

# コントラスト感度の加齢変化と視神経疾患における有用性

中山 幸<sup>1)</sup>, 飛松 省三<sup>2)</sup>, 田島 静<sup>2)</sup>, 加藤 元博<sup>2)</sup>, 猪俣 孟<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>九州大学医学部眼科学教室, <sup>2)</sup>九州大学医学部脳研臨床神経生理

## 要 約

視覚のコントラスト感度 (contrast sensitivity function, CSF) を正常者 85 名と視神経疾患患者 23 名についてパソコンを用いた装置で測定した。正常者においては、4~6 cycle/degree にピークをもつ逆 U 字型の特性を示し、加齢により高空間周波数域で CSF の低下を認めた。視神経疾患においては、視力、中心フリッカー値、視野が正常範囲の症例でも、CSF は異常を検出した。この CSF の異常は図形反転視覚誘発電位の潜時延長と高い相関がみられた。CSF は視機能異常を鋭敏にとらえることができ比較的簡便であるので、視神経疾患を評価する指標の一つとして有用である。(日眼会誌 97: 403-410, 1993)

キーワード: コントラスト感度, 加齢変化, 視神経疾患, P-VEP, 中心フリッカー値

## The Variation of Human Contrast Sensitivity with Age and Optic Nerve Disease

Miyuki Nakayama<sup>1)</sup>, Shozo Tobimatsu<sup>2)</sup>, Shizuka Tashima-Kurita<sup>2)</sup>,  
Motohiro Kato<sup>2)</sup> and Hajime Inomata<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Department of Ophthalmology, <sup>2)</sup>Department of Clinical Neurophysiology,  
Neurological Institute, Faculty of Medicine, Kyushu University

## Abstract

Contrast sensitivity function (CSF) was measured in 85 normal subjects and in 23 patients with optic neuropathy, using a personal computer and video monitor system. CSF in normal controls showed an inverted U-shaped function against spatial frequency with a peak at about 4~6 cycles/degree. At higher spatial frequencies, contrast sensitivity decreased with increasing age. CSF in patients was compared with Snellen acuity, visual field examination, critical flicker fusion frequency (CFF) and pattern VEP (P-VEP). CSF and P-VEP were more sensitive than the others in detecting visual dysfunction in optic nerve disease. These results suggest that ranges of normal values should be established for each of several age groups, and that CSF is useful for evaluating visual dysfunction. (J Jpn Ophthalmol Soc 97: 403-410, 1993)

Key words: Contrast sensitivity function, Aging, Optic nerve disease, P-VEP, CFF

## I 緒 言

視覚のコントラスト感度検査 (contrast sensitivity

function, CSF) は、形態覚機能を定量的に評価するものであり、視力検査のみでは分からなかった視機能の異常を鋭敏に検出することが報告されている<sup>1)~4)</sup>。臨

別刷請求先: 812 福岡市東区馬出 3-1-1 九州大学医学部眼科学教室 中山 幸

(平成4年2月26日受付, 平成4年9月7日改訂受理)

Reprint requests to: Miyuki Nakayama, M.D. Department of Ophthalmology, Faculty of Medicine, Kyushu University, 3-1-1 Maidashi, Higashi-ku, Fukuoka 812, Japan

(Received February 26, 1992 and accepted in revised form September 7, 1992)

床応用するために、加齢変化を含め正常者の CSF を知る必要があるが、未だ一定の結論が得られていない。すなわち、正常者の CSF の加齢による変化に関しては、Arundale<sup>5)</sup>、Derefeldt ら<sup>6)</sup>、Owsley ら<sup>7)</sup> が高空間周波数域での閾値の低下を報告しているが、Skalka<sup>8)</sup> は高齢者ではすべての空間周波数域で、Sekuler ら<sup>9)</sup> はむしろ低空間周波数域で閾値が低下すると報告している。

CSF が視神経疾患で異常をきたすことは、既にいくつかの報告がある<sup>11)~13)</sup>。しかし、他の臨床検査との相関関係については具体的な報告はなく、その臨床的意義を明らかにする必要がある。

