第59回 日本視能矯正学会

一般講演

縞視力の視標コントラストの違いが視力値に及ぼす影響

稲垣 尚恵

愛知淑徳大学健康医療科学部視覚科学専攻

Effects of Contrast Difference of the Grating Targets on Visual Acuity

Hisae Inagaki

Faculty of Health and Medical Sciences, Aichi Shukutoku University

要 約

【目的】 Teller Acuity Cards II® (TAC II) は、6.2cpdより高い空間周波数で縞視標のコントラストが低いため（春日井他、2006）、コントラストの違いが検査結果にどのように影響するかが不明確である。そこで本研究では縞視標の空間周波数とコントラストを検査条件として独立して操作することにより、視標のコントラストの相違が縞視標の検出に与える影響を実験的に検討した。

【方法】 対象は、眼疾患のない矯正視力1.2以上5名5眼（平均 21.8 ± 0.97 歳）とした。TAC IIの視標のコントラストの実測に基づき、最大コントラスト（83.33%）と最小コントラスト（39.75%）を条件としてPC上に縞視標を呈示し、縞の方向を回答する2条件（PC-H、PC-L）と、TAC IIを用いて縞視標の位置（TAC-位置）あるいは方向（TAC-方向）を回答する2条件を設定した。計4条件の検査条件とTAC IIに対応した空間周波数7条件において正答割合を測定した。

【結果】 (1) 18.2cpd以下の空間周波数では検査条件による正答割合の差はなかった。(2) 25.0cpd条件ではPC-LとTAC-方向の正答割合がPC-Hに対して有意に低かった。

【結論】 TAC IIの高空間周波数カードでは縞視標のコントラストの低下により、視力が低く測定される可能性がある。

Abstract

【Purpose】 With the Teller Acuity Cards II® (TAC II) (Kasugai et al., 2006), the contrast of the grating target at a spatial frequency of 6.2 cpd or higher is low and the effect of contrast difference on the test result is not clear. By independently manipulating the spatial frequency and contrast of the gratings, in this study we investigated how contrast difference affects the detection of the gratings.

別冊請求先（〒480-1197）愛知県長久手市片平二丁目9

愛知淑徳大学健康医療科学部医療貢献学科視覚科学専攻

Tel. 0561 (62) 4111 Fax. 0561 (56) 0027

E-mail : hisaeina@asu.aasa.ac.jp

Key words : Teller Acuity Cards II®, コントラスト、空間周波数、縞視標、縞視力

Teller Acuity Cards II®, contrast, spatial frequency, grating, grating visual acuity

【Methods】 A total of 5 eyes of 5 participants (mean age, 21.8 ± 0.97 years) with corrected visual acuity of 1.2 or above and no ocular diseases were studied. Based on the actual contrast measurements of the gratings of the TAC II cards, maximum contrast (83.33%) and minimum contrast (39.75%) were obtained and used for the presentation of the grating targets on a computer. The participants were asked about the directions of the gratings at the maximum and minimum contrasts (test conditions PC-H at the maximum and PC-L at the minimum), and the location and direction of the gratings of the TAC II cards (test conditions TAC II-location and TAC II-direction). Gratings at 7 different spatial frequencies for all 4 test conditions were used and the proportions of the participants' correct answers were evaluated.

【Results】 1) There was no difference in the proportion of correct answers among the 4 test conditions when the spatial frequency of the gratings was 18.2 cpd or lower. 2) At a spatial frequency of 25.0 cpd, the proportions of correct answers for PC-L and TAC II-direction were significantly lower than that for PC-H.

【Conclusion】 A TAC II test using gratings at a high spatial frequency may underestimate visual acuity because of the low contrast of the gratings.

