

第101回 日本眼科学会総会 特別講演 I

弱視・斜視にみられる両眼視機能

栗屋 忍

名古屋大学医学部眼科学教室, 川崎医療福祉大学感覚矯正学科

共同研究者

佐藤 美保, 都築 欣一, 高良 俊武, 平岩 薫子, 太田 啓雄, 荒井 昌志
 吉田 正和, 三宅 養三, 寺崎 浩子, 堀口 正之, 平野 耕治, 廣瀬 浩士
 宇野 幸子, 鈴木 祐子, 岩田 美雪, 高井 佳子, 前田真奈美, 久野 慎介
 川北 哲也, 大村 智寿, 太田 由枝, 近藤 永子, 高士 敦子, 滝川 知里
 平井 淑江, 野村 秀樹, 田中 浩人, 諏訪 啓子, 菊池 静, 矢ヶ崎悌司
 中村 直人, 榎原由美子, 栗屋 優子(名古屋大学・眼科学)
 渡辺 悟(藤田保健衛生大学衛生学部・生理学)
 川上 治(名古屋大学・神経内科学)

要 約

弱視の概念, 定義, 病因分類, 診断基準の変遷を考察し, 現在までの37年間の弱視4,693例を, 斜視弱視, 不同視弱視, 屈折異常弱視, 形態覚遮断弱視の4型に分けて検索した. 弱視の頻度が近年減少していることと, 低年齢化の傾向が明瞭であった. 弱視治療によって視力がかなり良く回復する一方, 早期発症の弱視・斜視例での両眼視機能にはなお多くの問題が残っている. これについて, 両眼視機能の病態生理を解明するために, 非対称性運動知覚(motion perception asymmetry)と運動立体感(depth from motion)を解析した. 多数の早期発症斜視・弱視で, 立体視がなくても運動立体感があることが示された. 非対称性運動知覚は, 正常乳児では生後4ないし5か月後には消失して対称性になる一方, これが早期発症内斜

視では年齢に関係なく長期に残存していた. 水平視差による通常の立体視が得られない症例でも, 運動立体感による両眼視への関与と, これが良好な術後眼位を維持する要因となる可能性のあることが判明した. 著者が1978年に開発した checkerboard pattern stimulator は, 両眼の中心窩に刺激を与えて抑制を除去するものであり, 両眼視機能と眼位の正常化に有用であった. 治療に際しては, 長時間刺激を与えることが特に重要であることを強調した. (日眼会誌 101:891-905, 1997)

キーワード: 視力, 両眼視機能, 非対称性運動知覚, 運動立体感, Checkerboard pattern stimulator

Binocular Functions in Amblyopia and Strabismus

Shinobu Awaya

Department of Ophthalmology Nagoya University School of Medicine
 Department of Sensory Sciences Kawasaki University of Medical Welfare

Abstract

Regarding the changing trends in the concept, definition, etiological classification, and criteria for diagnosis of amblyopia, we reviewed a total of 4,693

cases of amblyopia seen during the past 37 years. The amblyopia was divided into four types: strabismic, anisometric, ametropic, and form vision

別刷請求先: 701-01 岡山県倉敷市松島 288 川崎医療福祉大学感覚矯正学科 栗屋 忍
 (平成9年9月4日受付, 平成9年9月12日受理)

Reprint requests to: Shinobu Awaya, M.D. Department of Sensory Sciences, Kawasaki University of Medical Welfare, 288 Matsushima, Kurashiki-shi, Okayama-ken 701-01, Japan

(Received September 4, 1997 and accepted in September 12, 1997)

deprivative. There was a definite trend for the incidence to decrease and for the diagnosis to be made during earlier age in recent years. Although favorable recovery of visual acuity is obtained after treatment of amblyopia and strabismus, there are difficulties in obtaining good binocular functions in early-onset amblyopia and strabismus. This feature was evaluated in regard to motion perception asymmetry (MPA) and binocular depth from motion (DFM). Many cases of early-onset amblyopia and strabismus showed no disparity stereopsis, or position stereopsis, in spite of the presence of DFM. The MPA appeared to be closely related to early-onset esotropia regardless of age, while it disappeared and motion perception became symmetric 4 to 5 months

after birth in normal infants. The DFM seemed to play an important role in maintaining good motor alignment for several years after surgery. I developed a checkerboard pattern stimulator in 1978. This method proved to be useful in developing binocular functions and motor alignment by applying simultaneous bifoveolar stimulation and anti-suppression. Extensive exposure to the stimulation was essential for therapeutic success. (J Jpn Ophthalmol Soc 101 : 891-905, 1997)

Key words: Visual acuity, Binocular function, Motion perception asymmetry, Depth from motion, Checkerboard pattern stimulator

I 緒 言

弱視・斜視診療の最終目標は、視力は各眼とも矯正視力1.0以上、立体視は40 arc sec(")より良好な値を獲得させることである。ヒトでは生後次第に視機能が発達し、「正常な視的環境」のもとに育てば、ほぼ3歳の終わり頃に上述の正常レベルに達する。この「正常な視的環境」とは、「①各眼の網膜中心窩に、②同時に、③鮮明な像が結ばれる。」ことを意味する。これらの3つの条件のうち、いずれが欠けても正常な視機能の発達は得られない。この状態がすなわち「弱視」である。弱視の概念・診断・治療指針は明確になり、今日、視力の予後は極めて良好であるのに反し、両眼視、立体視の改善はなお不良な例が多く、幾多の問題点を残している。弱視や斜視にみられる視機能の病態生理をさらに究明し、前述の診療目標に少しでも近づくための最大限の努力が必要であると考え、

以上の視点に立って、1959年から今日に至るまで行って来た弱視・斜視の研究と診療により得られた成果を総論的にまとめ、さらに最近得られた新しい知見を加えて以下に報告する。

