

アーデン・チャートによる Contrast Sensivity Function (CSF) 測定の有効性について

小 沢 信 治・谷 村 裕

アーデン・チャートは簡便に、眼のCSF (Contrast Sensivity Function) を測定するため開発され、眼疾患のスクリーニング法として臨床応用が試みられている。6枚のプレートから成り、視距離57cmにおけるそれぞれの空間周波数は、0.2, 0.4, 0.8, 1.6, 3.2, 6.4 (Cycles / Degree) で、コントラストがプレートの上下に対数的に変化し、縞が見えた時の高さを左右端のスコアで記録することにより、各周波数のコントラスト感度を記録できる。しかし、その有効性については、いまだ検討の余地があると考えられる。

本検査によって得られたスコアを分析し、以下のような結論を得た。

精度の高い測定値を得るには、常に同じ測定者によって左・右眼を同順序で測定し、スコアは別々に処理すべきであり、ノーマルレンジを個々のプレートで新たに定める必要がある。

本検査は屈折異常による視力低下には、あまり影響を受けず、強度の屈折異常がある場合にも低周波側プレートのスコアはノーマルレンジにとどまった。一方、初期白内障の例では、視力的にはさほど低くはないが、高周波側プレートで高いスコアを示し、網膜色素変性の例では、低周波側プレートで高いスコアを示し、いずれも屈折異常にもとづく視力値のみでは説明のつかないコントラスト感度の低下が観察された。

アーデン・チャートは、視力とは異なる次元で視機能の低下を検出する方法として使用し得る可能性が示唆された。

キーワード： コントラスト感度関数 アーデン・チャート 空間周波数 白内障
網膜色素変性

問 題

眼の空間的解像力を示す代表的な表示法として通例、ランドルト環等を視標とした視力測定値が使われている。しかし 形態の視知覚に影響を及ぼすものとして、対象の大小とともに、コントラストも看過できない重要な要因である。すなわち物の見え方をより総合的に捉えるには、高コントラストの刺激を呈示し、どの位小さくした場合まで見えるかを問題とするだけではなく、大きな刺激であっても、どの程度のコントラストがなければならぬかを問題としなければならない。こうした観点から、刺激の大小とコントラスト感度の関数 (Contrast Sensivity Function, CSFと略す) を求める実験が盛んに行なわれるようになった。刺激には水平方向に輝度が正弦波状に変化するパターンが多く用いられており、これを Cathode-Ray Tube (CRT) 上に呈示するという

方法がとられている。CSF を測定することによって、視力の変化に表われない眼疾患の検出等、臨床面でも成果が期待されている (Bodis-Wollner, 1972; 1976; Regan et al, 1977; Zimmermann et al, 1979)。

ただし、CRT を用いる方法は装置が簡易でなく、高価である等の欠点があり、こうした欠点を補い、手軽な眼疾患スクリーニング方として考案されたのがアーデン・チャートである (Arden, 1978^(a))。

その構成の概略を述べると、6枚のプレートでできており、1枚目はデモンストレーション用で、被験者に縞の見え方と応答方法を練習させるのに用いられる。プレート2から7は57cmの視距離において、空間周波数 (単位距離内の縞の密度) がそれぞれ、0.2, 0.4, 0.8, 1.6, 3.2, 6.4 C. P. D. (Cycles Per Degree) である。

ただし、プレート6, 7は同一プレート上の左

右にある。プレート左右の端には1から20のスコアが付されており、1スコアにつき0.088log unitの割合でコントラストが変化している。すなわちプレートの上端(スコア1)からプレートの下端(スコア20)に行くに従ってコントラストが大きくなり、縞が見えやすくなっているわけである。しかし、河原ら(1979)が指摘したように、印刷技術上の点から、その精度にはかなり疑問がある。この点に関連して、筆者は乾板型プレートによるCSFの測定結果を以前報告した。(小沢ら, 1982)

