自作 Aulhorn flicker test とその臨床応用

渡辺 逸郎¹⁾, 飯島 裕幸¹⁾, 三輪 正人²⁾, 島元 理光¹⁾山梨医科大学眼科学教室, ²⁾諏訪赤十字病院眼科

要 約

フリッカ一光の自覚的明るさ感覚の測定装置である Aulhorn flicker test を発光ダイオード (LED) を用いて自作し、正常 21 眼、特発性視神経炎 7 眼、篩骨洞嚢腫による視神経症 1 眼、手術前の下垂体腫瘍 2 眼、empty sella 1 眼、前部虚血性視神経症 1 眼、梅毒性視神経炎 1 眼、原発開放隅角緑内障 5 眼における測定結果を報告した。正常眼では低周波数領域で明るさ感覚が増強する Brücke-Bartley 効果が全例にみられた。特発性視神経炎 6 眼と篩骨洞嚢腫による視神経症 1 眼においては Talbot 法則のレベルを下回る明るさ感覚の低下である Aulhorn 効果が低周波数領域で確認され、経過観察が可能であった特発性視神経炎 3 眼と篩骨洞嚢腫による視神経症 1 眼では回復期には Aulhorn 効果は消失していた。特発性視神経炎 1 眼、下垂体腫瘍、empty sella、前部虚血性視神経症、梅毒性視神経炎、原発開放隅角縁内障においては Aulhorn 効果は検出されなかった。視神経炎の診断における LED を用いた自作 Aulhorn flicker test の有用性が示唆された。(日眼会誌 97:127—134、1993)

キーワード:フリッカー光,自覚的明るさ感覚,Aulhorn flicker test,LED,特発性視神経炎

A Modification of the Aulhorn Flicker Test with Results of Physiological and Pathological Conditions

Itsuro Watanabe¹⁾, Hiroyuki Iijima¹⁾, Masato Miwa²⁾ and Rikou Shimamoto¹⁾

¹⁾Department of Ophthalmology, Yamanashi Medical College ²⁾Eye Clinic, Suwa Red Cross Hospital

Abstract

The Aulhorn flicker test measures the subjective brightness of various frequencies of flickering light. We modified an Aulhorn flicker test with light emitting diode (LED) and the results of 21 normal eyes and 18 affected eyes (7 eyes with idiopathic optic neuritis, one eye with rhinogenous optic neuropathy (ethmoid sinus mucocele), two eyes with preoperative pituitary tumor, one eye with empty sella, one eye with anterior ischemic optic neuropathy, one eye with syphilitic optic neuritis, five eyes with primary open angle glaucoma) were presented. All normal eyes showed the Brücke-Bartley effect which refers to an enhanced subjective brightness at lower frequencies. Six eyes with idiopathic optic neuritis and one eye with rhinogenous optic neuropathy in the acute stage demonstrated the Aulhorn effect which refers to a reduced subjective brightness at lower frequencies. Four eyes with the Aulhorn effect that were followed up showed less prominent Aulhorn effect. One eye with idiopathic optic neuritis and 10 eyes with other conditions did not show the Aulhorn effect. It was

別刷請求先:409-38 山梨県中巨摩郡玉穂町下河東 1110 山梨医科大学眼科学教室 渡辺 逸郎 (平成 3 年 12 月 27 日受付,平成 4 年 7 月 8 日改訂受理)

Reprint requests to: Itsuro Watanabe, M.D. Department of Ophthalmology, Yamanashi Medical College. 1110 Shimokato, Tamaho-machi, Nakakoma-gun, Yamanashi 409-38, Japan (Received December 27, 1991 and accepted in revised form July 8, 1992)

suggested that the modified Aulhorn flicker test with LED is a useful method for diagnosis of optic neuritis in the acute stage. (J Jpn Ophthalmol Soc 97:127-134, 1993)

Key words: Flickering light, Subjective brightness, Aulhorn flicker test, LED, Idiopathic optic neuritis