I. 緒言

視力検査は眼科臨床において、短時間で容易に実施でき、しかも形態覚機能を比較的精度よく反映する基本的で普及した検査法の1つとされている^{1), 2)}。堀田¹⁾は「視力値は、周囲の明るさや視標の形状やコントラスト、視距離、網膜の順応状態などさまざまな要因で変動しやすいため、それらの条件を統制して測定する必要がある」としている。しかし、日常的な臨床の場面では、多くの施設で視力表の輝度あるいは照度への配慮があまり行われていないことを川守田ら³⁾が報告しているように、視力検査時の検査環境や条件について必ずしも十分に統制されていないのが現状である。

日本における視力表の視標コントラストの基準としては、文部省科学研究費総合研究視力研究班⁴⁾の報告があり、標準視力検査装置の視標コントラストは90%以上、近距離検査装置は85%以上とされていた。その後、国際的な視力検査標準化の動き⁵⁾に対応して日本工業標準調査会 (Japanese Industrial Standard Committee: JIS)⁶⁾では視標コントラストは74%以上と規定している。この基準は文部省科学研究費総合研究視力研究班の基準より低い⁷⁾が、可見⁷⁾は74%の視標コントラストでも視力値は変わらないとしている。

Teller Acuity CardsTM (Vistech、以下TAC)⁸⁾やTeller Acuity Cards[®] II (STEREO OPTICAL、

以下TAC II)は乳幼児や自覚応答が困難な患者に適用可能な縞視標を用いた視力検査として広く知られている⁹⁾。Teller Acuity Cards[®] IIは、視標コントラストの基準を60~70%¹⁰⁾としており、JISの基準より低い。Clifford et al.¹¹⁾や春日井ら¹²⁾は、TAC IIの視標コントラストがTACに比べ、低くなっていることを指摘している。また、春日井ら¹²⁾は6.5 cycles/cm (6.2cpd)より高い空間周波数のカードまで回答できた被験者群において、TAC IIに比べてTACの成績が有意に良くなる傾向が顕著で、この原因は6.5 cycles/cm (6.2cpd)より高い空間周波数カードでは、TACに比べTAC IIの視標コントラストが低く、TAC IIではTACより早い段階で非視認領域に入ってしまったためであると考察している。しかし、Clifford et al.¹¹⁾、春日井ら¹²⁾では視力が未成熟で応答の信頼性の低さが無視できない乳幼児を対象としていることから、視標コントラストが検査の妥当性にどのように影響するのかを確定することはできない。そこで本研究では、コントラストの統制が容易なパーソナルコンピュータ(PC)を用いて、PC縞視標検査を作成した。PC縞視標検査では、TAC IIの視標コントラストの実測に基づき、最大コントラスト(83.33%)と最小コントラスト(39.75%)を視標コントラスト条件とし、縞の方向2方向を設定し、縞の空間周波数をTAC IIに対応した7段階とを系統的に操作し、どの空間周波数まで縞の方向を正確に回答することが

出来るかを測定することによって縞視力を測定した。このPC縞視標検査を視力が良好な成人を対象に実施し視標コントラストの相違が縞視力値に及ぼす影響について検討した。

さらに、TAC IIについては縞視標がカードのどちらにあるかを答えるTAC II位置回答条件（TAC II-位置）と縞の方向を回答するTAC II方向回答条件（TAC II-方向）の2条件を設定し同じ被験者を対象として検査を行いPC縞視標検査の結果と比較することで、TAC IIの検査としての妥当性を検討した。

II. 被験者及び方法

【被験者】対象は眼疾患がなく矯正視力1.2以上の大学院生1名、大学生4名（平均年齢 21.8 ± 0.97 歳：男性1名、女性4名）5眼とした（表1）。検査眼の左右は無作為に決定した。

【刺激】PC縞視標検査のプログラムの作成、制御ならびに呈示にはPsychoPy (ver.1.82)、Pavilion Gaming Notebook 15.5inch (HP Inc.)を使用した。画面サイズは $345\text{mm} \times 195\text{mm}$ （視角 $12.3^\circ \times 7.0^\circ$ ）、解像度は $1920 \times 1080\text{pixel}$ 、リフレッシュレートは60Hzであった。