アーデン・チャートの使用法はCSFを正確に測定しようとする検査法というよりは、むしろ、測定周波数範囲を比較的低周波側にしぼり、スコアのノーマルレンジを個々のプレート、及びトータル、左右眼の差について定め、眼疾患のスクリーニング法として、その有効性が検討されている(Arden & Jacobson, 1978; Minassian et al, 1978; Weatherhead, 1980; Woo & Prentice, 1983)。が、現在のところスクリーニング法として確立するには至っていない。本報告では、アーデン・チャートを用いて健常眼(屈折異常眼を含む)左右計240眼について測定し、その結果について検討を加えるとともに後天性初期白内障、網膜色素変性の疾患を有する者の測定結果についても比較検討を試みた。

実 験

目的

アーデン・チャートによるCSF測定の有効性に検討を加え、臨床応用への1つの検討材料を提供することを目的とする。

方法

材料

アーデン・チャート(American Optical社製)

被験者

健常者

18才~24才 120名 左・右眼計240眼について測定した。屈折異常があり、眼鏡等の補正を行っている者は、補正状態で測定した。なお未補正状態で測定したものも含まれる。

眼疾患を有する者

後天性初期白内障 (M. T) 35才 1名

視野異常なし。視力については後述。

網膜色素変性 (H. A) 24才 1名

視野 R 約30°管状視野 L 内方約30°
外方約50°。視力については後述。

手続き

まず始めに、視距離57cmに呈示した近方視力表によって左右各眼の視力を測定した。アーデン・チャートのプレートは、プレートとほぼ同色同反射率をもつポケットに収められており、プレートを徐々に上に引き上げることによってコントラストの強い縞が見えるようになっている。

最初にデモンストレーションプレートを用い、被験者に縞の見え方を理解させるため、ポケットの上端を注視させ、縞の見えた時に合図をさせた。必要に応じて何度か繰り返し呈示した。

後に呈示されるプレートほど、縞の間隔が狭くなることを告げ、プレート2→プレート7の順で測定した。プレートを引き上げる速さは1目盛(1スコア)約1秒とした。

眼からプレートまでの間隔は57cmとし、プレート面における照度は約1000 lxとした。

測定は常に右眼について全プレート終え、次に左眼について測定した。

測定は各プレート1回のみとし、縞の見えた時のスコアを記録した。

結果と考察

以下、3つの観点から結果及び考察を述べることにする。

1) ノーマルレンジの設定と測定法上の問題点について

近方視力表を用いて得た、視距離57cmにおける視力値を5m視力に変換し、この値が1.0以上の群と以下の群とに分け、前者をノーマルレンジを設定する際に用いた。(以下、視力値は同様に計算したものである。)この群に該当したのは、右眼103眼、左眼107眼である。各眼についてプレート2から7までのスコアのそれぞれの平均とSDを求め、それにもとづいてプロットしたのが図1である。x軸方向にプレートNo、y軸方向の数値はスコアである。(縞が全く見えない場合はスコア25を与えることになっており、平均はこれにならって計算した。)各プレートの平均とともに、これに2SDを加えた数値を図中にプロットした。±2SD内にデータの約95%が含まれる

ことになるが、平均-2SDの値はコントラストの感度が優れていることになるわけで、本検査の目的上、不必要なので平均+2SDのみを表示した。各被験者を常に、右眼・左眼の順で測定したわけであるが、各プレートにおける両眼の平均値に有意差の有無を見るため、t検を行なったところ、プレート3で有意差があった($t=2.2$ $df=208$)。よって、5m視力値が1.0に達しない被験者の測定値の分析にあたっては、一応、左・右眼を分け検討を加えることとした。図2示されているのは他の測定者によって報告されたノーマルの平均スコアである。曲線が異なった傾向を示しているが、これは各測定者が用いたプレート毎に印刷状態が異なること、また、測定者自身によるプレートを引き上げる速さの違いといった系統誤差等が反映したものと考えられる。