そこで、本研究では、臨床応用に適した測定方法の一方法としてテレビモニターとパソコンから成る CSF 測定装置を試作し、正常人におけるコントラスト感度閾値の加齢に伴う変化を検討した。さらに視神経疾患における CSF の有用性を他の検査と比較することにより検討した。

## II 方 法

### 1. 対象

#### 1) 正常対照群

矯正視力 1.0 以上の 19~80 歳の健常者 85 名 (男 44 名, 女 41 名) を正常対照とした。被検者の屈折は -6.0 D から +1.5 D で、完全矯正のうえで単眼の CSF を測定した。45 歳以上の被験者は眼科的、神経学的検査で異常のないものを選んだ。対照群は 19~45 歳, 46~65 歳, 66~80 歳の 3 群に分けて結果を分析した。

#### 2) 視神経疾患群

11~73 歳の視神経疾患患者 23 名 (男 10 名, 女 13 名) の CSF を測定した。その内訳は、多発性硬化症 (multiple sclerosis, MS) に伴う視神経炎 7 名, その他の原因による視神経炎 12 名, 視神経萎縮 4 名であった。

### 2. CSF 測定装置

試作した装置は、パソコン (NEC 88 VA) により正弦波縦縞パターン (sinusoidal grating pattern) を作成し、これをビデオモニター (SONY PVM-171) に表示するものである (図 1)。モニターの仕様は 17 インチ、インターレース方式、モノクロ画面で、映像解像度 900×300、水平および垂直走査周波数は 15 kHz である。ビデオ画面は、352 cm の距離で視角 4.2×5.5 度で画面の平均輝度は 30 cd/m<sup>2</sup> であった。コントラストは 0~100% の間を 256 段階に変化させることができ

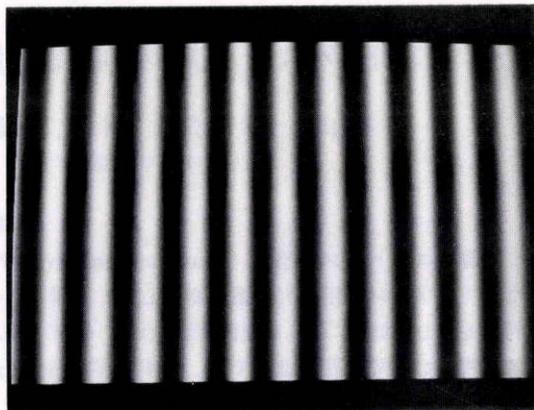


図 1 正弦波格子縞パターン。

る。このため、従来の試作された装置よりコントラストの変化がよりなめらかになった。パターンはパソコンソフトに保存され、任意の順番で呼び出せるようにした。コントラストの変化速度は、0.4%/600 msec と一定にした。パターンは静止したもので時間周波数の要素は関与していない。

### 3. CSF 測定

0.5~20 cycles/degree の 8 種類の正弦波縦縞パターンを使用した。コントラスト 30% の見本を提示した後、いったん画面上からパターンを消し、コントラストを 0% から漸増した。被験者には、見本と同じパターンが見えたらボタンを押すように指示した。この時のコントラストを被験者の閾値とし、その逆数をコントラスト感度とした。一つの空間周波数につき、5 回ずつ測定を行い、その平均と標準偏差を求めた。標準偏差が 0.2 以上の時は再度検査を行った。8 種類の空間周波数はランダムに提示した。平均値 -2 SD をもって正常下限とした。正常者では、単眼の測定におよそ 15 分を要した。

### 4. 視覚誘発電位の記録

格子縞パターン (チェックサイズ 15', 30', 50') を用いて単眼全視野刺激による図形反転視覚誘発電位 (pattern-reversal visual evoked potential, P-VEP) を後頭正中一前頭正中導出で記録した。刺激頻度は 1 Hz で、得られた波形の P 100 潜時を測定した。P 100 潜時の正常値は、当施設で設定したものをを用いた<sup>11)</sup>。