検査距離が55cmとされているTAC IIでは、視標カードの縞はcycles/cmで表されているが、1cmが1 degreeに対応する観察距離57.3cmとの差は誤差範囲とされている¹⁰⁾。本研究では、空間周波数の一般的な表記であるcycles/degree (cpd)を統一的に用いることとした。

TAC IIの視標の輝度は分光放射計SR-3A（株式会社トプコンテクノハウス）を用いて測

定した（図1）。TAC IIの15枚のカードのうち0.83 cpdから9.4cpdまでの8枚のカードの縞視標の輝度を測定しマイケルソンコントラスト^{6),13)}を求めた（表2）。求められたTAC IIの縞視標コントラストのうち最大コントラスト（83.33%；0.83cpd）と最小コントラスト（39.75%；6.2cpd）の2条件をPC縞視標検査の視標コントラストとして設定した。

画面の背景および縞視標の平均輝度は 34.0cd/m^2 、縞視標を呈示する正方形のサイズは $4.3^\circ \times 4.3^\circ$ 、矩形波縞、視標の空間周波数、縞の方向は実験条件に従って変化させた。縞の方向は縦横の2方向とした。

【実験条件】PC縞視標検査は、コントラスト83.33%の高コントラスト条件（PC-H）、コントラスト39.75%の低コントラスト条件（PC-L）の2条件設定した。空間周波数はTAC IIのカードの空間周波数と対応する4.6cpd（4.8 cycles/cm）、6.2cpd（6.5 cycles/cm）、9.4cpd（9.8 cycles/cm）、12.5cpd（13.0 cycles/cm）、18.2cpd（19.0 cycles/cm）、25.0cpd（26.0 cycles/cm）、36.5cpd（38.0 cycles/cm）の7条件を設定した。

TAC IIは、日常臨床での検査方法である視標の位置を回答させる検査（TAC II-位置）に加えて、縞の方向の縦横を回答させる検査（TAC II-方向）の2回答条件を設定した。空間周波数は4.6cpd～36.5cpdの7段階のカードを使用した。

【手続き】全ての検査は、明室で実施した。被験者は眼鏡、コンタクトで視力を矯正し、片眼をアイパッチで遮閉した。

表1 被験者のプロフィール

被験者	年齢	測定眼	矯正視力と眼鏡・CLの度数	矯正手段
①	23	右	(1.2×S+1.50D Cyl-0.50D AX180°)	眼鏡
②	22	右	(1.5×S-7.50D Cyl-0.75D AX180°)	CL
③	20	右	(1.5×S-2.75D)	CL
④	22	右	(1.2×S-1.00D)	CL
⑤	21	左	(1.5×S-3.50D Cyl-1.75D AX180°)	眼鏡

図1 縞視標の輝度測定

上：分光放射計SR-3A：株式会社トプコンテクノハウス

下：分光放射計で縞視標の白を測定

平均輝度の測定は視角2°ターゲットで、黒白の縞が同数になるように
合わせ数カ所測定して平均値とした。

PC縞視標検査は検査の方法(図2)を十分に説明した後、顎台で検査距離を160cmに固定し、練習試行により被験者が正確に操作できることを確認し検査を開始した。PC-H、PC-Lの2つの検査条件の順序は被験者ごとに無作為に決定し、縞の縦横を回答させた。検査条件2条件×視標の縦横2方向×空間周波数7段階の28試行を100回繰り返し、計2800回の測定を行った。

TAC IIの検査距離は55 cmとし、TAC II-位置、TAC II-方向の2検査条件×視標の縦横2条件×空間周波数7条件28回を10回繰り返し測定し計280試行とした。検査は1人の検査者

が行ない、試行順は被験者ごとに無作為に決定した。

結果は正答を1、誤答を0とし、試行数で除し正答割合を算出した。PC縞視標検査は繰り返し10回を1ブロックとしてブロック平均を10個求めた。正答割合を従属変数として空間周波数条件、検査条件について2要因の分散分析を行い検討した。この研究は愛知淑徳大学健康医療科学部倫理委員会の承認を得て行った(承認番号：2018-5)。

