

コントラスト感度 (MTF) の臨床

山出 新一

滋賀医科大学眼科

〒520-21 滋賀県大津市瀬田月輪町

1. 眼科臨床への導入

コントラスト感度あるいはMTFという検査法は、もともと通信工学の分野で使われていた周波数分析という考え方が、光学の分野でレンズやカメラなどの画像伝達特性を評価する方法として、空間周波数特性 (Modulation Transfer Function, MTF) という概念に発展し、これがさらに視覚系の特性を表わす方法として応用されるようになってきたものである。

基礎的な分野では、既に1960年代の前半にこのMTFという概念が、視覚生理学研究の一手段として取り入れられていたようであるが、わが国においてこの概念が眼科臨床の分野で紹介・導入されたのは、早稲田大学理工学部の大頭・河原氏らによる1975年(昭和50年)の2編の論文^{1,2)}によるものである。それまでも、同じ大頭氏が1972年(昭和47年)の日本眼科学学会で『視力とMTF』と題した教育講演³⁾をされているが、その後の眼科サイドからの発表は続いていない。1975年以降は、主として総説・MTFの紹介といった内容の論文を中心に、1975年には先の大頭氏らの2編に続いて糸井氏ら⁴⁾の発表があり、その後1970年代後半の5年間で合計約20編のMTFに関連した発表が、我が国の眼科関係の雑誌の中に見られる。この5年間でようやくMTFという概念が眼科医の中に浸透してきたように思われる。そして続く1980年代にはおよそ80編の発表があった。内容も単にMTFを紹介するもの^{1,2,5-8)}ばかりでなく、各種眼疾患におけるMTFの変化⁹⁾、MTFによる病態の解明^{10,11)}、屈折異常矯正法の評価^{12,13)}、あたらしい測定装置の開発¹⁴⁻¹⁶⁾とい

う様に多彩なものになった。

2. 眼科臨床医としての理解

御存知の様にこの概念は、光学の分野で画像伝達特性として使われていたのが、視覚系に適用されるようになったものである。したがって、MTFについての総説的な論文の多く^{1,2,5,6)}は、まずその背景にある周波数分析の理論や、フーリエ分解・フーリエ合成といった数学的事項を解説することから始めている。新しい概念を紹介するという立場からはこのような解説を省略は出来ないし、視覚生理学研究の手段としてMTFを考える場合には、これらの知識が当然必要となってくる。しかしこのことが一般の眼科医に「MTFは難しいもの」あるいは「MTFを語るには数学的素養が必要」といった印象を与えてしまったこともまた否定できない。

背景にある理論の重要性を軽視する訳ではないが、臨床での一般検査として受け入れられ、広く行なわれるようになるためには、もっと平易な解説が必要なのである。以下は著者が、一般眼科医向けにコントラスト感度について解説した論文^{7,8)}から引用したものである。これは一例であるが、眼科一般医としてはこの様な理解で良いのではないだろうか。

眼科が眼球と云う視覚器を取り扱う診療科である以上、その働きである視機能の測定は、日常診療の上でもまた基礎的な、あるいは臨床的な研究を進める上でも、避けて通ることのできない大切な課題である。種々の眼疾患において、この視機能が障害され、あるいはなんらかの変化を受ける。眼科を受診する

患者の多くはこの“見え方”の異常を訴えて受診する。したがって、患者の視機能を測定し、そのどの部分に異常が見られるのかを調べることが診察の第一歩であり、この検査結果だけでおよその診断がついてしまうという疾患も少なくない。

日常の自覚的検査としては、視力・視野・色覚・CFEなどがあり、これらが重要な検査であることに変わりはない。しかし、より質の高い医療サービスが要求されてきている現在、重要な視機能の一つである形態覚、われわれが物の形をどのように認識しているのかという問題であるが、この形態覚について、視力を測るのみで済ませているのでは十分とはいえない。

視力は濃淡のコントラストがはっきりした視標を用いて、どの程度の細かさまで区別できるか（最小分離閾）を測るものである。しかし、視力だけでは形態覚の機能の全体を表現することは出来ない。また、実際の生活で見ているものは、視力測定の視標の様な細かいものばかりではなく、中くらいの大きさのものや、大きなものまでが含まれている。そこで、いろいろな大きさの模様に対する視覚の認識能力を測定しようとするのがコントラスト感度である。

その“模様”であるが、輪郭が鮮明で濃淡がはっきりした模様であれば、中くらいや大きなものは容易に見えてしまう。輪郭がはっきりした模様を視標として使ったのでは視力と同じものしか測定できない。もっと粗いもの見え方を調べるためには、はっきりした輪郭を持たず、しかも明るいところと暗いところとの明度の差が少ない模様に対する視覚の認識能力を測る必要がある。つまり、輪郭があいまいな図形を用いて、どれくらい低いコントラストまで見えるかを測る、これがコントラスト感度あるいはMTFといわれる検査法である。このような模様として基本的であり、かつ数学的にも理にかなったものは、正弦波形的に濃淡・明さを変化させた縞模様（正弦波格子縞）であり、これが使われる。実際には、空間周波数（縞模様の細かさ）と平均の明さを変えずに、コントラストだけを変えて行って、縞模様を認めうる最小のコントラスト、つまりコントラスト閾値を求め、このような測定をいろいろな空間周波数で繰り返し、コントラスト閾値の逆数であるコントラスト感度を縦軸に、空間周波数、これは