I 緒 言

特発性視神経炎の病理所見は脱髄と考えられているが、原因は多くの場合不明であり、諸種の検査において原因の明らかな疾患を除外して行われる10-40. 診断の際の難しさを多分に有していると考えられ、たとえば虚血性視神経症の診断も除外診断で行われることが多く、両者の鑑別に苦慮することが少なくない500. 治療方針や予後などを考慮するためには、特に急性期の診断をより確実にすることが重要である.したがって、急性期の特発性視神経炎を特異的に検出できる視機能検査があるとしたならば意義のあるものと考えられる.

フリッカー光の自覚的な明るさ感覚について生理学的には図1(文献10,11の報告を基に作成)に示すごとく臨界融合頻度(CFF)以上の周波数における Talbot 法則(フリッカーの刺激光の輝度を時間平均した場合の輝度と同じ輝度の刺激光により引き起こされる明るさ感覚に等しい)⁷,および10 Hz 前後の周波数における Brücke-Bartley 効果(フリッカーon の時の輝度と同じ輝度の刺激光を定常的に提示した場合の明るさ感覚よりも増大した明るさ感覚が引き起こされ

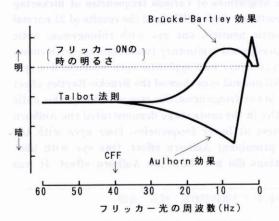


図1 フリッカー光の自覚的明るさ感覚の模式図. Trauzettel-Klosinski らの報告(文献 10, 11)を基に 作成.

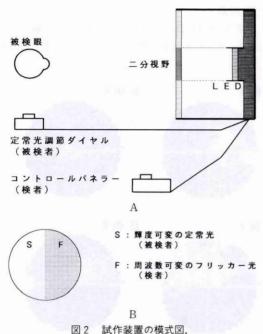
る)®が知られている。Aulhorn らは 2台のプロジェクターを用いて輝度可変の定常光視野と輝度は一定で周波数可変のフリッカー刺激野を二分視野にて提示できる装置(Aulhorn flicker test)を製作し、フリッカー光の自覚的な明るさ感覚を正常眼および病眼において測定した $^{9)\sim11}$)。そして特発性視神経炎の急性期において図 1 に示す Aulhorn 効果(Brücke-Bartley 効果が出現する周波数 10 Hz 前後のフリッカー光において逆に明るさ感覚が低下し Talbot 法則のレベルを下回る)がみられることを多数例で証明し、しかもこの効果は特発性視神経炎に特異的であって他の原因の疾患では見られないとした。

Aulhorn flicker test は先に述べた理由から、急性期の特発性視神経炎を診断する際に興味ある検査法であり、この検査法について検討することは意義あることと考えられる。今回我々は発光ダイオード(LED)を用いてフリッカー装置を新たに自作した。装置をコンパクトにすることが可能であり、LEDの諸種の物理特性がフリッカー装置に有用であると考えたからである。自作装置で正常者および少数例ではあるが病眼での測定を試み、Brücke-Bartley 効果や Aulhorn 効果の出現に関して同様の結果が得られるかどうか、また自作装置が臨床に使用可能かどうかについて検討したので報告する。

II 方法および対象

1. 試作装置

図2Aに自作装置を模式的に示した。ボックス(40 cm×40 cm×30 cm)の後部中央に 150 個の黄色高輝度 LED を左右に分割して配置し、ボックスの前面を覆う白色半透明のプラスチック板に投影する。実際に投影された視標は均質無構造の直径 54 mm(60 cmの視距離で視角約5度)の円形の二分視野である。図2Bのように左視野は被検者が手持ちのダイヤルによって輝度が連続的に変えられる定常光視野、右視野は輝度は一定で検者がコントロールパネラーによって周波数が変えられるフリッカー刺激野である。コントロールパネラーには被検者の手持ちのダイヤルの値も表示さ



A:ボックスの後部に 150 個の LED を設置し, 前面の 白色半透明のプラスチック板に二分視野を投影する. B:二分視野.