表2 TAC II[®] 各カードの測定した輝度値とコントラスト

cpd	0.83	1.2	1.5	2.3	3.1	4.6	6.2	9.4
(TAC II カード cy/cm)	(0.86)	(1.3)	(1.6)	(2.4)	(3.2)	(4.8)	(6.5)	(9.8)
白 (平均最高輝度 cd/m ²)	40.70	40.70	39.80	39.60	38.60	37.60	35.58	39.10
黒 (平均最低輝度 cd/m ²)	3.70	4.10	4.20	5.00	4.90	6.26	15.34	15.64
コントラスト (%)	83.33	81.70	80.91	77.58	77.47	71.45	39.75	42.86

* 検査距離が55cmとされているTAC II[®]では、視標カードの縞はcycles/cmで表されているが、本研究では、空間周波数の一般的な表記であるcycles/degree(cpd)を统一的に用いることとした。

* 12.5 cpd 以上の高空間周波数のカードは縞が細く、機器の性能上正確にコントラストを測定できなかった。

図2 PC縞視標検査の流れ

矢印はPC縞視標検査の進行を示す。

開始とともにランダムドットのマスク刺激が500ms間呈示され、続いて、固視点500ms間呈示された後、各周波数縞視標が呈示される。被験者がゲームパッドのボタンを使用して、視標の方向を回答すると、1試行が終了する。視標の縦横2条件×空間周波数7段階の計14試行が無作為に呈示される。

Ⅲ. 結果

PC-H、PC-L、TAC II - 位置、TAC II - 方向の検査条件における空間周波数に伴う正答割合の変化を図3に示した。2要因分散分析をおこなった結果、検査条件の主効果が有意であった ($F(3,1372) = 10.254, p < .001$)。正答割合はPC-H (0.948 ± 0.092)、TAC II - 位置 (0.923 ± 0.177)、PC-L (0.896 ± 0.1306)、TAC II - 方向 (0.880 ± 0.184) の順に高かった。また、空間周波数の主効果は有意で ($p < .001$)、検査条件と空間周波数との交互作用 ($p < .001$) も有意であった。単純主効果検定を実施したところ、空間周波数4.6cpd～18.2cpdでは検査条件

による正答割合に有意な差はなく、空間周波数25.0cpd ($F(3,1372) = 41.115, p < .001$)、36.5cpd ($F(3,1372) = 25.225, p < .001$) において検査条件の単純主効果が有意であった。

25.0cpdではPC-H (0.939 ± 0.078) とTAC II - 位置 (1.000 ± 0.000) の正答割合が高く、PC-L (0.721 ± 0.1827) とTAC II - 方向 (0.680 ± 0.46648) の正答割合が低かった。多重比較 (ボンフェローニ法) の結果、PC-HとTAC II - 位置は、PC-L、TAC II - 方向に比べ有意に正答割合が高く (いずれも $p < .05$)、PC-HとTAC II - 位置との間、PC-LとTAC II - 方向との間には有意差は認められなかった。

36.5cpdではPC-H (0.713 ± 0.187) とPC-L

図3 PC縞視標検査とTAC IIの検査における空間周波数と正答割合

エラーバーは片側SDを示す。

空間周波数25.0cpd：PC-HでPC-L ($p<.05$)、TAC II - 方向 ($p<.05$) に比べ正答割合が有意に高く、同様にTAC II - 位置でPC-L ($p<.05$)、TAC II - 方向 ($p<.05$) に比べ正答割合が有意に高かった (多重比較；Bonferroni 法)。

PC-HとTAC II - 位置との間、PC-LとTAC II - 方向との間には有意差は認められなかった。

空間周波数36.5cpd：PC-HでTAC II - 位置 ($p<.05$)、TAC II - 方向 ($p<.05$) に比べ正答割合が有意に高く、同様にPC-LでTAC II - 位置 ($p<.05$)、TAC II - 方向 ($p<.05$) に比べ正答割合が有意に高かった (多重比較；Bonferroni 法)。