視覚1度に含まれる縞の数（cycles/degree）で表わされるが、その空間周波数を横軸にそれぞれ対数でとって表わす。

3. 眼疾患における測定例

現在まで種々の眼疾患においてコントラスト感度を測定した報告があるが、個々の疾患に特有の変化を見つけ出し、コントラスト感度によりただちに診断をつけるといったことはできていない。しかし、病態によりおよその特徴があり現在のところ著者は以下の様に考えている。

(1) 光学系の異常

屈折異常、角膜・水晶体の混濁など眼球光学系の異常ではまず高空間周波数領域でのコントラスト感度が低下する。図1がその一例（軽度近視¹⁴⁾）である。このように矯正した状態と矯正しない状態とでは高周波数領域での感度に違いが見られる。もちろん異常の程度が強ければ全体で感度が低下することになる。

(2) 網脈絡膜の異常

中心性漿液性網脈絡膜症など種々の黄斑部疾患、糖尿病性網膜症、網膜剝離、原田病などのぶどう膜炎では全体の感度が低下するが、やはり特に高い周波数領域での低下が著しい。図2⁹⁾は網膜剝離術後の回復過程を見ているのだが、その特徴が良くでている。

(3) 視神経の異常

これも全体で感度の低下を来すが、むしろ低い周波数領域でのコントラスト感度の低下に特徴があるようである。図3にその一例を示す。これは視神経炎の症例⁶⁾である。

(4) 弱視

Hessら¹⁷⁾は弱視のコントラスト感度には主として高周波数領域で感度の低下する型と、全体で感度が低下する型の2種類があると報告した。図4が彼等の測定による弱視のコントラスト感度である。しかし、その後さらに細かく分類しようとする報告^{18,19)}や、この2つは単に弱視の程度の違いや経過を見ているに過ぎないという報告²⁰⁾などがあり、現在もまだ定説を得るに至っていない。