れる。定常光視野の輝度の可変範囲は 0 cd/m^2 から 169 cd/m^2 ($0 \sim 1100 \text{ arbitrary unit}$) である。用いた

測定は屈折矯正を行い検査距離 60 cm で比較暗室において自然瞳孔の状態で施行した. 検者は周波数を60,50,40,30,25,20,15,10,7.5,5,3,2,1,0 Hzの一定順序で変化させた. その都度被検者にフリッカー光によって引き起こされる明るさ感覚と定常光によって引き起こされる明るさ感覚が一致するように左の定常光視野のダイヤルを調節させ、明るさのマッチングを行った. これを5回繰り返し、それぞれの周波数における平均値を求めた.

測定の際には検者のコントロールバネラーに表示される被検者の手持ちのダイヤルの値(arbitrary unit)を直接読み取った。この値は器械の出力が均等配分されるような便宜的に設置した値であるが、LED の特性として電流量と輝度は比例しており、arbitrary unitと視標を輝度計で実際に測定した値(cd/m²)とは比例していた。フリッカー装置での測定は arbitrary unit

表 1 病眼の臨床データ

症例	年齢	性	患眼	病	名	視力	CFF (Hz)	発症後 日数	*回復期 視力	*CFF (Hz)	*発症後日数
1	47	女	左	特発性視神経炎		0.7	17	50	0.8	40	140
2	21	女	右	"		0.08	13	38	0.8	35	104
3	53	女	右	"		0.2	23	3	0.7	33	90
4	64	男	左	篩骨洞嚢腫による視神経症		0.4	40	6	1.2	50	109
5	34	男	右	特発性視神	経炎	0.3	25	41			
6	28	男	左	"		0.1	17	23			
7	27	男	左	"		0.4	22	7			
8	26	女	右	"		0.1	23	11	1.2	40	20
9	55	女	左	下垂体腫瘍		0.9	40				
10	76	女	左	"		0.5	39				
11	31	女	右	empty sella	a	0.4	35				
12	41	男	右	**AION		0.6	16	19			
13	34	女	右	乳頭炎(梅毒	貨性)	0.5	22				
14	23	女	左	***POAG		0.6	34				
15	31	男	右	"		0.6	32				
16	55	女	右	"		0.4	28				
17	66	女	右	"		0.5	30				
18	60	男	右	"		0.5	30				

^{*}症例1~4,8において回復期に測定した時のデータ

^{**}AION:前部虚血性視神経症 ***POAG:原発開放隅角緑内障

を使用したが、結果では arbitrary unit と輝度 (cd/m^2) を併記して自覚的明るさ感覚の定量的表現とした。

2. 対象

正常眼は屈折異常以外に異常を認めない矯正視力 1.0以上の21名21眼(男性17名,女性4名,23~66

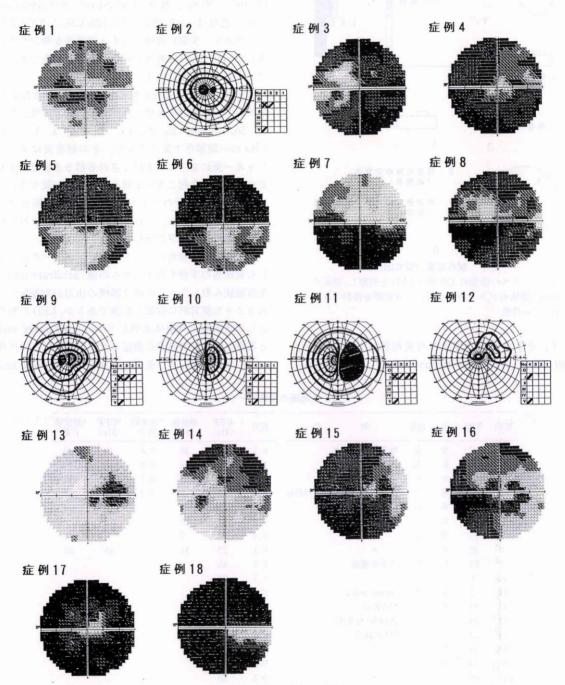


図3 病眼の測定時の視野.