PC-HとPC-Lとの間、TAC II - 位置とTAC II - 方向との間には有意差は認められなかった。

(0.644 ± 0.188) がTAC II - 位置 (0.460 ± 0.498) とTAC II - 方向 (0.480 ± 0.500) に比べて有意に正答割合が高かった ($p<.05$)。TAC IIの2条件での正答割合はチャンスレベルである0.5を下回った。多重比較の結果、PC-HとPC-Lは、TAC II - 位置、TAC II - 方向に比べ有意に正答割合が高く (いずれも $p<.05$)、PC-HとPC-Lとの間、TAC II - 位置とTAC II - 方向との間には有意差は認められなかった。

IV. 考按

視力とは、コントラストの高いパターンの細部構造を見分ける能力のことで、視標に空間周波数を用いた、識別可能な最大の空間周波数に

対応する¹⁴⁾。コントラストが低くなるのに伴い検出される視力も低くなる¹⁵⁾。Ludvigh¹⁶⁾は、スネレンチャートを使用した実験を行い、0.344のコントラストで視力が低下したと報告している。また、視力はコントラストが比較的高い間はそれほど低下せず、低コントラストになると急激に低下するとされている^{17),18)}。縞視標を使用した本研究においても図3に示したように、視標の空間周波数が25.0cpdと高くなるとコントラストが83.33%であるPC-Hの正答割合が、コントラストが39.75%であるPC-Lの正答割合より有意に高くなったことからコントラストの低下が縞視力の低下をもたらしたと言える。一方、18.2cpd以下の低空間周波数領域では、どの実験条件でも正答割合は高く、視標のコント

ラストの違いによる正答割合の差は認められなかった。

また、TAC II -位置は、TAC II -方向と被験者の回答方法が異なるだけにもかかわらずTAC II -方向とは異なり、25.0cpdでは図3に示した通りPC-Hと同等の高い正答割合となった。Clifford et al.¹¹⁾ はTACでは視標の両端は白であったがTAC IIでは黒に変更されており、TACでは抜き出て見えていた36.5cpd (38.0 cycles/cm) の視標がTAC IIでは改良されているとしている。しかし、TAC IIの25.0cpd (26.0 cycles/cm) のカードは両端が黒であるにも関わらず視標部分が浮き出て見えており、全ての被験者が「縞はわからないが何か貼り付いているように見えるため、縞視標がどちらにあるかわかる」と自省報告を行った。このことから25.0cpdにおいてTAC II -位置の正答割合が高くなった原因は視標領域と背景との輝度コントラストによるものと考え、両者の平均輝度を比較したが、他の空間周波数のカードと顕著な差はなかったため、25.0cpdのカードの特殊な見えは視標領域と背景との輝度コントラスト以外の原因によるものであると考えられる。

36.5cpdでのTAC II -位置、TAC II -方向の正答割合は、ともにPC縞視標検査での正答割合より低い結果となり、その正答割合は0.5のチャンスレベルを下回り視標の空間周波数が検出閾以下であったと考えられた。本研究ではTAC IIのカードの縞視標の実測輝度に基づきコントラスト条件を設定したが、輝度測定機器の解像度の問題から、9.4cpdのカードまでしか厳密な輝度測定ができなかった。そのため9.4cpdより高い空間周波数のカードでは視標の実際のコントラストが39.75%より低くなっており、そのことが36.5cpdでの測定を不可能とした可能性があったと考えられる。

TAC IIにおいて36.5cpdで測定不能となったもう一つの原因として平均輝度の低下が考えられる。De Valoisら¹⁸⁾ は平均輝度が低くなると高空間周波数領域でコントラスト感度の落ち込みが顕著にみられると述べている。コントラスト感度の低下は結果的に空間分解能の低下を惹起する。TAC IIは紙媒体で外部照明によって

視標コントラストが制御されるため、検査時における視標部分の平均輝度が問題となる。本研究では検査時のTAC IIの視標の平均輝度は55.77 cd/m²で、PC縞視標検査の縞視標の平均輝度 (34.0cd/m²) より高かったため、視標の平均輝度がTAC IIの36.5cpdでの検査が不能となったことの原因とは考えられない。