### 5. 眼科的検査

視神経疾患の患者に対し、CSF、視力、ゴールドマン視野、中心フリッカー値 (critical flicker fusion frequency, CFF) を CSF と P-VEP の記録とはほぼ同じ

時期に行った。CFFはゴールドマン視野計付属装置(視標面積64mm<sup>2</sup>, 順応輝度5asb)を使用し, 35c/sを正常下限とした<sup>12)</sup>。

### III 結果

#### 1. 正常対照群

年齢群間の差, 個体間の差, 空間周波数の差を検討するため3因子分散分析を行った。結果を表1と図2に示す。各年齢群ともコントラスト感度は空間周波数に対して4~6c/degにピークをもつ逆U字型の特性を示した。高齢者群では加齢とともにコントラスト感度は低下し, この傾向は高周波数域(9~20c/deg)において有意となった。これに対し低周波数域(0.5~2c/deg)では各年齢群の閾値に有意な差は認めなかった。若年群と中年群では統計学的には有意差は認めら

表1 正常者の年齢別コントラスト感度

空間周波数 (c/deg)	若年群		中年群		高齢群	
	19-45歳(n=39)		46-65歳(n=27)		66-80歳(n=19)	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
0.5	1.37	0.14	1.28	0.13	1.22	0.14
1	1.48	0.09	1.45	0.15	1.44	0.12
2	1.66	0.17	1.58	0.10	1.59	0.09
4	1.88	0.29	1.81	0.35	1.67	0.21
6	1.91	0.36	1.86	0.37	1.64	0.28
9	1.93	0.37	1.73	0.38	1.54	0.29
12	1.68	0.67	1.54	0.34	1.39	0.27
20	1.33	0.30	1.26	0.21	1.03	0.16

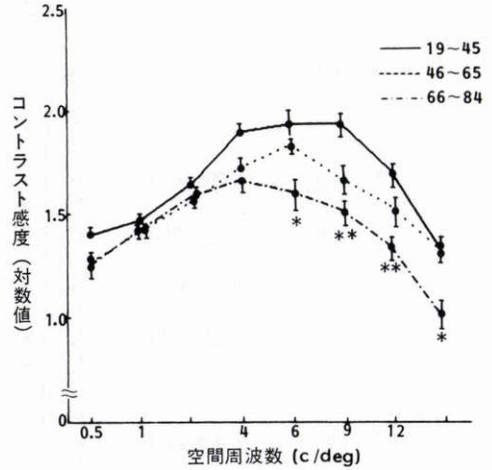
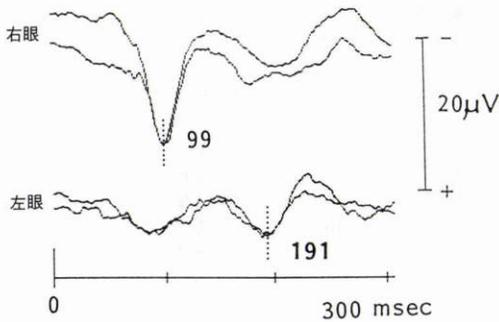


図2 正常者のコントラスト感度の加齢による変化。縦軸にコントラスト閾値の対数値を, 横軸に空間周波数をとり各年齢群平均値を示した。ばらつきは, 標準誤差で示した。(\* P<0.05 \*\* P<0.01)

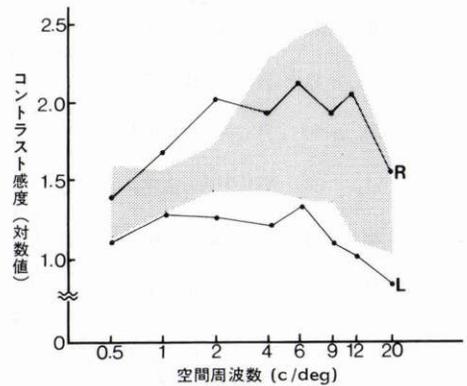
れなかった。

#### 2. 視神経疾患群

23例(45眼)の結果の一覧を表2に示す。45眼中34眼でCSFは異常を呈した。CSFの異常のパターンは、(1)全空間周波数域の感度の低下を示したもの14眼、(2)高空間周波数域のみ異常であったもの6眼、(3)高空間周波数域および低空間周波数域で異常を示したものの3眼、(4)全空間周波数で測定不能(11眼)となり、一定の傾向を示さなかった。