II 弱視の定義、診断基準、分類

1. 弱視の定義

前述のように、正常な視的環境の3要素のうち、1つでも欠けた異常な視的環境を作り出す起因疾患を分析して原因的定義をつければ、「1眼または両眼に、斜視や屈折異常があったり、あるいは、視覚刺激の妨げによって生じた視機能の低下」と考えられる。このように、弱視には弱視になるべき積極的な要因がなければいけない。1950年代の弱視の黎明期に我が国で普及した「器質的変化がないか、あるいは、あってもそれだけでは説明のつかない視力低下」というBangerter¹⁾の定義は、消去法的で、消極的、概念的な定義であり、この定義が完全に捨て去られない限り、弱視の正しい取り組みに大きな混乱を招くもの

である。器質的疾患と区別するために「器質的病変がない」という表現が強く出て、逆に弱視の本質をあいまい化する結果となっているからである。前述の積極的定義によって規定される弱視には、器質的病変は混入しないことは明白である。

2. 診断基準

弱視の診断には、弱視がもっている種々の異常視機能のうち、視力をもって診断の基準とする。理論的には、定義に合致した異常で、視力が正常レベルに達していなければすべて弱視と考えられる。しかし、「正常視力」も年齢に応じて発育していくものである。以前のように、5～6歳以後にはじめて定量的視力測定が可能となり、この期の正常視力を1.0と考えて弱視を診断した時代背景から生まれたBangerter¹⁾の発想である「0.8以下」を弱視とする基準は今日全く根拠のないことである。Preferential looking (PL)法その他の方法により乳幼児の定量的視力測定が可能である今日では、当然この基準を変えなければならない。そこで、弱視の診断時における正常視力から1 octave(視力比2:1)より大きい差を以て有意の差と考える基準を取り入れることが妥当であると考え、すなわち、前述の定義に合致した起因疾患があり、片眼性の場合は健眼視力に比して、また両眼性の場合には正常視力に比して1 octaveより大きい差の視力低下が認められた症例を弱視と判断すれば明確であると思われる。

3. 分類

分類の基準により種々の分類が行われているが、従来から用いられている定義、診断、治療に直結した原因的分類²⁾が最も適当であると考え、すなわち、弱視は次の6種類に分類される。

①斜視弱視(片眼性)、②不同視弱視(片眼性)、③微小斜視弱視(片眼性)、④屈折異常弱視(両眼性)、⑤経線弱視(片眼または両眼性)、⑥形態覚(刺激)遮断弱視(片眼または両眼性)。「機能弱視」には上記の6種類以外には

なく、器質的变化による視力低下とその眼が抑制などにより機能弱視が重なっている状態を「器質弱視」として扱えば明確である。

III 弱視症例の発症頻度、初診時年齢の推移

1. 発症頻度

上記の6種類の弱視のうち、本態と診断基準が明確である斜視弱視、不同視弱視、屈折異常弱視、形態覚遮断弱視の4種類の弱視について過去37年間を、1959年7月～1968年6月までの9年間をI群、1972年1月～1984年12月までの13年間をII群、1986年4月～1996年3月までの10年間をIII群とし、各群において、4種の弱視毎に弱視の総数に対する割合(%)の推移を検討した(表1)。弱視総数の各群毎の比較において、各群により年数が異なるので、年平均値により比較すると179,158,103例と減少傾向にあるが、この期間の新患総数との割合を比較すると2.5,3.0,2.6%と各群間で大きな差はみ

られない。各弱視の種類別の比較では、斜視弱視では20.7,12.1,10.0%と最近に至るほど減少している。不同視弱視は各群間でほとんど差がなく、屈折異常弱視の症例は少しずつ増加傾向にある。遮断弱視は、I群では概念が十分定着されていなく、短期間の遮蔽によって発症する症例への関心が持たれていなかった時期であったが、II群では眼瞼の小手術による約1週間の眼帯ですら感受性の高い時期においては十分弱視起因性のあることを著者らが報告³⁾して以来、多くの症例が診断されたことを反映していると考えられる。III群においてこの値が再び低下したのは、このような弱視起因性に対する警鐘が徹底し、乳幼児における術後の眼帯が極力避けられるようになった結果の現れと考えることができる。

2. 初診時(診断時)年齢

次に、これら4種の弱視について、初診時年齢別の頻度をパーセントで表し、I,II,IIIの3群間で比較検討した。

(1) 斜視弱視では(図1)、I群の分布を眺めると約半数の症例は10歳以下の初診であるが、最小年齢は2歳である。斜視の診断はさらに早期においても可能であったが、斜視弱視としての確定診断のために必要な定量的視力測定は、この期では困難であったことを表している。6歳時にピークがあるのは就学前検査で診断される例が最も多かったと考えられる。II群では5歳以下の診断例が増加し、1歳未満の診断例がでてきているのは、この時期に乳幼児視力の定量的測定法としてPL法が導入され始めたことによる。しかし、ピークがなお6歳時にみられることは、乳幼児健診がまだ十分徹底していなかったことを反映している。III群では半数例が4歳以下に診断され、1歳未満の確定診断例もII群に比してさらに増加し、ピークが3歳時に移行したことは、3歳児健診の効果が表れたものと思われる。

(2) 不同視弱視では(図2)、I群では大部分の症例が6歳以降の初診であり、斜視がなく、1眼の視力が良好であることから発見が遅れやすいことを物語っている。II、

表1 I群, II群, III群における各種弱視の頻度

| | I群 | II群 | III群 |
|------------|---------------|---------------|---------------|
| 斜視弱視 | 333 20.7% | 249 12.1% | 103 10.0% |
| 不同視弱視 | 728 45.2% | 900 43.7% | 442 43.1% |
| 屈折異常弱視 | 487 30.2% | 759 36.9% | 430 42.0% |
| 形態覚遮断弱視 | 62 3.9% | 150 7.3% | 50 4.9% |
| 計 | 1,610 100% | 2,058 100% | 1,025 100% |
| 年平均 | 179 | 158 | 103 |
| 新患総数に対する割合 | 2.5% | 3.0% | 2.6% |