本研究では視力が良好であった大学院生ならびに大学生を被験者としたため、乳幼児を対象とした場合に比べて25.0cpd、36.5cpdなどの高空間周波数まで正確に測定することが可能であった。縞視標のコントラストが低いと25.0cpdより高い空間周波数条件で有意に正答割合が低下することが確認され、TAC IIでは高い空間周波数での検査の結果が低く評価されるという問題点が明らかとなった。TAC IIの検査対象はランドルト環での視力測定が不可能な患者や乳幼児が対象であるため、臨床では高空間周波数領域まで測定することはまれである。また、今回の研究では被験者が5名であり、TAC IIの試行回数が少ないため、視力がどの程度落ちるかを定量できていない。この点は今後の課題である。しかし、TAC IIを使用して視力測定を行う際には、高い空間周波数領域では視力が低く測定されることやPreferential looking法で測定する際には縞視標ではない部分を手がかりにしている可能性があること理解しておく必要がある。

参考文献

- 1) 堀田一樹：視力表の評価. 臨眼 52: 11-13, 1998.
- 2) 内海 隆：視力の臨床1 視力表のこれまでと将来. 神眼 18: 265-271, 2001.
- 3) 川守田拓志, 松本富美子, 魚里博, 王国琴, 三橋俊文, 大沼一彦, 古野間邦彦, 不二門尚：臨床視力表に関する多施設アンケート調査. 視覚の科学 34: 42-53, 2013.
- 4) 萩原朗他：視力の検査基準について. 日本醫事新報 2085: 29-34, 1964.
- 5) 大頭仁：視力検査の標準化の動き. 眼科 24: 1049-1058, 1982.

- 6) 日本工業規格：視力装置. JIS T 7309:1-15, 2002.
- 7) 可児一孝：Ⅲ-2 視力検査の流れ. 松本富美子, 大牟禮和代, 中村永江(編): 理解を深めよう視力検査屈折検査. 31-35, 金原出版, 東京, 2009.
- 8) Teller,D.Y.: The Forced-Choice Preferential Looking Procedure. *Infant Behavior and development* 2: 135-153, 1979.
- 9) 三宅三平：乳幼児の検査機器と方法. 日視会誌 15: 126-133, 1987.
- 10) Teller, D.Y., Dobson, V., Mayer, D.L.: TELLER ACUITY CARDS™ II HANDBOOK. STEREO OPTICAL COMPANY, INC. 2005.
- 11) Clifford, C.E., Haynes, B.M., Dobson, V.: Are Norms on the Original Teller Acuity Cards Appropriate for Use with the New Teller Acuity Cards II : JAAPOS 9 : 475-479, 2005.
- 12) 春日井めぐみ, 浅野典子, 堀普美子, 櫻井寛子, 川瀬芳克：Teller Acuity Cards™と Teller Acuity Cards II ® 比較・検討. 日視会誌 35: 141-146, 2006.
- 13) 平岡孝浩：コントラスト感度・コントラスト視力・実用視力. 臨眼 65: 24-31, 2011.
- 14) 市原茂: 9-2 視覚系の空間周波数特性, 大山正, 今井省吾, 和氣 典二(編): 感覚・知覚心理学ハンドブック. 556-579, 誠信書房, 東京, 2000.
- 15) 池田紘一, 野田貢次, 山口昌一郎：ランドルト環視標の輝度対比および順応輝度と視力との関係. 照明学会雑誌 67(10): 51. 1983.
- 16) Ludvigh, E.: Effect of reduced contrast on visual acuity as measured with snellen test letters. *Arch Ophtahlmol.*25: 469-474, 1941.
- 17) 福原潤：生理光学の基礎. 西信基嗣（編）：眼光学の基礎. 146-194, 金原出版, 東京, 2001.
- 18) De Valois, R.L., Morgan, H., Snodderly, D.M.: Psychophysical studies of monkey vision.3. Spatial luminance contrast sensitivity macaque and human observers. *Vision Res.*14: 75-81, 1974.