(a)



(b)

図3 (左眼) 視神経炎患者のP-VEP (a)とCSF (b)。

症例: 13歳女性。右眼視力(1.2×3.0D), 左眼視力(0.9×-3.5D), CFF: 右眼35Hz, 左眼25Hz。(a) check size 30'の刺激。左眼P100潜時の延長を認める。(b) 左眼のCSFは, 全空間周波数域で低下している。斜線部は, 若年対照群の正常範囲を示す。

表2 対象患者のデータ

症例	年齢	性	病名	視力	視野	パターン 視覚誘発 電位	中心 フリッカー値 (C/S)	コントラスト感度	
1.	52	女	多発性硬化症	右	0.7	異常	異常	28	H低下
				左	1.5	正常	正常	40	正常
2.	19	女	多発性硬化症	右	1.5	正常	異常	43	L-H低下
				左	1.2	正常	異常	44	L-H低下
3.	26	女	多発性硬化症	右	1.5	正常	正常	41	正常
				左	1.5	異常	正常	40	正常
4.	40	女	多発性硬化症	右	1.0	正常	異常	40	H低下
				左	1.5	正常	正常	47	正常
5.	23	男	多発性硬化症	右	0.8	異常	異常	44	L-H低下
				左	1.5	正常	異常	40	L-H低下
6.	60	女	多発性硬化症	右	0.07	異常	異常	18	測定不能
				左	0.3	異常	異常	33	L-H低下
7.	28	女	多発性硬化症	右	1.0	正常	異常	37	H低下
				左	1.2	正常	正常	37	H低下
8.	26	女	右眼視神経炎	右	0.6	異常	異常	23	L+H低下
				左	1.2	正常	正常	38	正常
9.	18	男	両眼視神経炎	右	1.5	正常	異常	39	L-H低下
				左	1.5	正常	異常	40	L-H低下
10.	20	女	左眼視神経炎	右	1.2	正常	正常	41	正常
				左	0.04	異常	異常	13	測定不能
11.	47	男	両眼視神経炎	右	0.6	異常	異常	35	L-H低下
				左	0.04	異常	異常	23	測定不能
12.	13	女	左眼視神経炎	右	1.5	正常	正常	36	正常
				左	0.9	異常	異常	25	L-H低下
13.	18	男	両眼視神経炎 (EB)	右	0.05	異常	異常	19	測定不能
				左	0.08	異常	異常	19	測定不能
14.	71	女	両眼視神経炎 (EB)	右	0.07	異常	異常	23	測定不能
				左	0.05	異常	異常	11	測定不能
15.	16	男	右眼視神経炎 左眼視神経萎縮	右	1.2	異常	正常	39	L-H低下
				左	0.03	異常	異常	20	測定不能
16.	42	男	両眼視神経萎縮	右	1.5	正常	異常	31	正常
				左	0.5	異常	異常	24	L+H低下
17.	40	女	右眼視神経萎縮 左眼弱視	右	0.6	正常	異常	16	L+H低下
				左	0.2	正常	検査せず	38	検査せず
18.	40	男	両眼視神経萎縮	右	1.0	異常	異常	40	H低下
				左	0.6	異常	異常	35	L-H低下
19.	11	男	両眼視神経正常	右	0.7	正常	異常	38	L-H低下
				左	0.7	正常	異常	38	L-H低下
20.	30	男	左眼視神経炎	右	1.5	正常	正常	47	正常
				左	1.2	正常	異常	42	H低下
21.	36	男	下垂体腺腫	右	1.2	正常	正常	45	正常
				左	0.9	異常	異常	38	L-H低下
22.	39	女	両眼視神経炎	右	0.06	異常	異常	15	測定不能
				左	0.07	異常	異常	15	測定不能
23.	52	女	左眼視神経炎	右	1.0	正常	正常	40	正常
				左	指数弁	異常	異常	...	測定不能