I群：1959年7月～1968年6月 9年間
II群：1972年1月～1984年12月 13年間
III群：1986年4月～1996年3月 10年間

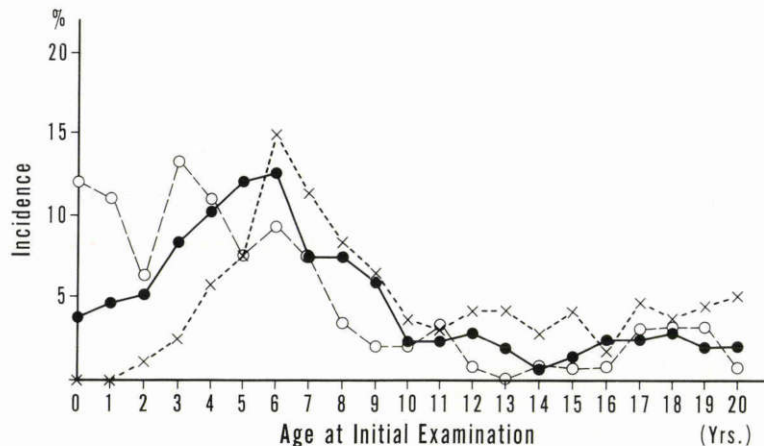


図1 I群, II群, III群における斜視弱視の初診時年齢別頻度。

×---× : July, 1959~June, 1968 ●—● : Jan., 1972~Dec., 1984 ○--○ : Apr., 1986~Mar., 1996

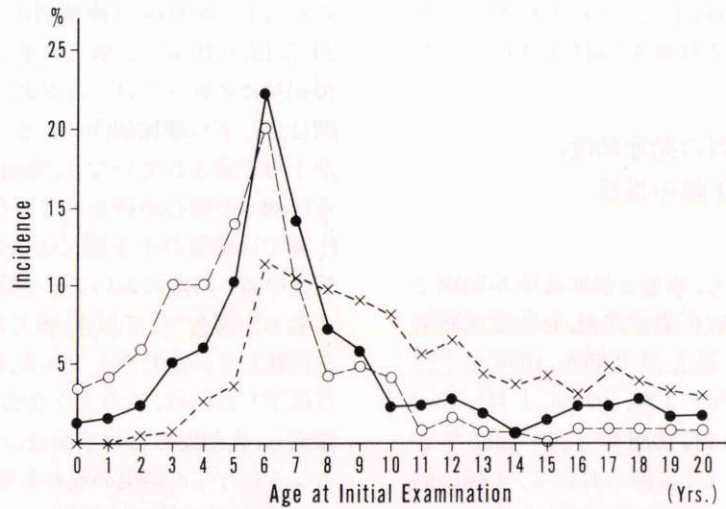


図2 I群, II群, III群における不同視性弱視の初診時年齢別頻度.

×---× : July, 1959~June, 1968 ●—● : Jan., 1972~Dec., 1984 ○--○ : Apr., 1986~Mar., 1996

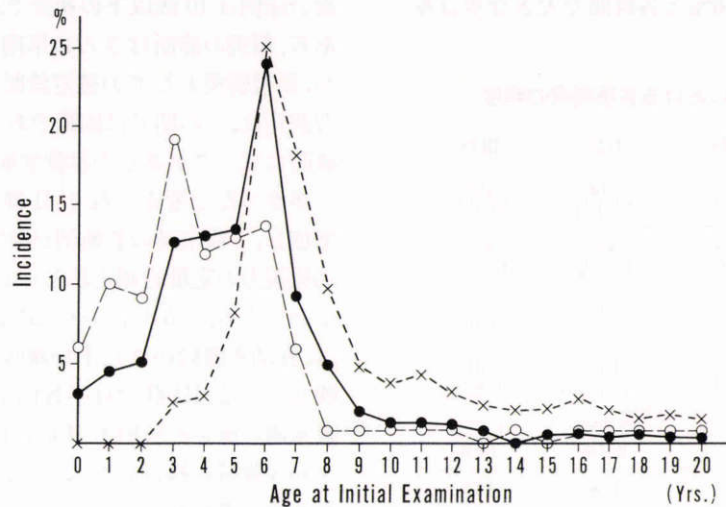


図3 I群, II群, III群における屈折異常性弱視の初診時年齢別頻度.

×---× : July, 1959~June, 1968 ●—● : Jan., 1972~Dec., 1984 ○--○ : Apr., 1986~Mar., 1996

III群では次第に診断の低年齢化が明らかに表れ、1歳未満の診断例も増加がみられるが、ピークが3群とも6歳にみられることは、不同視弱視の発見が困難であることを物語っている。

(3) 屈折異常弱視では(図3), I群に比してII群において4歳以下の診断例が明らかに増加しているが、6歳時にピークがみられることはI群と同様である。III群ではさらに低年齢化がみられ、ピークが3歳時に移行したのは3歳児健診を始め乳幼児の視力の早期検査の効果が表れていると考えられる。

(4) 遮断弱視については(図4), I群では診断基準の不統一によるばらつきがあり、幼児期に発症したが成人になって初めて診断される例も多く、7歳以上の診断例が70%を占めるのに対し、II群では前述のように短期間眼帯装用による症例が就学前検診で発見され、6歳時に

ピークがみられる。III群においては、このような症例が減少し、7歳以上の診断例は10%以下にとどまり、大部分の遮断弱視は先天白内障によるもので、1歳以下の初診例が40%を占めている。

IV 乳幼児の視力の発達

1. 視力の生後発達と読み分け困難

視力は出生時約0.02のレベルを示し、生後正常な視的環境に育てば3歳の終わり頃に1.0に達すると考えられている。これは縞視力や字ひとつ視力によるものである。字づまり視力では、5歳児の平均視力が1.0に達する(図5)、このような両視力の差、すなわち読み分け困難現象は、正常にもみられる幼児視覚の特徴として受け取られており、およそ8歳の終わり頃まで続くと考えられている⁹⁾。