ハンフリー静的自動視野計の結果は graytone symbols で示した。症例 1、3、18 は central 10-2 threshold test, 症例 4~8、13~17 は central 30-2 threshold test の結果である。

歳平均35.5歳)である。病眼は特発性視神経炎7名7 眼. 篩骨洞囊腫による視神経症1名1眼, 前部虚血性 視神経症1名1眼,手術前の下垂体腫瘍2名2眼. empty sella 1名1眼, 梅毒性視神経炎1名1眼, 眼圧 が8~18 mmHg にコントロールされておりピロカル ピンを使用していない原発開放隅角緑内障5名5眼で ある. 年齢, 患眼の左右の別, 測定時の矯正視力, CFF, 視神経炎と前部虚血性視神経症では発症から測定まで の期間などを表1に、測定時のゴールドマン視野計あ るいはハンフリー静的自動視野計の結果を図3にまと めた. 視神経炎例は急性期ないし回復初期である. 症 例 2, 3, 5, 7, 8 は MRI など神経内科学的に多発 性硬化症と診断がつけられており、症例1と症例6は 検査結果などから特発性視神経炎と考えられ、症例1, 症例4,症例5~8は初回発症である。特発性視神経 炎の症例1,2,3,8および篩骨洞嚢腫による視神 経症の症例 4 では回復期または篩骨洞開放術後にも測 定しており、その時の視力、CFF、発症後からの期間 を表1にまとめた。このうち症例2では初回測定時の 矯正視力が 0.08 であり、検査に必要とされる矯正視力 0.110111以下であったが、自覚的に二分視野の判別が可 能であり測定が行えたので結果に加えた.

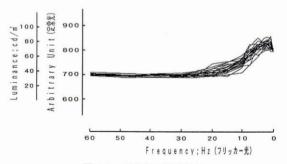


図4A 正常眼の測定結果.

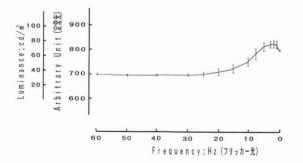


図4B 正常眼の平均値と標準偏差.

III 結 果

1. 正常眼

正常 21 名 21 眼の測定結果を図 4 A に重ね描きで示し、平均値と標準偏差を図 4 B に示した。60 Hz から 25 Hz 付近までは Talbot 法則に従い、フリッカーon の時の輝度(66 cd/m²)の 1/2 の輝度の刺激光によって引き起こされる明るさ感覚と等しい明るさ感覚が得られている。 25 Hz から周波数が減少するに従い明るさ感覚は増強し、5 Hz から 1 Hz の範囲ではフリッカー on の時の輝度(66 cd/m²、800 arbitrary unit)と同じ輝度の刺激光により引き起こされる明る さ感覚をも上回る明るさ感覚が生じ(平均値士標準偏差;5 Hz = 812.7 ± 17.3 、3 Hz = 822.1 ± 12.7 、2 Hz = 824.9 ± 14.2 、1 Hz = 821.3 ± 14.8 arbitrary unit)、Brücke-Bartley 効果が確認された。

2. 病眼

症例 8 を除いた特発性視神経炎(症例 $1 \sim 3$, $5 \sim 7$)および篩骨洞嚢腫による視神経症(症例 4)の結果を図 5 A に示した。高周波数領域では Talbot 法則に従っているが,正常眼とは異なり 40 Hz 以下では徐々に Talbot 法則のレベルを下回る明るさ感覚の低下が起こり,10 Hz から 2 Hz 付近でかなりの低下を示

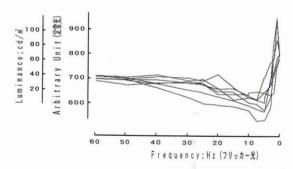


図5A 症例1~7の急性期ないし回復初期の測定結果.