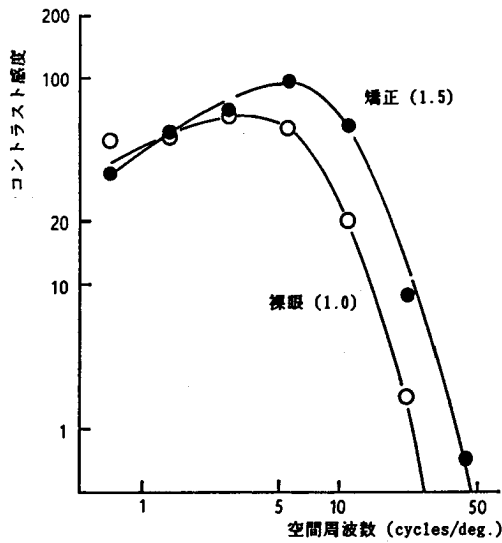


図1. 屈折異常（近視）のMTF（河原¹⁴）より改変
矯正と裸眼との差が高い空間周波数のところに表われる。

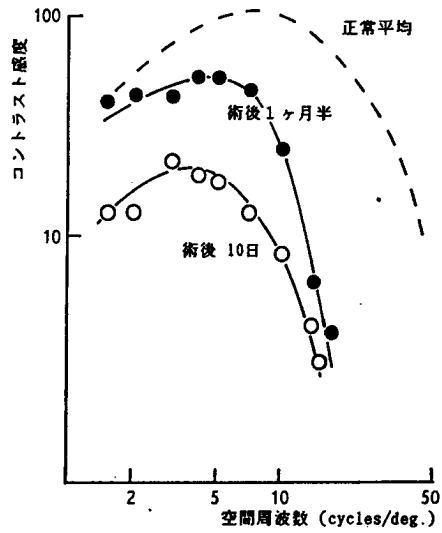


図2. 網膜剝離復位眼のMTF（山本⁹）より改変
術後10日（○）と術後1ヶ月半（●）の測定結果。術後の回復過程をよく見る事ができる。破線は正常平均を示す。

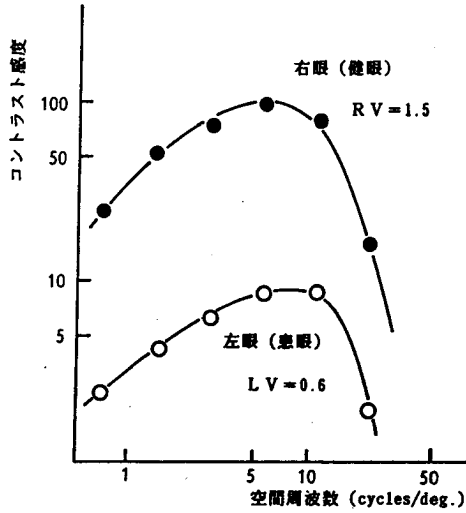


図3. 視神経炎のMTF（河原⁶）より改変
視力は、RV=1.5 LV=0.6。罹患眼（左眼）の視機能の低下をよく表現している。

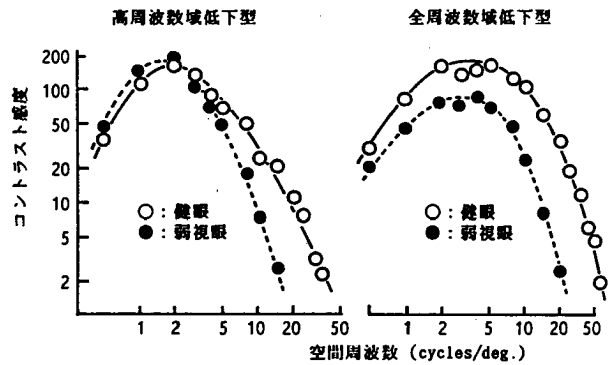


図4. 弱視眼のコントラスト感度特性（Hessら¹⁷）より改変
彼等はこの2型に分類した。

4. 装置と方法

臨床応用の目的で作られ、紹介された装置には以下の様なものがある。

1) レーザー干渉縞によるもの。

これはレーザー光線の干渉性を利用して網膜上に直接縞模様を投影して検査をするので、屈折異常や角膜・水晶体の軽い混濁があっても、それに影響されず、網膜から視覚中枢に至る経路のみのコントラスト感度が測定できるという特徴がある。我が国では先に紹介した大頭・河原氏らによる小型の装置²¹⁾が良く知られている。

2) ブラウン管上に縞模様を提示するもの。

各研究者がコンピュータと組み合わせて、測定の自動化、データ処理の部分までを工夫したものを発表している^{15,16)}。これは VEP の刺激装置としても使いやすいという利点を持っている。

3) 印刷した縞模様を提示するもの。

Campbell の Chart, Arden grating chart²²⁾ など印刷した表を見せるやり方である。また、フィルムの上に印刷し、透過照明により提示する簡易測定装置¹⁴⁾も発表された。これらは厳密な測定には向かないが、比較的安価で簡単に検査できるのが良いように思われる。

以上は視標の提示方法による分類であるが、コントラスト閾値を決める方法、手続きにもいくつかのものがある。従来の報告例の多くは上昇系列あるいは下降系列の極限法を用いている。さらに簡便に調整法で行なっている報告もある。また上下法を採用している報告もある。いずれの方法も被験者は縞模様が「見える」か「見えない」かを判断する必要がある訳であるが、閾値に近いコントラストでは「見えた」と思った次の瞬間にはもう見えなくなったり、全く縞模様を提示していない視標を「見えた」と判断してしまうこともある。何度か行なって平均をとると、そう大きくばらつくことは少ないのだが、いかにも難しい特殊な検査という印象を与えることは避けられず、眼科一般検査としてはなじみにくい。

今のところ良く普及して、標準的と言えるよ

うな装置・方法はまだ無いようである。著者自身は当初はレーザー干渉縞による装置を用いて、上方系列の極限法、あるいは調整法で行なっていた。しかし、最近はもっと簡単な Ginsburg 氏の VCTS (Vision Contrast Test System)²³⁾ を使っている。これは 1.5, 3, 6, 12, 18 cycles/deg. の 5 種類の空間周波数の視標をおよそ 0.2 対数単位毎に作り、一枚のパネルに並べたものである。また各視標の縞模様の方向を縦方向だけでなく、少し右および左に傾けた 3 種類とし、縞の方向を答えさせるという方法をとっている。これは通常の視力測定で行なっているのと類似の方法であるから、親しみやすく、難しい検査という印象を与える心配が無い。求める判断も、縞模様が見えるか見えないかという難しい、ある意味ではあいまいなものではなくて、右、左、上、あるいはわからないという 4 種類の答えから 1 つを選ばせるものである。これはランドルト環を用いた視力検査と手順としては同じであるから、検査する方もされる方も特別なトレーニングを必要としない。もちろん厳密な測定はできないが、日常臨床のルーチンの検査としてはこれでも十分役に立つ。

5. 自験例の紹介

それでは、VCTS を用いた自験例をいくつか示して、実際の臨床でこのコントラスト感度の測定がどのように使われ、役に立てられているのかを紹介する。

<症例 1> 初発白内障

運転免許更新時に視力の低下を指摘されたとして来院した 72 才の男性。自覚的にも左眼の視力の低下を感じている。両眼の水晶体皮質に放射状の混濁が認められた。視力は右 1.2, 左 1.0。視力でも左右差があるが、コントラスト感度を測ると、図 5 の様に中から高周波数域での差がはっきりと認められ、患者の訴えをより良く表現しているように思われる。

<症例 2> Posner-Schlossman 症候群

20 歳男性のポズナー・シュロースマン症候群。この疾患は高眼圧を伴った急性の虹彩毛様体炎発作を起こすものである。眼圧は右 16, 左

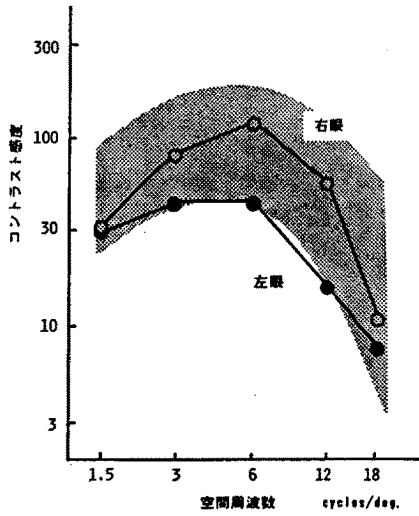


図5. 症例1, 初発白内障のコントラスト感度
 $RV=1.2$ (n. c.) $LV=0.9$ ($1.0 \times C - 0.75 \uparrow$). 左眼の視機能の低下をよく表現している. 図中の砂目はこの測定における正常範囲を示している.