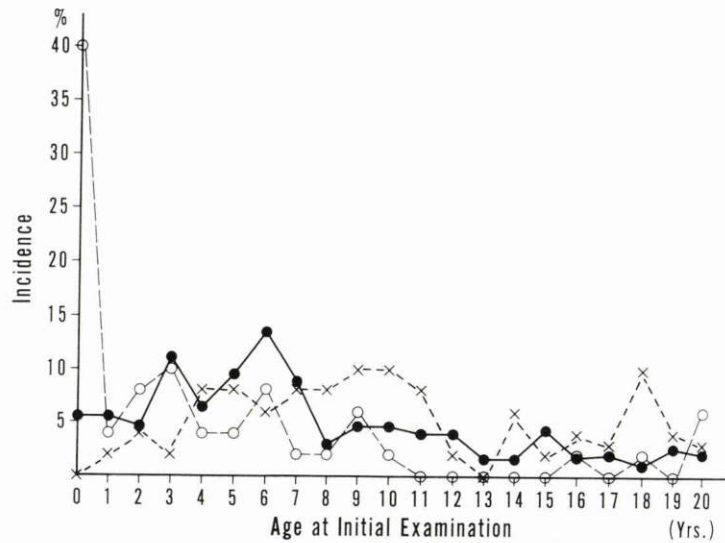


図4 I群, II群, III群における形態覚遮断弱視の初診時年齢別頻度.

×---× : July, 1959~June, 1968 ●-● : Jan., 1972~Dec., 1984 ○-○ : Apr., 1986~Mar., 1996

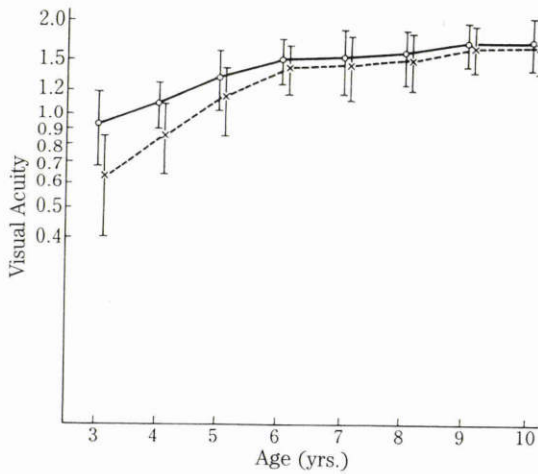


図5 3~10歳の正常者415名(830眼)における字ひとつ視力と字づまり視力の年齢別平均値.

平均値±標準偏差 ○-○ : single Landolt ×
-----× : Linear Landolt

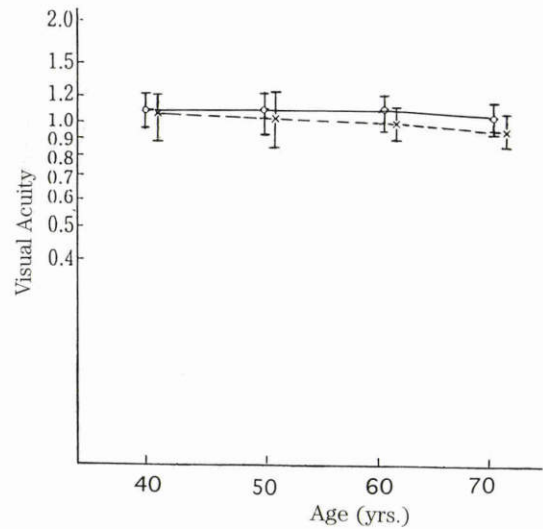


図6 40~78歳の正常者70名(70眼)における字ひとつ視力と字づまり視力の年齢別平均値.

平均値±標準偏差 ○-○ : Single Landolt ×
-----× : Linear Landolt

2. 高齢者にみられる読み分け困難現象

従来幼児視覚の特徴とされていたこの現象は、最近、高齢者に再び認められるという報告もあり、太田ら⁵⁾も手術既往眼、3D以上の屈折異常、および糖尿病患者を除外した検眼鏡的に異常を認めない40~78歳までの70例70眼に対し、ランドルト視標を用いた視力を測定した、字づまり・字ひとつの順に同一矯正で行った。その結果、字づまり・字ひとつの視力差の平均は加齢とともに拡大した。また、年代別読み分け困難現象の出現頻度も高齢者ほど高くなる傾向がみられた。読み分け困難現象は幼児視覚の特徴とされるが、高齢者でも加齢に伴い同現象が著明になることが認められた(図6)。

V 乳幼児の立体視の測定法と生後発達

1. 立体視の測定法

立体視の定量的測定法には数々の方法が用いられているが、言語応答のできない2歳以下の乳幼児には著者が考案したTV-Random Dot Stereo Test⁶⁾が最も適当と考えられる。本法の詳細な記述は割愛するが、TVモニター画面上に現れる立体視図形の左右に交代出現する時間間隔も当初報告した1.2秒を2.4秒に延長して用いることにした。これは、多くの症例に用いた結果、12か月以上の幼児ではこの間隔が1.2秒と2.4秒とで明らかな差はみられなかったが、12か月未満の症例では1.2秒間隔に比して2.4秒間隔の方が明らかに安定した反応を示

したことによるものである⁷⁾。本法は2歳以下の乳幼児に対する定量的立体視測定法としては“false positive”が少なく、最も適していると考えられるが、反面、テレビの画面を十分注視しないための検査不能、“false negative”の症例を少なくする工夫が今後の検討課題と思われる。特に、生後6～7か月から12か月頃までの乳児においてこの傾向が強くなり、視力測定法のPL法においても“operant”法が必要とされる対象月齢児であることと合わせて考えると、TV-Random Dot Stereo Testにもこのような月齢の乳幼児に対して“operant”法の導入も必要であると考えられる。