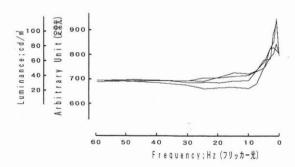


図5B 症例1~4の回復期の測定結果.

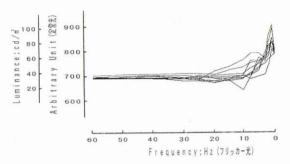


図6 症例9~18の測定結果.

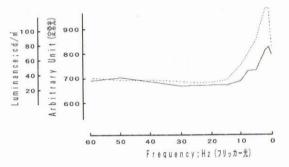


図7 症例8の測定結果。 一発症11日目,…発症20日目

しており、Aulhorn 効果が確認された。症例 $1 \sim 4$ における回復期 (表 1) の測定結果を図 5 B に示したが、Aulhorn 効果は不明瞭となりほぼ正常に近いパターンであった。

下垂体腫瘍,前部虚血性視神経症,empty sella,梅毒性視神経炎,原発開放隅角緑内障(症例9~18)の結果を図6に重ね描きしてまとめた。正常眼のバターンあるいは回復期の視神経炎に類似したバターンであり,Aulhorn効果は検出されなかった。

特発性視神経炎と考えられた症例のなかで症例 8 に おいては Aulhorn 効果は検出されなかった。この症例 における発症後 11 日目と 20 日目の測定結果を図 7 に示した。

その他、今回測定した特発性視神経炎の症例のなかに1ないし2Hzにおいて明るさ感覚の増大を示す症例が認められた。症例1(初回測定1Hz:946.6 arbitrary unit [au]、2回目測定1Hz:944.6au)、症例2(2回目測定1Hz:934.0 au)、症例5(初回測定1Hz:932.2 au)、症例8(2回目測定1および2Hz:980.2 au)においてであるが、900 au(104 cd/m²)を上回り、正常者におけるBrücke-Bartley 効果のパターンとは異なる明るさ感覚の明らかな増大であった。

IV 考 按

フリッカー光の自覚的明るさ感覚に関して Aulhorn ら⁹⁾や Trauzettel-Klosinski ら¹⁰⁾¹¹⁾の報告では、特発性視神経炎の急性期ないし回復初期においてのみ低周波数領域で明るさ感覚が Talbot 法則のレベルよりもさらに低下する Aulhorn 効果が検出されているが、他の原因による疾患においては検出されていない。この所見は特発性視神経炎の急性期の検査方法として興味あるものと考えられ、実際に Aulhorn や Trauzettel-Klosinski らと同じ器械を使用して測定も試みられている¹²⁾¹³⁾. 今回我々は高輝度 LED を用いてフリッカー装置を自作した。LED を用いた理由は装置自体がコンパクトになり、また LED の特性として正確な矩形波変調が得られ、一定の波長の発光であり、電流量と輝度が比例するなどの点があり、これらがフリッカー装置に有用ではないかと考えられたためである。