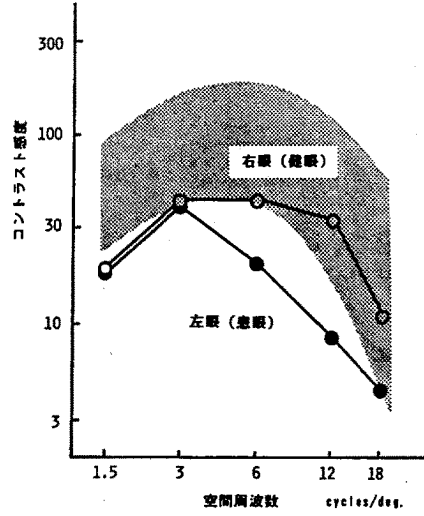


図6. 症例2, 左眼 Posner-Schlossman 症候群のコントラスト感度
 $RV=1.5$ (n. c.)
 $LV=1.0$ (1.5×-0.25)

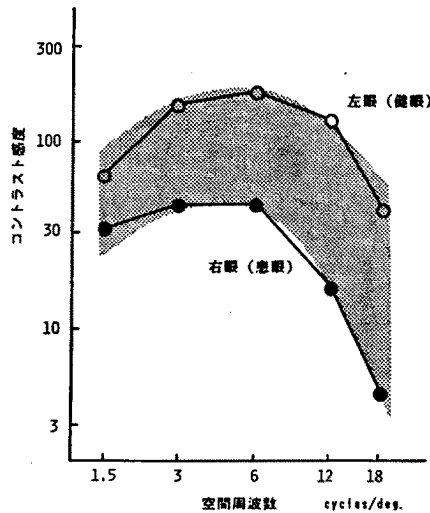


図7. 症例3, 網膜前黄斑線維症(左眼)のコントラスト感度
 $RV=0.2$ ($1.5p \times -1.0 \circ C - 0.5 \rightarrow$)
 $LV=1.5$ (n. c.)

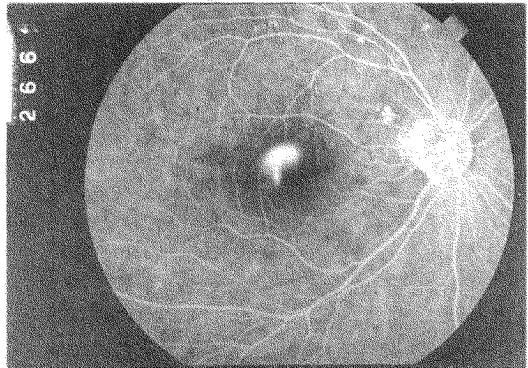


図8. 症例4, 中心性漿液性網脈絡膜症の蛍光眼底造影所見
 噴水拡散型の蛍光色素の漏出を認める.