2歳を越えた幼児ではLang StereotestやLang II Stereotestが適しているが、定量性についてはいずれも3段階のみである。

3歳を過ぎた幼児にはTitmus Stereo Tests(ST)が適していると思われるが、この検査法には“false positive”が多いことを念頭に入れておく必要がある。

2. 立体視の生後発達

ヒトでは、出生時には両眼視機能や立体視は存在しないとされている。生後、前述の正常な視的環境のもとで育ち、各眼の視力がほぼ同じレベルで発達し、著明な不等像視もなく(5～7%以下)、眼位異常がなければ生来の正常対応も維持されて、立体視は生後3～4か月頃から芽生え、約2300”のレベルを合格するようになる⁹⁾。

生後1～2か月から定期的に立体視を測定した10例(先の報告⁹⁾の4例を含む)について検討すると(図7)、2340”に生後3か月で始めて反応を示した3例、生後4か月で始めて合格した3例であるが、1か月間隔での経時的検査では、特に6か月を過ぎると立体視図形の画面に対する注意力が散漫となり、測定値が不安定であった。前述のように“operant”法の開発が必要と思われる。その他の症例の反復検査を行った結果は図7のごとくであるが、定性的には立体視の存在は確実であると考えられる例でも、同一症例の経時的な測定値のばらつきに対してなお改善を要すると思われる。著者らの先の報告⁹⁾においても、3か月児で2例、4か月児の2例が始めて2340”の立体視を示したことを述べた。TV-Random Dot Stereo Testによる測定結果では、月齢6か月毎の平均値は徐々に発達を示し、3歳の終わりには500”のレベルに達するが、この月齢でSTやToegepast Natuurwettenschappelijk Onderzoek(TNO)Stereo Testsを行えば100”より良好な立体を示す例が多い。TV-Random Dot Stereo Testでは、立体視図形が視角19°の範囲を立体視図形が2.4秒の間隔で左右に出現するので、紙面に印刷されて固定しているTitmus Stereo TestsやTNO Stereo Testsに比してこの月齢の幼児にはやや困難である例がある。したがって、言語応答の可能な2歳を越えた幼児にはLang Stereo test、3歳を過ぎた症例にはSTなどがより適当と考えられる。これら種々の立体視検査

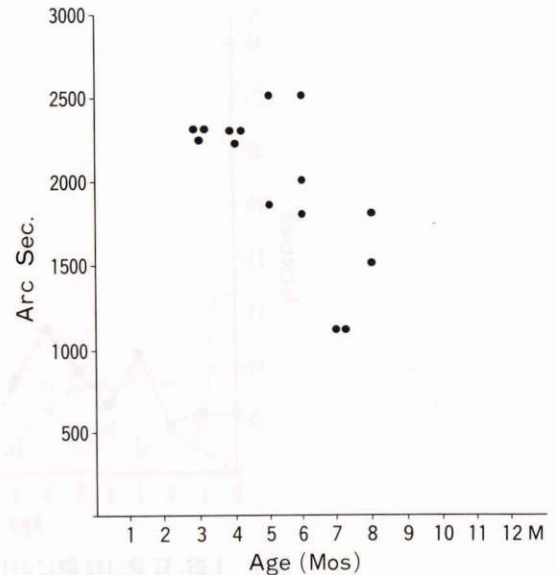


図7 乳児における立体視の芽生え(TV-Random Dot Stereo Testによる)。

法による測定結果を総括すると、正常では3歳の終わり頃には100”～40”のレベルに達する。

幼児の立体視の正常値はおよそ上記のレベルと考えられるが、厳密に定めるのは困難である。STでCircle 9/9(40”)を合格する幼児は少ない。TNO Stereo Testsで15”を合格する例は極めて稀である。Parks⁹⁾が monofixational phoriaの立体視の限界を67”としていることから、Circle 7/9(60”)を合格すれば両中心窩融像による立体視の存在基準と考えてよいが、3歳代の幼児には7/9のCircleは困難な場合がしばしばある。人為的に片眼を完全に遮蔽した単眼視でSTを試みると、Circleを3/9まで“false positive”として正解する例があるので、Circle 4/9より1段良好なCircle 5/9(100”)を合格すれば両眼視による立体視の存在を考慮することができ、この年齢の幼児を対象として行う場合、Circle No.5の100”を立体視の合格基準とすることは妥当と考えられる。

成人で立体視を視差による方法でなく、立体視閾値(stereo threshold)による方法で位相差ハプロスコープを用いて測定すると⁹⁾¹⁰⁾、7”～12”というさらに良好な立体視が得られるが、日常臨床における検査としては方法が複雑であり、一般に成人立体視の正常値は40”(Titmus Circle No.9)～30”(TNO Test No.7)と考えて妥当である。

VI 立体視成立に重要な因子

1. 視力

各眼1.0の視力を有する眼位異常のない正常者の1眼の視力を漸増遮蔽膜で順次視力を低下させて立体視を測定した著者ら¹¹⁾の研究では、1眼の視力1.0に対し、他眼の視力が0.3を越えて低下すると立体視が破られる。また、市松模様のpattern reversal刺激によるvisually