EB: エタンブトールによる視神経炎

コントラスト感度測定結果:

L-H 低下: 全空間周波数域での感度低下

L+H 低下: 高空間周波数域と低空間周波数域の両方での感度低下

測定不能: 全空間周波数域で測定不能

H: 高空間周波数域 (6-20 c/deg) L: 低空間周波数域 (0.5-2 c/deg)

症例 17 の左眼は弱視のため本研究より除外した。

表 3 視力と CSF, P-VEP の比較

	CSF		P-VEP	
	正常	異常	正常	異常
患眼 (n=33)				
視力				
1.0 以上	2	8	2	8
0.1-0.9	0	12	0	12
0.1 未満	0	11	0	11
健眼 (n=12)	9	3	10	2

CSF：コントラスト感度検査, P-VEP：パターン VEP

表 4 視野と CSF, P-VEP の比較

	CSF		P-VEP	
	正常	異常	正常	異常
患眼 (n=33)				
視野				
正常	1	9	0	10
異常	1	22	2	21
健眼 (n=12)	9	3	10	2

CSF：コントラスト感度検査, P-VEP：パターン VEP

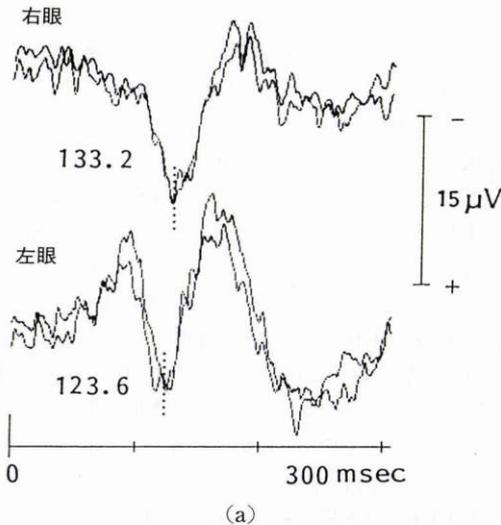
視力別の結果を表 3 に示す。視力 0.1 未満の 11 眼では、CSF は全眼で異常を呈した。視力 0.1~0.9 の症例でも、視野および CFF が、12 眼中それぞれ 8 眼と 5 眼

表 5 CFF と CSF, P-VEP の比較

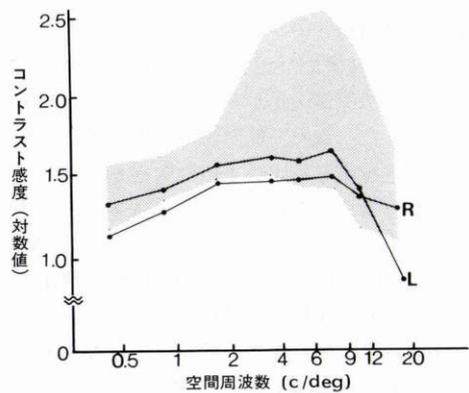
	CSF		P-VEP	
	正常	異常	正常	異常
患眼 (n=33)				
CFF				
35 C/S 以上	1	14	2	13
25-34 C/S	1	2	0	3
25 C/S 以下	0	15	0	15
健眼 (n=12)	9	3	10	2

CFF：中心フリッカー値, P-VEP：パターン VEP  
CSF：コントラスト感度検査

しか異常を検出しなかったのに対し、CSF は全例で異常を検出した。視力が 1.0 以上に回復した症例では、10 眼中 8 眼に CSF の異常を認めた。視野検査の結果と比較すると、視野検査で異常を検出できなかった 10 眼中 9 眼に CSF の異常を認めた (表 4)。視野の異常を呈した 23 眼中では、CSF が正常であったのに 1 眼のみで、P-VEP は 2 眼で正常であった。CFF と比較すると 35 c/s 未満の例では、CSF は 1 眼のみ正常で、P-VEP はすべて異常であった (表 5)。35 c/s 以上の 15 眼中では、14 眼に CSF、13 眼に P-VEP の異常を認めた。このように CSF の異常の検出感度は、P-VEP の P 100 潜時の遅延と強い相関がみられた。また、健眼 11 眼中 2 眼で CSF の異常と P-VEP の潜時の遅延を認