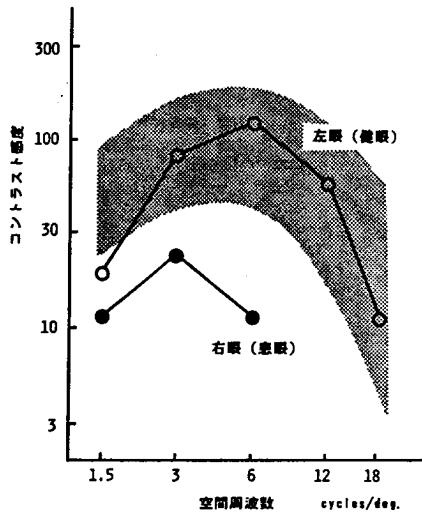


図9. 症例4のコントラスト感度
右眼(患眼)の著しい感度低下を認める。
視力は、RV=0.3 (0.3×+0.5)
LV=1.5 (n.c.)であった。

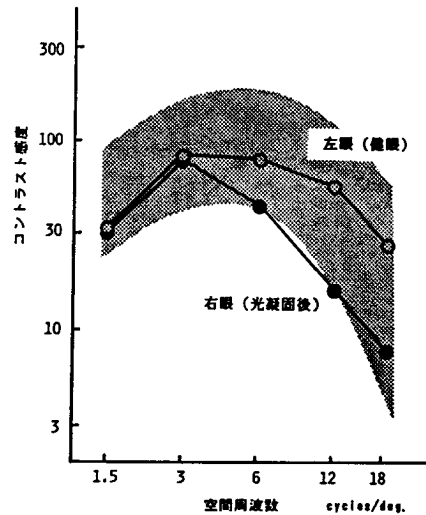


図10. 症例4, 光凝固治療後のコントラスト感度
ほぼ正常にまで回復したが, 高空間周波
数領域での差が残っている。

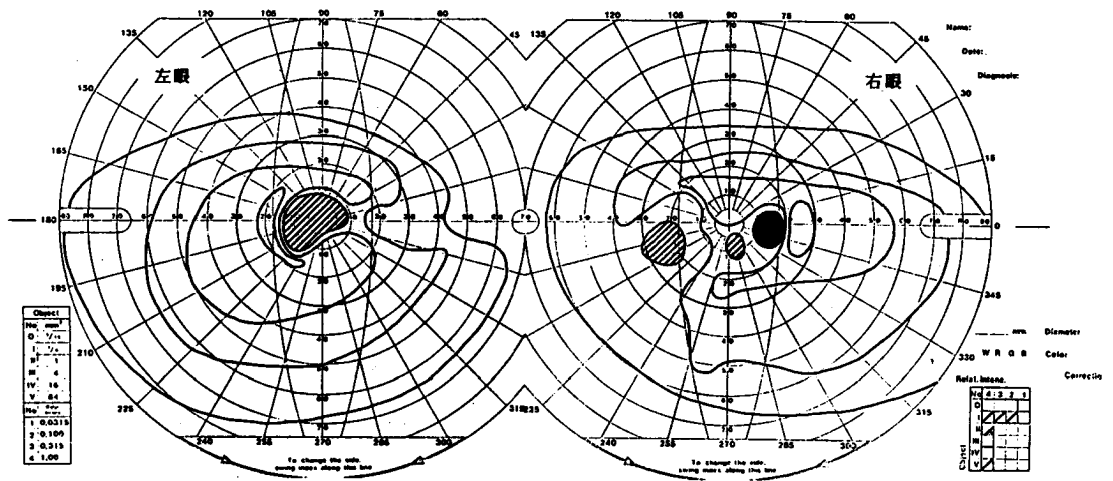


図11. 症例5 (原発性開放隅角緑内障)の視野
鼻側階段, Bjerrum 暗点, 比較中心暗点
を認めるかなり進行した症例である。

37mmHg, 角膜に後面沈着が認められるが, 上皮の浮腫などはない。視力は裸眼では1.5, 1.0と少し差があるが, 矯正すると数字の上では差を認めない。図6のコントラスト感度では, もちろんこれは矯正しての測定であるが, 左眼に高周波数領域での感度低下が認められる。

以上いずれも眼球光学系の異常で, 高周波数領域での感度低下にその特徴があるものである。
<症例3>網膜前黄斑線維症

この疾患は黄斑部網膜の前面に膜状の構造物ができ, その力学的な牽引により網膜の機能が低下するものである。症例は20歳の男性で左眼の視力と色覚に異常を自覚し, 1年余りの間, 中心性漿液性網脈絡膜症としてビタミン剤・末梢循環改善剤を投与されていたが, 良くならないとして紹介されてきた。視力は矯正すると1.5p, 1.5, パネルD-15テスト, 標準色覚検査表後天異常用にも異常なし。中心フリッカーで右48, 左42Hzとやや左右差が見られる。眼底を見ても中心性漿液性網脈絡膜症を思わせる所見はなく, 黄斑部の上方に血管の走行異常を認めるのみである。コントラスト感度特性を測定すると明確な左右差があり(図7), この検査が左眼の視機能の変化を最も良く表わしていると言える。

<症例4>中心性漿液性網脈絡膜症

これは網膜黄斑部に限局性ほぼ円形の網膜剝離をきたす疾患であるが, しばしばコントラスト感度測定による経過観察が病状の理解を助けてくれるものである。症例は53歳の男性。図8の様に黄斑部に漿液性の漏出が認められる。矯正視力は0.3, コントラスト感度で図9の様に全周波数域での感度の低下がある。12, 18 cycles/deg.のところは一番コントラストの高い視標も読めない。しばらく保存的治療を行った後, 漏出点に対して光凝固を行なった。図10は光凝固後視力が1.2まで回復したときのコントラスト感度である。罹患眼の右眼もほぼ正常に戻っているが, まだ左右差が認められる。

この様な網脈絡膜疾患では全周波数域, 特に高周波数領域での感度低下が特徴である。

<症例5>原発性開放隅角緑内障

この疾患は高眼圧あるいは循環障害により視神経線維が徐々に萎縮し, 視野が欠損して行くというものであるが, 視野の変化に先立ってあらわれる兆候を捉え, 早期診断・早期治療に結びつけようとするのが現在の考え方になってきている。症例はすでに緑内障性視神経萎縮があり, 視野検査でも中心部に比較暗点(図11)を検出するかなり進行した例であるが, コントラスト感度を測定すると, 視力の悪い左眼はもちろん, 矯正視力1.5の右眼にも特に低周波数領域での感度の低下を認めた(図12)。緑内障は症例によってはごく早期からコントラスト感度に変化が出るとする報告もあり, 早期診断に役立つのかどうかなお検討の必要がある。

<症例6>下垂体腺腫(同名半盲)

下垂体腺腫(プロラクチノーマ)により視交叉部が圧迫され, 右側同名半盲を呈した76歳の女性である。視野は図13の様に右下方からの同名半盲。視力は0.9, 0.6。コントラスト感度に著しい低下を認める(図14)。プロラクチン分泌抑制剤の投与により腫瘍の縮小を認めた後, 視力, 視野に目立った改善は認められないが, コントラスト感度はほぼ正常に戻った(図15)。