次に、全データの中で筆者が測定者になったものと、複数(相互に測定者・被測定者となって実験をさせた。ただし、その他の実験条件は一定に

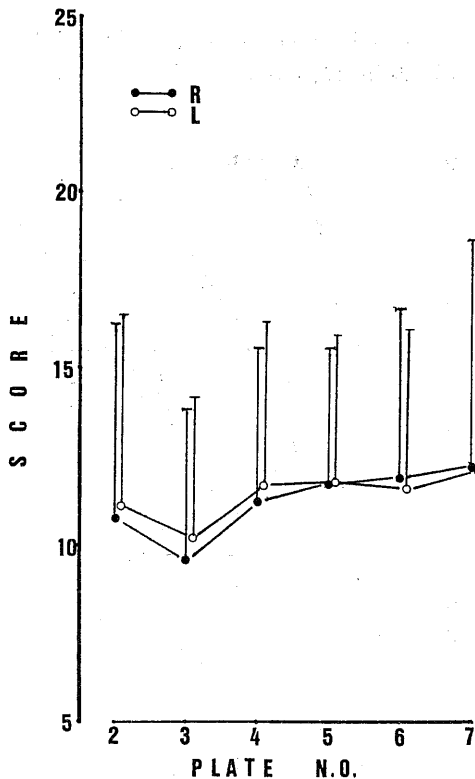


Fig. 1 眼疾患を有しない者(視力1.0以上) 右眼103眼 左眼107眼の平均と平均+2SD

Table 1 測定者が単数と複数との場合

プレートNO	2		3		4		5		6		7	
	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L
単数	12.3	12.5	10.3	10.7	11.0	11.7	11.5	11.3	11.8	10.8	11.8	11.5
(兼者)	(2.1)	(2.0)	(1.4)	(1.8)	(1.4)	(1.6)	(0.9)	(1.2)	(1.5)	(1.5)	(2.0)	(1.6)
複数	10.4	10.3	9.3	9.8	11.4	11.6	12.2	12.2	12.4	12.2	12.2	12.3
	(2.5)	(2.6)	(2.1)	(1.8)	(2.1)	(2.5)	(2.2)	(2.3)	(2.5)	(2.6)	(3.9)	(3.6)

※()内はSD

してある。)が測定者となって得られたデータとの比較を試みた。

筆者が測定した右眼24眼と左眼23眼のデータと、他者が測定したデータからランダムに抽出した右眼24眼と左眼24眼のデータ、それぞれについて平均とSDを求めた(表1)。

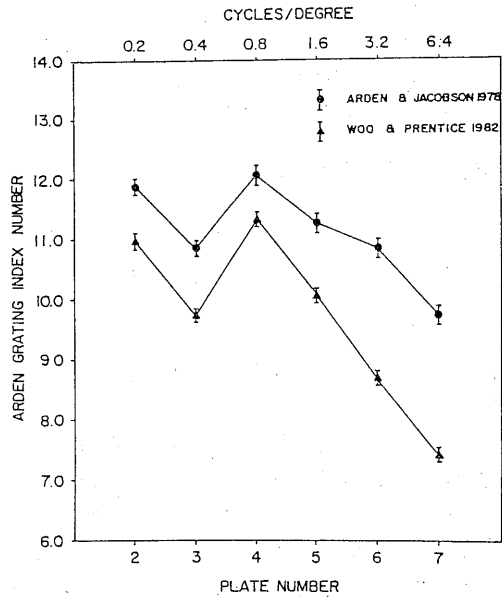


Fig. 2 Arden & Jacobson, 1978および Woo & Prentice, 1982によって求められたノーマルの平均 (Woo, G. C. & Prentice, V. D. M. 1983 から転載, 図中の I は平均の標準誤差を示す)

表1に示されているように、左眼プレート3のSDを除くすべてのSDは、筆者が1人で測定したデータの方が小さくなっている。各々の不偏分散比を求め、検定すると(両側検定)、右眼ではプレート5~7、左眼ではプレート4~7で5%水準で有意差が見られた。分散が小さいことは、それだけ測定精度が良いと考えられるわけであるが、高周波側のプレートのスコアに特に著明にこの傾向が示される結果となった。したがって、測定精度をあげるには測定者は1人の方が望ましいと言える。

各プレートにおける同じスコアが同じコントラストをもつとすると、スコアの平均が描く曲線は Band - Pass 型の曲線を示すことは以前、筆者が報告した (小沢ら, 1982)。しかし、アーデンはこの検査を作成するにあたって、被験者に高さの手がかりを与えないため、プレートによって平均値が異なるようにしたと述べている (Arden, 1978^(a))。本実験で得られた各プレートの平均値間の差を検定するため、一要因 (6 レベル) の分散分析を行なった。分散分析表を表 2、3 に示す。