(a)



(b)

図 4 多発性硬化症に伴う (右眼) 視神経炎患者の P-VEP (a) と CSF (b)。

症例：19 歳女性。右眼視力 (1.2×-4.0 D)、左眼視力 (1.2×-4.0 D)、CFF：右眼 43 Hz、左眼 40 Hz。(a) check size 30' の刺激。両眼の P 100 潜時の延長を認める。(b) 右眼 CSF は、低-中間空間周波数域で低下している。一方、左眼 CSF は、高空間周波数域で低下している。斜線部は、若年対照群の正常範囲を示す。

め(表3), 臨床的に明らかでない視機能の低下を検出した。以下に代表的な症例を示す。

症例1: 13歳女性。原因不明の左眼の球後視神経炎。急性期に、視力0.01であったが、その後視力が0.9に回復した時点でCSFを測定した。患眼は、健眼に比べ全空間周波数域にわたる感度の低下を認めた(図3a, b)。

症例2: 19歳女性。多発性硬化症による右眼の視神経炎。急性期には視力0.1であった。その後視力が1.2に回復した時点でCSFを測定した。視力、視野、CFFは回復しているがP100潜時の遅延を認め、CSFでは0.5~4 c/degの感度の低下を認めた。また、視神経炎の既往のなかった左眼でもP-VEPとCSFは異常を呈し、その後経過観察中に左眼にも視神経炎の発作を起こした(図4a, b)。このように視力、CFFなどが正常なものでもCSFは、P-VEPとともに異常を検出した。

#### IV 考 按

今回の結果をまとめると、コントラスト感度は、19~80歳の健常者では空間周波数に対して4~6 c/degにピークをもつ逆U字型の特性を示したが、高齢者では高空間周波数域で感度の有意な低下を認めた。視神経疾患においては、視力、視野、CFFよりも視機能の異常を鋭敏に捕え、その有用性を確認した。

CSF測定法として、オッシュロスコープ、テレビモニターを用いる方法<sup>13)</sup>、レーザー干渉縞を用いる方法<sup>14)15)</sup>がある。また簡便法としては、印刷面を用いる方法(Arden-charts)<sup>11)</sup>やレントゲンフィルムを用いる方法(河原式測定装置)<sup>16)</sup>などがある。精密な検査機械は高価であり、装置が大がかりのものが多く、臨床応用には難があった。また、簡便法は、測定条件のわずかな変化で誤差を生じやすいという欠点があった。今回のシステムを含め、TVモニターとパソコンを利用した装置の報告はすでにあるが<sup>13)17)</sup>、これらの装置でも、定量的なCSFの測定ができ、しかも操作が簡便で安価であることより臨床応用に適していると考えられる。

感覚閾値は、加齢により上昇すると一般に考えられている。CSFの加齢変化については、すでいくつかの報告がある。全空間周波数にわたり感度の低下があり、特に高周波数域での感度の低下が顕著であるという報告が多いが<sup>5)~7)</sup>、低周波数域で低下するという報告もあり<sup>8)9)</sup>、未だ一定の見解に達していない。我々の結果では、Arundale<sup>5)</sup>、Derefeldtら<sup>6)</sup>、Owselyら<sup>7)</sup>の

結果と同様で、加齢に伴い6 c/deg以上の高空間周波数域で有意な感度の低下を認めた。しかし、低周波数域では有意な変化は認められなかった。Skalkaら<sup>8)</sup>はArden-chartsを、Sekularら<sup>9)</sup>はフリッカー刺激を用い、その他はstationary gratingを使用していることから、静止した刺激では空間周波数特性は高周波数域で感度の低下が明らかと考える。