この装置を用いた正常眼の結果では高周波数領域で Talbot 法則が成立し、低周波数領域で明るさ感覚の増 強する Brücke-Bartley 効果が示された. Brücke-Bartlev 効果の発生機序に関しては、光に対する明る さ感覚が光の点灯後 50~100 ms に極大を示すとする Broca-Sulzer 効果など心理物理学的説明は幾つかな されているが、明確な結論は得られていない14).今回の 正常眼での結果と Aulhorn らの報告を比較してみる と, Aulhorn らは Brücke-Bartley 効果が 10~8 Hz に 出現した9)~11)としているが、今回の結果では5~1 Hz とより低い周波数領域に存在していた. この相違を説 明する要因として,1)刺激光の色が今回は黄色に近い ほぼ特定波長の光であるが、Aulhorn らは白色光であ る、3) フリッカ-onの時の輝度が今回は66 cd/m²と Aulhorn らの 32 cd/m²より高い,4)刺激野の直径が 視角 5 度と Aulhorn らの 7 度 7 分より小さい, 5) 今 回の検討では比較暗室で測定しているが Aulhorn ら は明順応状態において測定している, などの測定方法 の相違が考えられる. 生理学的には Brücke-Bartley 効果など自覚的明るさ感覚に影響を及ぼす要素とし て, フリッカー光の明暗比, 刺激光の波長や色度, 刺 激野の広さや刺激光の強度、測定時の順応状態などが 論じられている14)。これらの要素がさまざま影響して Brücke-Bartley 効果の出現する周波数領域の相違と なったものと考えられる.

病眼では Aulhorn 効果が特発性視神経炎の急性期 および回復初期にのみ認められている¹⁰⁾¹¹. Aulhorn

効果の定義を Trauzettel-Klosinski ら101は、周波数の 低下とともに明るさ感覚の低下が起こり 5~10 Hz の 間で最も低下する現象であり、40 Hz と 5 Hz の間で Talbot 法則のレベルと比較して2SD以上の低下と 定義して定量的に判断している。 今回の検討では症例 数が少ないこともあり、1) Talbot 法則のレベルより 明らかに低下している、2) 40 Hz 付近から徐々に低下 し 10 Hz~2 Hz 付近で最も低下している, これらの 2 点を根拠として定性的に判断した。症例1~7におい て検出された明るさ感覚の低下は正常眼や他の病眼と は明らかに異なるパターンであり、Aulhorn 効果であ るとの判断は容易であったが、今後多数例の検討を試 みる場合には数値にて Aulhorn 効果を定義する必要 があると考えられた。一方、今回の検討症例のなかで 特発性視神経炎と考えられた症例 8 において Aulhorn 効果が検出されなかった。症例 8 では発症から 11日目に測定したが、回復経過が速く20日目にはほ ぼ正常に近い状態になっていた。Christ ら12)の報告の なかで例示された症例でも発症後 12 日目には Aulhorn 効果が消失しており, 症例 8 では第一回目の測定 の時点で既に Aulhorn 効果の検出される時期を過ぎ ていたことも考えられる。また経過自体が短いので炎 症の程度が軽度であっとした場合に、炎症の程度によ り視神経炎であっても Aulhorn 効果が生じないこと があるのではないかとも推測される。 今回の検討で篩 骨洞嚢腫による視神経症(症例4)において Aulhorn 効果が検出された. 副鼻腔嚢腫による視神経症の発生 機序として圧迫や炎症の波及などが想定されている15) が, 特発性視神経炎との共通性から何らかの炎症の存 在が示唆されるのではないかとも考えられた.

病的状態としての Aulhorn 効果の発生機序に関しては未だ不明な点が多いが、視神経炎による脱髄によって、正常な on 応答と off 応答の間の位相のずれが生じて off 応答が有意になるため、あるいは選択的なX-on 線維の障害が起こるためと推測されている 11 .

他の原因による病眼では少数例ではあるものの下垂体疾患,前部虚血性視神経症,梅毒性視神経炎,原発開放隅角緑内障,また既に報告した弱視眼 16 も含めてAulhorn 効果は検出されなかった。病期との関係ではAulhorn や Trauzettel-Klosinski ら $^{9/\sim11}$ は回復期にはAulhorn 効果は認めないと報告しているが,今回,回復期において測定することができた症例 $1\sim4$ においてもAulhorn 効果が消失していた。

病的状態としてのAulhorn 効果の他に.