以上の2疾患は視神経の疾患で, 低い空間周波数の縞模様に対してのコントラスト感度の低下にその特徴があると思われるものである。

最後に弱視の2症例を示す。

<症例7>斜視弱視

弱視を伴った部分調節性内斜視で, 残余斜視角に対して7歳の時に両眼内直筋の後転術を受けた。図16は8歳時のコントラスト感度で, Hessのいう高周波数領域のみの感度低下というパターンになっている。この時の視力は右(1.5), 左(0.7)であった。その後, 健眼遮閉による弱視治療を併用し, 現在はLV=(1.2)と改善している。

<症例9>不同視弱視

症例は11歳男児。学校検診で視力障害を指摘され発見された。初診時すでに1年間の健眼遮閉療法を受けている。眼鏡は処方されていない。この子のコントラスト感度は低い空間周波数のところでも感度の低下を認めるパターンになっ

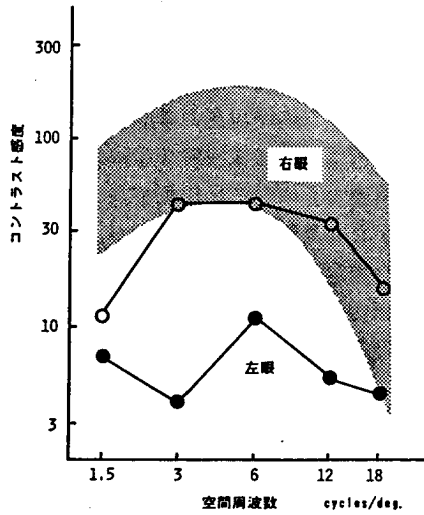


図12. 症例5のコントラスト感度
低空間周波数領域での感度低下に特徴がある。

$$RV=1.0(1.5 \times C + 0.5 \text{C} - 0.5A \times 40^\circ)$$

$$LV=0.15(0.3 \times C + 1.25 \text{C} - 0.25A \times 120^\circ)$$

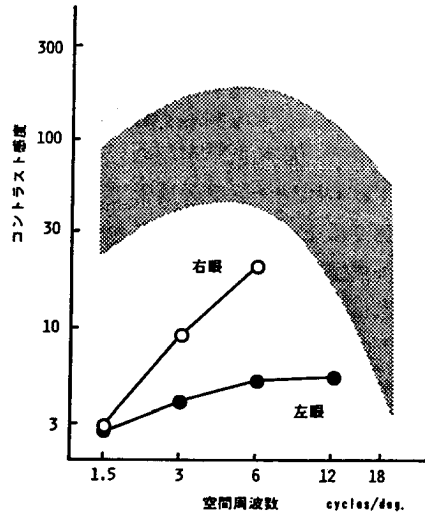


図14. 症例6のコントラスト感度（治療前）
著しい感度の低下を認める。

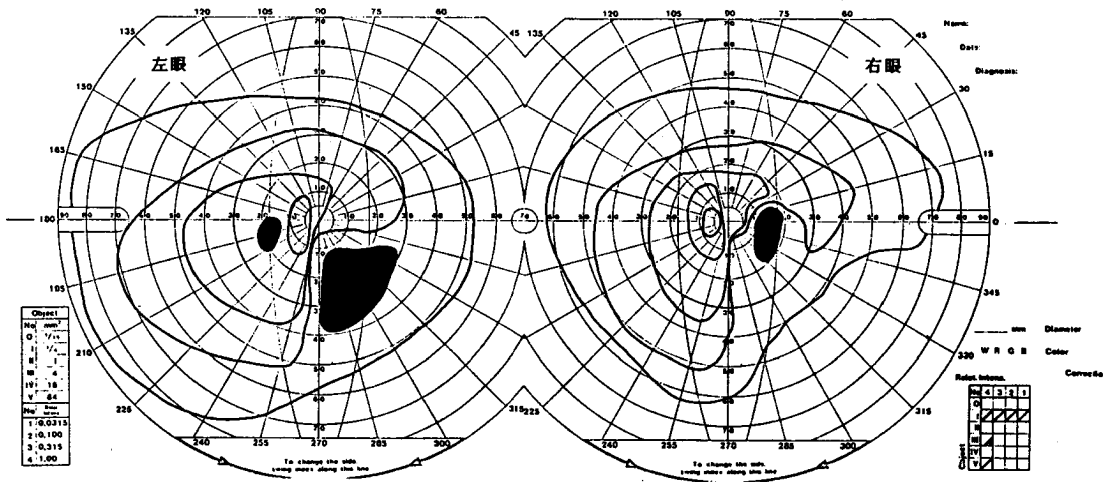


図13. 症例6（下垂体腺腫）の視野
右下方よりの同名半盲。プロラクチン産生腫瘍であった。

$$RV=0.7(0.9 \times C - 1.0A \times 10^\circ)$$

$$LV=0.3(0.6 \times C - 1.25A \times 170^\circ)$$

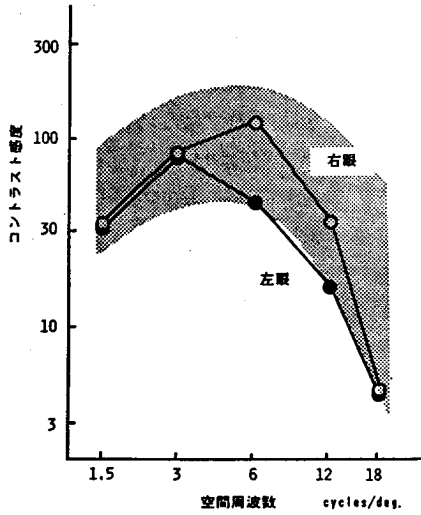


図15. 症例6, 治療後のコントラスト感度
 プロラクチン分泌抑制剤により腫瘍の縮
 小を認めた. 視力, 視野の著しい改善は
 ないが, コントラスト感度の測定結果に
 治療効果がよく表われている.
 $RV=0.6 (0.8 \times C - 1.0 \times 10^\circ)$
 $LV=0.3 (0.6 \times -2.5 \times C$
 $-1.25 \times 170^\circ)$

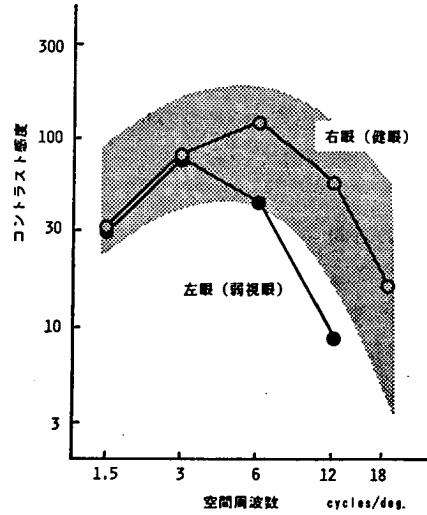


図16. 症例7 (斜視弱視) のコントラスト感度
 Hess のいう高周波数域低下型になって
 いる.
 $RV = (1.5 \times +5.5 \times C - 1.0 \rightarrow)$
 $LV = (0.7 \times +7.5 \times C - 1.0 \rightarrow)$

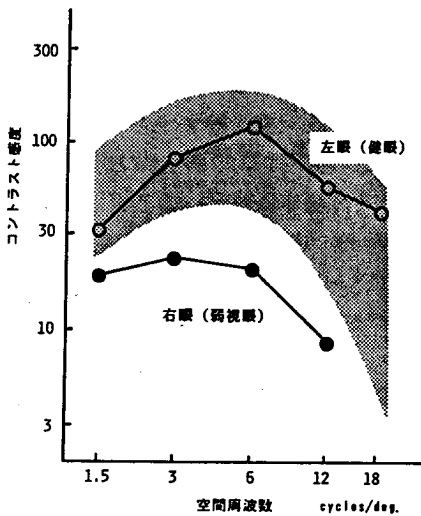