Table 2 分散分析表 (右眼)

変動因	S S	df	M S	F
群 間	473.5	5	94.7	15.0
群 内	3875.1	612	6.3	
全 体	4348.7	617		

Table 3 分散分析表 (左眼)

変動因	S S	df	M S	F
群 間	253.1	5	50.6	8.9
群 内	3624.1	636	5.7	
全 体	3877.3	641		

1%水準でプレート平均間の差は、左右、両眼ともに有意であった。

以上のことから、測定法に関してまとめると、視距離・照度等の条件を変えてはならないことは言うまでもないが、より精度の高い測定値を得るには、測定者は1人に限った方が望ましいこと、また、アーデン・チャートを用いるには、個々のプレートについてノーマルレンジを求めなければならないことがわかった。

2) 屈折異常による視力低下とスコアの関係について

次に屈折異常未補正による視力の違いがスコアにどう反映するかを見てみることにする。

図3には右眼について得られたノーマルレンジとともに視力が1.0に達しない視力群のスコアをプロットしたものである。(左眼も同様の結果を示した。) 低周波側のプレートでは、かなりの低視力でもノーマルレンジにスコアが入っているが、高周波側プレートでは逸脱するスコア数がふえ、特に低視力群にその傾向を示すものが多い。特徴を見やすくするため、視力が1.0に達しない群をさらに便宜的に2つに分け、各群の平均をプロッ

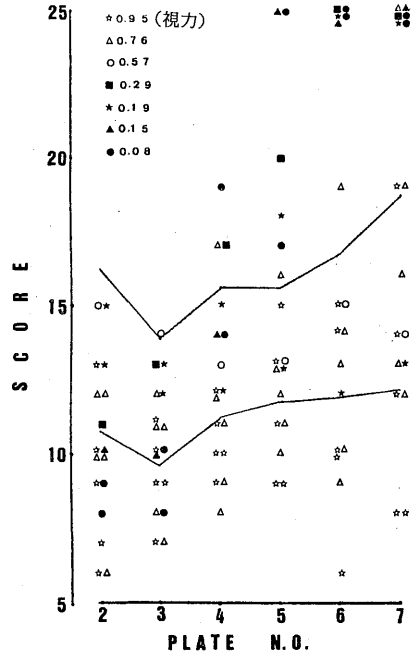


Fig. 3 眼疾患を有しない者 (視力 1.0 以下) のスコア

トしたのが図4である。2群中、相対的に視力の高い群 (視力 0.95, 0.76, 0.57; ○—○で示す) で

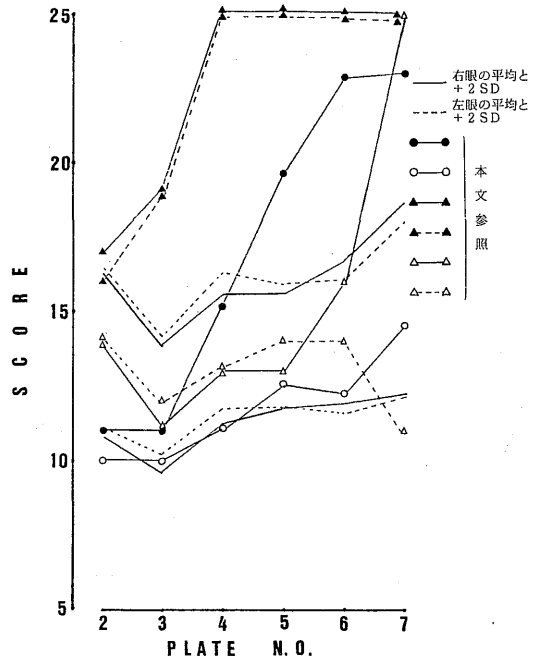


Fig. 4 眼疾患を有しない者 (視力 1.0 以下) の平均と眼疾患を有する者のスコア

は、全プレートにおいてノーマルレンジ内に収まっている。(ただし、これは平均であって個々のデータについては、図3で見た通りノーマルレンジを越えているデータもある。)一方、視力が低い群(0.15, 0.1, 0.08, 0.04; ●—●で示す)では、プレート2, 3ではノーマルレンジに入っているが、プレート5, 6, 7と、高周波側に行くに従ってスコアが高くなっていることがわかる。屈折異常によって網膜像がボケルわけだが、高周波側ほどその見え方が阻害される。これに対して低周波側は強い屈折異常があってもコントラスト感度は低下せず、見え方はあまり影響を受けないことがわかる。