Trauzettel-Klosinski ら 10111 は視神経炎の回復期に $1\sim3$ Hz 付近で明るさ感覚の増大がおこる現象を late maximum として報告している。今回の検討では少数 例ではあるものの特発性視神経炎の症例において $1\sim2$ Hz における明るさ感覚の明らかな増大を示す例 が認められ,late maximum が存在するのではないか との印象を受けた。

以上,LEDを用いて自作した Aulhorn flicker test において正常者および少数例ではあるが病眼での測定を試み,Aulhorn や Trauzettel-Klosinski らの報告^{9)~11)}と類似した結果を得た。臨床において特発性視神経炎の急性期の診断に際し,同装置が使用可能であることを示唆しうるものと考えた。

稿を終えるにあたり御校閲を頂きました塚原重雄教授に 深謝いたします。本論文の要旨は第94回日本眼科学会総会 および第28回日本神経眼科学会に報告した。

文 献

- Miller NR: Optic neuritis. In Walsh and Hoyt's Clinical Neuro-Opthalmology 4th ed, Williams & Wilkins, Baltimore, 227—248, 1982.
- 黒田康夫, 柴崎 浩: 特発性視神経炎の臨床. 神経 眼科 2:331-337, 1985.
- 3) **藤野 貞**: 球後視神経炎の概念. 松崎 浩(編): 眼科 Mook 30 視神経とその疾患. 金原出版, 東京, 139-144, 1986.
- 4) 大鳥利文: 脱髄性疾患と視神経症. 松崎 浩 (編): 眼科 Mook 30 視神経とその疾患. 金原出版, 東京, 161-170, 1986.
- 5)前田修司:虚血性視神経症の診断上の問題点。神経眼科 8:286-291,1991.
- 6) 渡辺逸郎, 飯島裕幸, 今井雅仁: 虚血性視神経症と 特発性視神経炎の視野障害の回復について. 日眼 会誌 95: 986-994, 1991.
- Talbot HF: Experiments on light. Philosophical Magazine 5: 321—334, 1834.
- Bartley SH: Subjective brightness in relation to flash rate and the light-dark ratio. J Exp Psychol 23: 313—319, 1938.
- Aulhorn E, Trauzettel-Klosinski S: Der Flimmertest—Ein neues, einfaches Verfahren zur Diagnostik der Neuritis nervi optici. Fortschr Ophthalmol 80: 398—400, 1983.
- 10) Trauzettel-Klosinski S, Aulhorn E: Measurement of brightness sensation caused by flickering light. A simple and highly specific test for assessing the florid stage of optic neuritis. Clin Vis Sci 2: 63—82, 1987.
- 11) Trauzettel-Klosinski S: Various stages of optic neuritis assessed by subjective brightness

- of flicker. Arch Ophthalmol 107: 63-68, 1989.
- 12) Christ TH, Pillunat LE, Stodtmeister R: The 'Flicker Test' according to Aulhorn in the diagnosis of acute optic neuritis. Ophthalmologica, Basel 192: 220—227, 1986.
- 13) 小林純子, 若食雅登, 石川 哲: Tübingen flicker TEST を用いた不同視弱視と視神経疾患の視機 能評価の試み. 神経眼科 6 巻増補(第27回日本神 経眼科学会, 第2回神経眼科講習会抄録集): 40, 1989
- 14) Van de Grind WA, Grüsser O-J, Lunken-

- heimer HU: Temporal transfer properties of the afferent visual system. In: Jung R (Ed): Handbook of Sensory Physiology, vol VII/3. Springer-Verlag, New York, 455—458, 1973.
- 15) **諫山義正**: いわゆる鼻性視神経症(炎). 松崎 浩 (編): 眼科 Mook 30 視神経とその疾患. 金原出 版, 東京, 155-160, 1986.
- 16) 三輪正人, 飯島裕幸, 渡辺逸郎, 雨宮哲士: 弱視眼 に対する試作 Aulhorn Flicker test. 眼臨 85: 1676—1679, 1991.