意義. *日眼* 92: 584—590, 1988.
- 12) 山崎 淳, 安間哲史: 視野の時間特性の臨床的評価(4)上下視野における非線形性. *日眼* 90: 1557—1563, 1986.
- 13) **Meijer JG, van der Wildt GJ, van den Brink G**: Twin-flash response as a function of flash diameter. *Vision Res* 18: 1111—1116, 1978.
- 14) **Ikeda M**: Temporal impulse response. *Vision Res* 26: 1431—1440, 1987.
- 15) 安間哲史, 寺崎浩子, 横山健二郎他: 視野の時間特性の臨床的評価(1)装置の試作と正常者の特性. *日眼* 90: 535—541, 1986.
- 16) 山本憲明, 安間哲史: 視野の時間特性の臨床的評価(8)中心部と傍中心部の加齢の相違について. *日眼* 92: 591—602, 1988.
- 17) 堀内徹也: 網膜における光刺激の相補性に関する実験的研究. *日眼* 55: 280—285, 1951.
- 18) **Herbolzheimer W**: The effect of area on the critical flicker threshold. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 204: 73—78, 1977.
- 19) **Douthwaite WA, Halliwell JA, Lomas AM**, et al: Critical fusion frequency in the central visual field. *Ophthalmic Physiol Opt* 5: 15—21, 1985.
- 20) **van De Grint WA, Grüsser OJ, Lunkenheimer HU**: Temporal transfer properties of the afferent visual system, in Jameson D, Hurvich LM (eds): *Handbook of Physiology VII/3 Central visual information A*. New York, Springer-Verlag, 431—574, 1972.
- 21) **King-Smith PE, Kulikowski JJ**: Pattern and flicker detection analysed by subthreshold summation. *J Physiol (Lond)* 249: 519—548, 1975.
- 22) **Green M**: Psychophysical relationships among mechanisms sensitive to pattern, motion and flicker. *Vision Res* 21: 971—983, 1981.
- 23) **Campos EC, Bedell HE**: Critical flicker-fusion frequency as an indicator of human receptive field-like properties. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 17: 533—538, 1978.
- 24) **Cleland BG, Levick WR, Sanderson KJ**: Properties of sustained and transient ganglion cells in the cat retina. *J Physiol (Lond)* 288: 649—680, 1973.
- 25) **Enroth-Cugel C, Lennie P**: The control of retinal ganglion cell discharge by receptive fields surrounds. *J Physiol (Lond)* 247: 551—578, 1975.
- 26) **Barlow HB, Levic WR**: Threshold setting by the surround of cat retinal ganglion cells. *J Physiol (Lond)* 259: 737—757, 1976.
- 27) **Hammond P**: Receptive field mechanisms of sustained and transient retinal ganglion cells in the cat. *Exp Brain Res* 23: 113—128, 1975.
- 28) **Ikeda H, Wright MJ**: Receptive field organization of “sustained” and “transient” retinal ganglion cells which subserve different functional roles. *J Physiol (Lond)* 227: 769—800, 1972.
- 29) **Hickey TL, Winters RW, Pollack JG**: Center-surround interactions in two types of on-center retinal ganglion cells in the cat. *Vision Res* 13: 1511—1526, 1973.
- 30) **Kaplan E, Marcus S, So YT**: Effects of dark adaptation on spatial and temporal properties of receptive fields in cat lateral geniculate nucleus. *J Physiol (Lond)* 294: 561—580, 1979.
- 31) **Peichl L, Wässle H**: Size, scatter and coverage of ganglion cell receptive field center in the cat retina. *J Physiol (Lond)* 291: 117—141, 1979.
- 32) 乾 敏郎: 視神経疾患の視覚特性, 松崎 浩編: 眼科 MOOK 30 視神経とその疾患, 東京, 金原出版, 244—256, 1986.