コントラスト感度を低下させる要因として光学的因子(老人性の縮瞳による網膜照度の低下、水晶体の透過性の低下による散乱光)と中枢性因子(神経系の加齢による感度の低下)の2つが挙げられる。これまで光学的因子がその主役を果たしているとされてきたが<sup>6)7)</sup>、光学的因子を若年群と高齢群で等しくしても加齢の影響が認められるとする報告や<sup>15)17)</sup>、光学的要因の影響のないレーザー干渉波を用いた測定でも、高周波数域での感度の低下が報告されている<sup>15)</sup>。また、CSFの方向特異性の異常が視神経炎<sup>18)</sup>やパーキンソン病<sup>19)</sup>で認められることが報告されている。方向特異性は外側膝状体より中枢で処理されているので、CSFにおける方向特異性の異常は中枢因子の関与を示唆する。これらの結果より、コントラスト感度の測定では中枢性の因子の関与は無視できないと思われる。最近では視神経疾患のみならず、白内障眼や人工水晶体眼の視機能の評価方法としてCSFが注目されているが<sup>20)</sup>、結果の解釈には加齢変化を考慮することが必要である。

CSFが視神経疾患で、異常をきたすことは知られている<sup>10)</sup>が、その臨床的意義(異常検出度や鑑別診断の可否)は確立していない。最も鋭敏な検査として用いられてきたP-VEPと比較したものでは、Arden<sup>11)</sup>、Skalka<sup>8)</sup>は、CSFがより鋭敏であったと報告している。MSに伴う視神経病変において検討した報告では、P-VEPが最も鋭敏であるとしたもの<sup>2)10)</sup>と、CSFがより鋭敏であったとする報告<sup>21)</sup>がある。結果に若干の差異はあるものの、これらの報告の異常検出率はいずれもCSF、P-VEPともに70~100%であり、これまでの眼科的検査で捕えられなかった視機能の異常を評価する有効な手段であると考えられる。P-VEPが他覚的検査であるのに対し、CSFは自覚的検査で、比較的短時間に複数の空間周波数を調べることができる点が優れており、P-VEPとCSFは組み合わせると相補的に用いれば、より有効な手段になると思われる。

今回の結果で興味深いのは、CFFが正常に回復した症例でもCSFの異常が認められたことである。CFFは、視神経疾患のスクリーニングとして臨床で用いら

れてきたが、CSFやP-VEPに比べるとその異常検出率は明らかに低かった。CFFの有用性を否定するものではないが、その限界を知ってCFFの結果を解釈すべきであろう。

視覚系が複数の空間周波数に特異的なチャンネルからなっているという仮説<sup>22)</sup>があるが、これによると視覚系は、transient系(低空間周波数, 高時間周波数)とsustained系に(高空間周波数, 低時間周波数)に分けられる。Elliottら<sup>23)</sup>は、stationary gratingとflickering gratingを用いてCSFを測定し加齢による影響が、前者でより大きかったと報告し、加齢変化はtransient系とsustained系では異なることを示唆している。Sustained系の機能を反映するCSFと、transient系の機能を反映するCFFの結果が解離することが、弱視眼で報告されている<sup>24)</sup>。すなわち、弱視眼ではCSFが異常でもCFFが比較的正常であることから、sustained系のより強い異常が考えられている。視神経疾患でも、今回の結果よりsustained系のより強い障害が示唆される。さらに、今回の結果では、低、中、高空間周波数で結果が解離する症例がみられ、stationary gratingの処理においてもつまり、sustained系の中にも複数の空間周波数に特異的なチャンネルが存在することを示唆している。この点に関しては今後の検討が必要であると思われる。