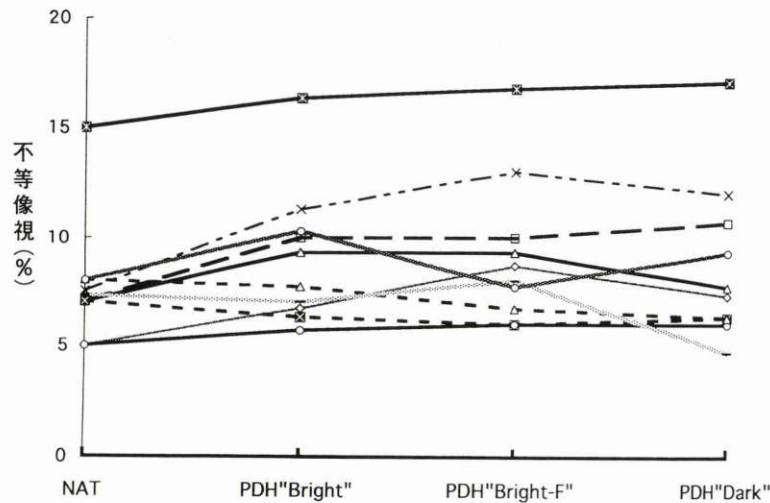


図8 10例の人工的不等像視のNew Aniseikonia Tests (NAT), Phase Difference Haploscope (PDH)による測定結果。

evoked potential (VEP)の振幅は、1眼の視力が0.3を下ると両眼効果がなくなることがわかる。

2. 眼位

顕性の眼位異常が存在すれば当然両中心窩融像ができないため、正常立体視の成立のためには顕性斜視がないことが必要条件となる。

3. 不等像視

不等像視(aniseikonia)が一定の大きさを越えると両眼視、立体視が成立しなくなる。この限界は不等像視の許容限界(aniseikonia tolerance)と呼ばれるが、この値については種々の報告がみられ、一般に5～7%とされている。著者らの研究では、STの40" (Circle No.9)やTNO Stereo Testsの30"の立体視維持には7%、100" (Circle No.5)やTNO Stereo Testsの120"を合格標準とすれば許容限界は12%となる¹²⁾。元来、不等像視は計測方法によって値が多少異なることがある。本邦においても保坂ら¹³⁾、加藤ら¹⁴⁾のSpace Eikonometerによる多くの研究報告がみられる。Space EikonometerはOgle¹⁵⁾によって考案され、Ames, Banonらにより普及された古典的検査であるが、今日、製造もされず、ほとんど用いられていない。現在、主に用いられている検査器は直接比較法のためのPhase Difference Haploscope (PDH)やNew Aniseikonia Tests (NAT)などである。Space EikonometerとNATの方法論の相違を深く論ずることは割愛するが、NATでは、検査環境が自然視に近く、両眼融像がおきやすいので、自然空間における“ocular image”を計測するために値が小さく出る傾向がみられる。これに対して、Space Eikonometerは光学空間の中でより小さく見える像の眼に拡大レンズを装着させて両眼の像が等しくなるような中和法をとっているのので、光学的な“retinal image”, “optical image”を計測することによりNATの値より大きく計測されるものと思われる。McCormackら¹⁶⁾は、NATとSpace Ei-

konometerを同一症例に用いて、前者の測定値が低く出ること、size lensによって正常者に人工的に誘発した不等像視をSpace Eikonometerで測定し、極めて高い一致率をみた述べている。これは、size lensを用いる中和法であるSpace Eikonometerでsize lensによって作った人工的不等像を測定しており、像の拡大を全く同じ方法で相殺している結果となり、一致するのは当然であり、直接比較法によるNATと値が異なるのも当然であると考えられる。

吉田ら¹⁷⁾の報告では、両眼視機能が良好で、矯正視力が1.0以上の近視性屈折異常をもつ成人10名に、右眼をコンタクトレンズ(CL)、左眼を眼鏡レンズによって完全矯正することによって得られた人工的不等像視をPDHとNATを用いて測定、比較検討した。PDHでは、①融像背景の影響を小さくするため暗室で測定(dark)し、②NATと近似した条件下で測定するように明室で両半月間に黒十字を提示した測定(bright)、③融像背景効果を助長するように明室で3cm幅の縦24cm、横31cmの長方形の黒枠の中に両半月像を提示して測定した(bright-F)。NATとPDH-brightでは前者が平均 1.38 ± 1.52 (平均値±標準偏差)%の差で小さい値を示した($p < 0.05$)。しかし、NATとPDHの他の条件下での測定値には有意差はみられなかった(図8)。総括的結論として、NATはPDH-brightでの測定値より平均1.5%小さく計測されるという結果が得られた。

VII 非対称性運動知覚(motion perception asymmetry, MPA)

眼前で動く視標に対する知覚において、ヒトでは生後3～4か月頃までは、耳側から鼻側へ動く視標は、逆に鼻側から耳側へ動く視標に比して速く感じるという運動知覚の非対称性が生理的に存在するといわれている。この現象に対する臨床検査としては、片眼で眼前で耳側から

鼻側へ動く視標に対する滑動性追従運動が滑らかであるが、逆に鼻側から耳側への視標に対する追従運動に滑動性を欠くことにより観察される。このような運動面に表れた非対称性は運動因子が原因でなく、動く視標に対する運動知覚の非対称性による。このことは、このような非対称性追従運動が両眼共同性であるので、遮蔽眼では鼻側から耳側への運動が滑らかで、逆に耳側から鼻側への運動が滑動性を欠くことから理解できる。また、このような滑動性追従運動の非対称性は、前庭・眼反射による眼球運動にはみられないという報告からも理解できるところである¹⁸⁾。出生後、正常乳児にみられるこのような非対称性は、生後3～4か月頃から消失し両方向の追従運動が対称化していくが、この頃から立体視が芽生えることや、逆に立体視が発達しない早期発症の内斜視では、生後何歳になっても上述の非対称性がいつまでも残存していることなど、このMPAが立体視の存在と逆関係にある点において注目を集めている¹⁹⁾²⁰⁾。MPAの有無をelectrooculography (EOG)やsweep visually evoked potential (VEP)などによって解析した報告²¹⁾もみられるが、日常臨床において特に乳幼児に行うことは簡単ではない。Ai-Ho Wangら²²⁾の考案によるPattern Reversal Grating Testは、1/4, 1/2, 1, 2 c/dのreversing gratingsを15 deg/secの速度(apparent drift)で提示し、被験者は片眼でこれを見た時、MPAが存在しない例、すなわち正常者では、reversing gratingsとして縞視標がちらついて見えるのみであるが、MPAが陽性の症例では、この縞模様は耳側から鼻側へ流れるdrifting gratingsとなるため、耳側方向へ衝動性の視運動眼振が出現する。次いで遮蔽を他眼に移動すると、TV画面上の同じreversing gratingsに対してそれまでと逆方向、すなわち、その眼の耳側から鼻側へ流れてみえるので耳側方向への眼振が出現する。したがってMPAの判定には、他覚的には交代固視によって方向が逆転する眼振の有無により、自覚的には縞模様が鼻側へ流れてみえるか否かによって行われる。自覚的応答の不十分な乳幼児では他覚的反応によって十分明確な判定が可能である。