図17. 症例8 (不同視弱視) のコントラスト感
 度
 Hess のいう全周波数領域低下型になっ
 た.
 $RV=0.06 (0.4 \times +4.0 \times C - 1.0 \rightarrow)$
 $LV=1.5 (n. c.)$

ていた(図17)。残念ながらこの症例はその後の受診がなく視力が改善したかどうか不明のままである。

弱視の治療効果の判定や予後の推定にコントラスト感度の測定が役に立つのかどうか、なお検討の余地が残されている。

6. 今後の方向

先に述べたように、この概念は当初その理論的背景が強調され過ぎたため、一般眼科医にとっては取っ付きにくいものとの印象を与えてしまった事は否定できない。また一方、しっかりした理論的背景を持つ検査法であるだけにその臨床応用に過剰な期待があったようにも思われる。すなわち、MTF 測定の結果からただちに診断がつくのではないかと、予後の判定や治療法の決定が出来るのではないかとかいう期待である。今のところこの期待は裏切られたと見るべきであろう。確かに、眼疾患において先述の様な特徴が認められるが、診断に直接結びつくようなものではない。またこれらは、多数例における平均値であって、個々の症例にそのままあてはめることは出来ない。しかしそれでも、視力などでは検出できない視機能の低下を、特に中くらいから低い空間周波数領域におけるコントラスト感度の低下として検出できることがあり、診断においても、経過を見る上でも大変役に立つ検査であることには疑う余地はない。

今後は、眼科における一般検査として定着するとともに、種々の治療法の評価や病態生理の解明の手段として用いられていくものと期待したい。そのためには、まず簡単に行なえて信頼できる結果が得られ、しかも臨床の場に持ち込みやすい検査法の開発が望まれる。強制選択法を採用したVCTSがその一つの方向を示唆している。これは空間周波数が「見える」か「見えない」かの判断を方向の判断に置き換えることにより、眼科の日常検査としてなじみやすいものにしていくし、また視標を0.2対数単位毎に限ることにより検査時間を著しく短縮した。思いきった省略が成功したものと考えられる。同じ様な例を視力測定に見ることが出来る。視

力は本来2点を2点として見分ける能力と定義され(最小分離閾, 分解能), 2点間の距離を視角(分)で測った逆数で表わすものとされている。しかし、実際の測定は2点を示して「2点に見えるか」を問うのではなく、ランドルト環を示して、しかもその切れ目の存在ではなく方向を問う、その方向も4方向あるいは8方向から選ばせる(強制選択法)と言う手続きで行なっている。さらに簡便には片仮名, 平仮名あるいはアルファベットを読ませる方法(最小可読閾)で行なう場合もある。また視標の大きさも0.1, 0.2……1.0, 1.2と決ったものを用いている。このように、概念としては最小分離閾である視力を、判断の置き換えと手続きの簡略化により日常検査とすることに成功した、とも言えよう。コントラスト感度の検査が日常臨床の場で受け入れられるかどうかこの点にかかっているのである。