アーデン・チャートは、視力値には現われない微妙な視機能の低下を検出したり、屈折異常以外に起因して視力低下をもたらす眼疾患のスクリーニングを行なうのが主眼とされている(Arden, 1978^(a))。本実験の結果より、強度の屈折異常がある場合でも低周波側のプレートのスコアはノーマルレンジに収まっていることから、単なる屈折異常による視力低下は低周波側のプレートのスコアに大きな影響を与えないことがわかった。Campbell & Green (1965)はプラスレンズを眼前に付加し、人工的に近視状態をつくった場合のCSFを求めたところ、高周波ほど感度の低下を大きく示した。CSFの高周波側は屈折系の状態を特に反映するといえよう。一方、低周波側はどうかを以下に述べる結果にもとづいて考察することにする。

3) 眼疾患を有する者におけるスコアの特徴について

はじめに初期白内障の結果について考察することとする。図4中に△印でプロットしてあるのは、被験者M. T.の左眼(△…△)右眼(△—△)の測定結果である。本被験者は、左眼は、視力、スコアともに全く問題がない。どのプレートでもノーマルレンジ内のスコアとなっている。一方、右眼については、視力は0.76とやや低い。また、ランドルト環が白っぽく見えるとの主訴があった。スコアは、プレート1から5までは左右ともほぼ同じ値となっているが、プレート6, 7の値は高い。視力の上から分類すると、健常者の1.0に達しなかった群を2つに分けたうちの比較的高い群に対照づけることができるのであるが、その平均

と比較してもプレート6, 7のスコアは高く、単なる屈折異常では説明できないコントラスト感度の低下があることが推定できる。

白内障は水晶体が白濁する透光体疾患であるが、高周波側のプレートでコントラスト感度の低下を示す結果が出たことになる。本被験者の場合、視力的には0.76と、それほど低い値ではないが、プレート7は全く見えなかった。アーデン・チャートが、視力低下をあまり示さない状態にある疾患の存在を検出できる可能性を示す一つの例といえよう。

次に網膜色素変性の場合であるが、この疾患のCSFをアーデン・チャートによって測定した先行研究によれば、スコアは特にノーマルと変わらない(Wolkstein et al, 1977)という報告もあるが、また、高周波側プレートで高スコアを記録した(Lindberg et al, 1981)という報告もある。これらの報告は、いずれも中心視力が高い被験者についてのものである。本被験者は右0.08、左0.03と極めて低視力であり、測定結果を図4で見ると縞が見えるのはプレート2, 3のみで、プレート4以降は全く見えない。プレート2, 3のスコアも右眼はそれぞれ17, 19、左眼は16, 19と高く、コントラスト感度が著しく低下していることがわかる。健常者の低視力者群ではプレート2かつ3で、このような高スコアを示した例はなかった(図3参照)。したがって網膜以降の疾患がある場合に低周波プレートの感度が低下すると考えられる。また、本被験者の両眼の視力差は、低周波プレートのスコアにはほとんど表われなかった。視力とコントラスト感度が異なった次いで視機能を捉えていることを示している興味ある知見と言える(小沢ら, 1981)。

以上、アーデン・チャートを用いて、ノーマル、屈折異常による視力低下、眼疾患による視力低下、それぞれの条件下のスコアについて分析、検討を加えた。眼のCSFを簡便に測定することができるだけでなく、視機能の測定上、視力測定を補う意義ある検査法と考えられる。

文 献

- 1) Arden, G.B. (1978)^(a): The importance of measuring contrast sensitivity in case of visual disturbance. Br. J. Ophthalmol., 62, 198-209