1. 早期発症の内斜視にみられるMPA

発症時期を6か月未満、6～12か月、12～24か月、24か月以後の4群に分けてMPAの陽性率を検討すると(表2)、MPA(+)率は第1群で82.4%、第2群で75.0%、第3群で42.8%、第4群で8.3%となり、発症年齢が高くなるにつれて順次低下している。これらのうち、乳児内斜視として発症が12か月未満の21例と、後天性内斜視と考えられる発症年齢24か月以後の24例でMPA(+)率を比較すると、前者で81.0%、後者で8.3%で高い有意差が認められる($p < 0.0001$)。

2. Duane症候群にみられるMPA

先天性の外眼筋およびその神経支配の異常である本症は、その障害筋や機能異常の種類によりI型、II型、III型

表2 内斜視にみられる非対称性運動知覚—発症時期との関係—

| ET onset | MPA(+) | MPA(-) | Total |
|---------------|--------|--------|-------|
| < 6 M | 14 | 3 | 17 |
| 6 M ≤ < 12 M | 3 | 1 | 4 |
| 12 M ≤ < 24 M | 3 | 4 | 7 |
| 24 ≤ | 2 | 22 | 24 |
| Total | 22 | 30 | 52 |

ET: Esotropia, MPA: motion perception asymmetry

表3 Duane症候群にみられる非対称性運動知覚

Duane's syndrome

| Type | No. Cases | Age (yrs.) | MPA (+) | MPA (-) | Stereo (+) |
|-------|-----------|------------|---------|---------|------------|
| I | 24 | 3—33 | 0 | 24 | 23 |
| II | 9 | 4—45 | 0 | 9 | 6 |
| III | 5 | 11—40 | 0 | 5 | 2 |
| Total | 38 | 3—45 | 0 | 38 | 31 |

に分けられている。最もしばし遭遇するI型では軽度の内斜視を呈することが多いが、軽度の代償性頭位で両眼視を維持していることが多い。I型24例中23例は立体視を維持している。眼筋の異常は先天性でありながら、MPA(+)は1例もみられず、II型、III型のうち立体視の存在しない6例も含めて全例、motion perceptionは正常であった(表3)²³⁾。

3. 外斜視にみられるMPA

発症時期別、顕性、間歇性別の如何を問わず、全例においてMPAは(-)で正常であった(表4)。

4. 種々の眼疾患にみられるMPA

先天性の両眼の外転神経麻痺、顔面神経麻痺、水平注視麻痺を示すMoebius症候群の3例は内斜視がみられ、立体視は(-)でありながら全例、MPAもすべて(-)で正常であった。また、X染色体劣性遺伝の先天性の眼白子症の13例は眼振と中心窩の低形成を示し立体視は全く(-)でありながら、全例MPA(-)を示した。中心窩低形成を示す5例の先天無虹彩症もすべてMPA(-)を示した。さらに、後天性の動眼神経や外転神経の麻痺による麻痺性斜視においても全例MPA(-)であった。また、網膜芽細胞腫その他の疾患で2歳以前に片眼の眼球摘出を受けた5例もすべてMPA(-)であった(表5)。

以上から、生後正常乳児にみられ、立体視の芽生える3～4か月頃に消失するMPAは立体視の発育と深い関係があるといわれているが、立体視の不良な早期発症の内斜視においては年齢の如何を問わずMPAが異常に残存する。しかし、他の範疇に属する疾患では、立体視の有無とは関係なく、motion perceptionは正常であった。したがって、MPA検査の意義は、2歳以後に発症したと考えられる症例においてもMPAが(+)であれば異常であ

表4 外斜視にみられる非対称性運動知覚

| Case | Age | Sex | Diag | Onset | Va | Stereo | MP asymmetry |
|------|------|-----|------------|----------|---------------------|-----------------------|--------------|
| Y. S | 8 Y | F | X(T) | At birth | R)0.5(1.0) L)1.5 | F(+), A(2/3), C(4/9). | (+/-) |
| Y. Y | 12 Y | F | X(T) | 3 M | R)1.0 L)1.0 | F(+), A(2/3), C(5/9). | (-) |
| T. S | 8 Y | M | X(T) | 2 Y | R)1.2 L)1.0 | F(+), A(3/3), C(8/9). | (-) |
| M. K | 5 Y | F | X(T) | 2 Y | R)1.5 L)1.5 | F(+), A(3/3), C(9/9). | (-) |
| I. I | 12 Y | M | XT | 5 Y | R)1.2 L)1.5 | F(+), A(3/3), C(9/9). | (-) |
| A. I | 4 Y | F | Cycl XT | 1 Y | R)1.2 L)1.0 | F(?), A(1/3), C(2/9). | (-) (XT day) |

表5 種々の眼疾患にみられる非対称性運動知覚

| Disease | No. Cases | Age (yrs.) | MPA (+) | MPA (-) | Stereo(+) |
|-----------------------------|-----------|------------|---------|---------|-----------|
| Moebius syndrome | 3 | 18-24 | 0 | 3 | 0 |
| Ocular albinism | 13 | 6-23 | 0 | 13 | 0 |
| Congenital aniridia | 5 | 6-46 | 0 | 5 | 2 |
| Acquired ocular palsy | 10 | 28-72 | 0 | 10 | 10* |
| Early monocular enucleation | 5 | 4-20 | 0 | 5 | 0 |