一方、厳選した患者で精密な測定を行ない、経過を追うことも必要であり、そのためには、検者・被験者がともに心理物理の素人であっても信頼できる測定が可能な装置および方法の改良が必要である。

患者になんら侵襲を加えることのない、また負担をかけることの少ないこのような検査が、眼科臨床の場でもっと広く行なわれるようになることを期待したい。

文 献

- 1) 大頭 仁, 河原哲夫: 視覚系の空間周波数特性とその臨床眼科学への応用. 東京医学 83: 63-69, 1975.
- 2) 河原哲夫, 大頭 仁, 糸井素一, 杉町剛美: Modulation Transfer Function の臨床的応用 I. 理論と測定法について. 日本眼科学会雑誌 79: 1536-1541, 1975.
- 3) 大頭 仁: 視力と MTF (第 8 回日本眼科学学会 教育講演 抄録). 眼科臨床医報 67: 284-285, 1973.
- 4) 糸井素一, 杉町剛美, 普天間 稔, 大頭 仁, 河原哲夫, 曾根公毅: Modulation Transfer Function の臨床的応用 II. 円錐角膜を中

- 心として. 日本眼科紀要 26:1494-1498, 1975.
- 5) 山本敏雄, 萱沢文男, 糸井素一: 特集 眼科診断法における最近の知見 視覚系の空間周波数 特性について. 眼科 23: 387-399, 1981.
 - 6) 河原哲夫: 特集 新しい検査法 空間周波数特性と視機能. 眼科 23:1043-1054, 1981.
 - 7) 山出新一: コントラスト感度. あたらしい眼科 6:37-45, 1989.
 - 8) 山出新一: 眼科臨床における MTF (コントラスト感度) 研究の動向. 日本眼科紀要 投稿中
 - 9) 山本敏雄: Modulation Transfer Function の臨床的研究. 臨床眼科 33: 643-649, 1979.
 - 10) 石川 哲, 岡村良一, 向野和雄: 水俣病患者における Spatial contrast sensitivity の検査 - Arden grating test の応用 -. 日本眼科学会雑誌 83:336-343, 1979.
 - 11) 諫山義正, 溝上国義, 田上勇作: 視神経障害時の spatial contrast sensitivity 視野および網膜神経線維層萎縮との対比. 臨床眼科 34:293-300, 1980.
 - 12) 佐藤 薫, 尾羽沢 大, 河原哲夫, 横田英嗣: コンタクトレンズ矯正の MTF による評価. 日本コンタクトレンズ学会誌 22: 261-263, 1980.
 - 13) 萱沢文男, 三宅武子, 三宅謙作: 偽水晶体眼の MTF. 日本眼科紀要 36: 1760-1763, 1985.
 - 14) 河原哲夫, 尾羽沢 大: 視覚系の MTF 簡易測定装置の試作. 臨床眼科 33: 1505-1509, 1979.
 - 15) 諫山義正, 田上勇作, 大沼貴弘, 榊見和孝, 坊 博: 新しい空間コントラスト特性自動測定および VEP 刺激装置の開発. 日本眼科学会雑誌 86:1510-1515, 1982.
 - 16) 鷺飼一彦, 石川 哲: 極限法と強制選択法を組み合わせたコントラスト感度測定装置の試作. あたらしい眼科 5:1167-1169, 1988.
 - 17) Hess, R. F. & Howell, E. R.: The threshold contrast sensitivity function in strabismic amblyopia; evidence for a two type of classification. Vision Research 17: 1049-1055, 1977.
 - 18) 澤田恵子: 不同視弱視の空間周波数特性に関する研究 第2報 弱視眼の空間周波数特性について. 日本眼科学会雑誌 87: 827-831, 1983.
 - 19) 荘野忠朗, 和田尚恵, 辻 岐代子, 柰田亨二, 田中尚子: VCTS6000による弱視のコントラスト感度測定を試み. 眼科臨床医報 81:1190-1194, 日本弱視斜視学会雑誌 14: 106-110, 1987.
 - 20) 鐘ヶ江泰子, 山本敏雄, 田坂 宏, 桑山和加子: 弱視の空間周波数特性について. 眼科臨床医報 78:1734-1738, 日本弱視斜視学会雑誌 12:102-106, 1984.
 - 21) 杉町剛美, 普天間 稔, 糸井素一, 中島 章, 河原哲夫, 大頭 仁: Laser 干渉縞による視覚特性の測定 第Ⅲ報 小型 MTF 測定機の開発とその使用経験. 臨床眼科 30: 1319-1323, 1976.
 - 22) Arden, G. B.: The importance of measuring contrast sensitivity in cases of visual disturbance. Br. J. Ophthalmol. 62: 198-209, 1978.
 - 23) Ginsburg, A. P.: A new contrast sensitivity vision test chart. Am. J. Optom. & Physiol. Opt. 91: 403-407, 1984.