本論文の要旨の一部は、第92回日本眼科学会総会(京都)で発表した。この研究の一部は文部省科学研究費一般研究c'02670359'の援助を受けた。

#### 文 献

- 1) Arden GB: The importance of measuring contrast sensitivity in cases of visual disturbance. *Br J Ophthalmol* 62: 198—209, 1978.
- 2) Kupersmith MJ, Nelson JI, Seiple WH, Carr RE, Weiss PA: The 20/20 eye in multiple sclerosis. *Neurology* 33: 1015—1020, 1983.
- 3) Skalka HW: Comparison of Snellen acuity, VER acuity and Arden grating scores in macular and optic nerve diseases. *Br J Ophthalmol* 64: 24—29, 1980.
- 4) Regan D, Silver R, Murray TJ: Visual acuity and contrast sensitivity in multiple sclerosis—Hidden visual loss. An auxiliary diagnostic test. *Brain* 100: 563—579, 1977.
- 5) Arundale K: An investigation into the variation of human contrast sensitivity with age and ocular pathology. *Br J Ophthalmol* 62: 213—215, 1978.
- 6) Derefeldt G, Lennerstrand G, Lundh B: Age variations in normal human contrast sensitivity. *Acta Ophthalmol* 57: 679—690, 1979.
- 7) Owsely C, Sekuler R, Siemsen D: Contrast sensitivity throughout adulthood. *Vision Res* 23: 689—699, 1985.
- 8) Skalka HW: Effect of age on Arden grating acuity. *Br J Ophthalmol* 64: 21—23, 1980.
- 9) Sekular R, Hutman LP, Owsely CJ: Human aging and spatial vision. *Science* 209: 1255—1256, 1980.
- 10) Lorance RW, Kaufman D, Wray SH, Mao C: Contrast visual testing in neurovisual diagnosis. *Neurology* 37: 923—929, 1987.
- 11) Kurita-Tashima S, Tobimatsu S, Nakayama-Hiromatsu M, Kato M: Effect of check size on the pattern reversal visual evoked potential. *Electroenceph Clin Neurophysiol* 80: 161—166, 1991.
- 12) 大島利文, 中尾雄三, 当麻信子, 真鍋礼三: 視神経疾患の診断治療における中心フリッカー値測定の意義について. *臨眼* 27: 301—310, 1973.
- 13) 萱沢文男, 江島義道, 糸井素一, 山本敏雄: Micro-computerを導入した視覚の周波数特性(MTF)測定システムについて. *眼科* 22: 1533—1536, 1980.
- 14) Campbell FW, Green DG: Optical and retinal factors affecting visual resolution. *J Physiol* 181: 576—593, 1965.
- 15) Morrison JD, McGrath C: Assessment of the optical contributions to the age-related deterioration in vision. *Q J Exp Physiol* 70: 249—269, 1985.
- 16) 河原哲夫, 尾羽沢大: 視覚系のMTF簡易測定装置の試作. *臨眼* 33: 1505—1509, 1979.
- 17) 鶴飼一彦, 石川 哲: パーソナルコンピュータとビデオフレームメモリーを利用したコントラスト感度測定装置の試作. *あたらしい眼科* 5: 1037—1039, 1988.
- 18) Regan D, Whitlock JA, Murray TJ, Beverley KI: Orientation-specific losses of contrast sensitivity in multiple sclerosis. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 19: 324—328, 1980.
- 19) Bulens C, Meerwaldt JD, Van der Wildt GJ: Effect of stimulus orientation on contrast sensitivity in Parkinson's disease. *Neurology* 38: 76—81, 1988.
- 20) Abrahamsson M, Sjostrand J: Impairment of contrast sensitivity function (CSF) as a measure of disability glare. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 27: 1131—1136, 1986.
- 21) Medjbeur S, Tulunay-Keeseey U: Spatiotemporal responses of the visual system in demyelinating diseases. *Brain* 108: 123—138,

- 1985.
- 22) **De Valois RL, De Valois KK**: Spatial Vision, Chap 6 Oxford Psychology series No 14, Oxford University press, Oxford, 176—211, 1988.
- 23) **Elliott D, Whitaker D, MacVeigh D**: Neural contribution to spatiotemporal contrast sensitivity decline in healthy aging eyes. *Vision Res* 30: 541—547, 1990.
- 24) **Hess RF, Baker CL Jr**: Assessment of retinal function in severely amblyopic individuals. *Vision Res* 24: 1367—1376, 1984.