- 2) Arden, G.B. (1978)^(b): Visual loss in patients with normal visual acuity (Doyle Memorial Lecture, 1978). *Trans. Ophthalm. Soc. U.K.*, 98, 219-231
- 3) Arden, G.B. and Jacobson, J.J. (1978): A simple grating test for contrast sensitivity: preliminary results indicate value in screening for glaucoma., *Invest. Ophthalmol. Visual Sci.*, 17, 23-32
- 4) Bodis-Wollner, I. (1972): Visual acuity and contrast sensitivity in patients with cerebral lesions. *Science*, 178, 769-771
- 5) Bodis-Wollner, I. and Diamond, S.P. (1976): The measurement of spatial contrast sensitivity in cases of blurred vision associated with cerebral lesions. *Brain*, 99, 695
- 6) Campbell, F.W. and Green D.G. (1965): Optical and retinal factors affecting visual resolution. *J. Physiol.*, 181, 576-593
- 7) 河原哲夫、尾羽沢大 (1979) : 視覚系の MTF 簡易測定装置の試作、*臨眼*、46, 128-138
- 8) Lindberg, C.R., Fishman, G.A., Anderson, R.J. and Vasquez, V. (1981): Contrast sensitivity in retinitis pigmentosa. *Br. J. Ophthalmol.*, 65, 855-858
- 9) Minassian, D.C., Jones, B.R. and Zargazadeh, A. (1978): The Arden grating test of visual function: a preliminary study of its practicability and application in a rural community in north-west Iran. *Br. J. Ophthalmol.* 62, 210-212.
- 10) 小沢信治、谷村裕 (1981) : 視覚障害者の見え方の MTF による分析——視力値との比較を中心として——、*視覚障害教育、心理研究*、2, 1-4
- 11) 小沢信治、谷村裕 (1982) : 乾板型プレートによる空間周波数特性 (MTF) 測定の試み、*心身障害学研究*、6, 59-68
- 12) Regan, D., Silver R. and Murray, T.J. (1977): Visual acuity and contrast sensitivity in multiple sclerosis-hidden visual loss, an auxiliary diagnostic test. *Brain*, 100, 563-579
- 13) Weatherhead, R.G. (1980): Use of the Arden grating test for screening. *Br. J. Ophthalmol.*, 64, 591-596
- 14) Wolkstein, M. Atkin, A. and Bodis-Wollner, I. (1977): Grating acuity in two sisters with tapetoretinal degeneration. *Documenta ophthalmologica proceeding series*, 12, 41-46
- 15) Woo, G.C. and Prentice, V.D.M. (1983): An evaluation of the Arden grating test. *J. American Opto. Association*, 54, 985-989
- 16) Zimmern, R.L., Campbell, F.W. and Wilkinson, I.M.S. (1979): Subtle disturbances of vision after optic neuritis elicited by studying contrast sensitivity. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.*, 42, 407-412

Summary

Evaluation of Contrast Sensitivity Function Measured by Arden's Grating Test

Shinji Ozawa and Yutaka Tanimura

Arden's grating test is composed of six plates numbered 2 through 7. The sinusoidal patterns of gray and white subtend 0.2, 0.4, 0.8, 1.6, 3.2 and 6.4 cycles per degree of visual angle, respectively, when viewed at 57 cm. The density of each grating increases logarithmically from the top to the bottom of each plate. Segmented numbers at the side of the plate indicate each log unit of increased density (contrast). The plate is covered at first and then is pulled upwards gradually from nonseeing to seeing—from lowest to highest contrast. The instant that the subject detects the presence of contrasting gratings, he makes a sign, and the score at the side of the plate at that point is noted. Lower scores, from 0 to 20, indicate more sensitive grating detection.

Discussion was made about the resulted scores under the following conditions.

1. subjects with visual acuity more than 1.0 (without eye disease)
2. subjects with visual acuity less than 1.0 (without eye disease)
3. subjects with eye disease (cataract and retinitis pigmentosa)

Lower frequency plates' scores (N.O. 2, 3) were not influenced by worse visual acuity caused by focussing error. Cataractous subject showed higher scores at high frequency plates (N.O. 6, 7) than those expected from his visual acuity. Subject with retinitis pigmentosa showed severe sensitivity loss at low frequency plates (N.O. 2, 3).

It was suggested that when applied appropriately Arden's grating test can be useful as a tool which detects visual dysfunction not revealed by visual acuity test.

Key word: contrast sensitivity function , arden's grating test , spatial frequency , cataract
retinitis pigmentosa