*: Synoptoscope による

り、早期発症の可能性が高く、立体視の予後は不良であることが予測できる。また逆に、親の訴えによれば早期発症内斜視と思われる症例においてもMPA(-)であれば、早期には偽内斜視や間歇性内斜視であったものが後に恒常化した可能性もあり、術後の両眼視機能の回復の見通しは高く、訓練には努力をすべきである。

VIII 運動立体感(depth from motion, DFM)

通常、我々が論ずる立体視は水平視差による両眼立体視を意味する。前述のごとく、正常者は40"より良好な立体視を有しており、斜視症例に対しても、眼位の矯正とともに両中心窩融像によるこのレベルの立体視獲得を最終目標としている。しかし、このような立体視が獲得されない斜視、主として早期発症の内斜視症例の中には、視物の動きによる遠近感を有する症例がある。眼前で、物が水平に移動、あるいは手前へ接近する、あるいは遠方へ遠ざかる感覚は十分獲得している例はあるようである。物が前述のような動きをする時、各眼網膜上に方向と大きさの異なった種々のベクトルの像が投影される(図9)。例えば、①眼前の視物が正面より左方に動けば各眼網膜上では同じように中心窩より右方向へ像の動きを示す。あるいは、②物が正面を眼前に向かって近づけば、各眼の網膜像は中心窩からそれぞれ耳側網膜上へ動く。逆に、③物が遠くへ遠ざかれば、各眼の網膜像は離反して中心窩から鼻側網膜に向かって移動する。このように、三次元の運動認知に、ネコではクリア・ビショップ野でそれぞれ、

①等距離細胞、②接近細胞、③離反細胞などが従事していると報告²⁴⁾されている。このような運動感覚は、水平視差による立体視がない症例でも存在することがある。このようなDFMの有無を検査する新しい検査法がWang²⁵⁾によって開発された。

このプログラムを用いた佐藤の報告²⁶⁾は次のごとくである。Wangの開発したコンピュータープログラムにより、赤緑眼鏡によって両眼分離されたランダム・ドット図形の4つの窓のうち、3組では両眼図形はともに同方向に移動し、他の1組は互に反対方向への運動を生じる。両眼でみた時、この窓の図形のみ他の3つと異なり、前後に動く運動を感じればDFM(+)となる(図10)。四者択一の図形を10回行い8回の正答を得た者をDFM(+)と判定した。

正常立体視を有する成人10名、種々の斜視角の斜視症例49名の計59名について検討した。

正常立体視を有する10例はすべてDFM(+)であった。また、立体視を有していた斜視11名すべてと、立体視のない38例中24例がDFM(+)を示した。斜視角との関連について眺めると、斜視角は立体視(+),DFM(+)は0、立体視は(-)でもDFM(+)の平均斜視角は6.8 Prism Diopter(PD)、DFM(-)の症例の平均斜視角は7.4 PDで斜視角は小さい症例の方がDFM(+)になりやすい傾向がみられた。

Worth 4 D Test(near)の陽性率はDFM(+)の症例に有意に大きい(p<0.05)。両種の検査の機序には共通の要素が多いと思われる。DFMについては、未だ十分な

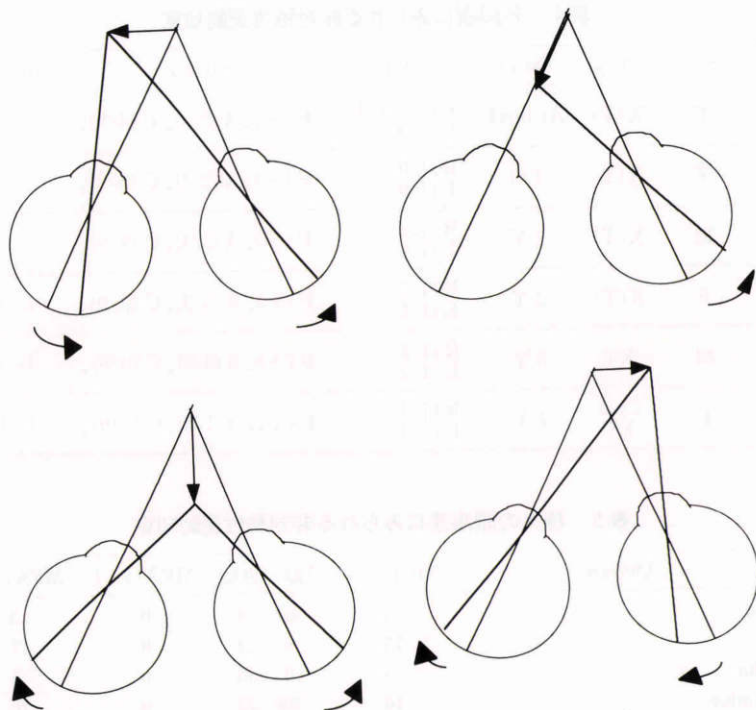


図9 眼前の視物が左右, 前後に移動するとき, 両眼網膜上を移動する像のベクトルの方向と大きさ.

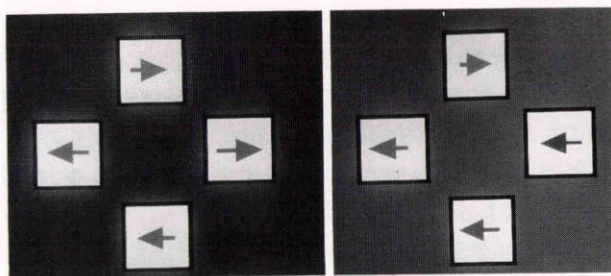


図10 Depth from motion 検査用の両眼分離された視標.
 対応する4組のフレームのうち1組(右横)のみ互いに反対方向に動く. DFM(+)であればこのフレームのみ前後に動いてみえる.

データの集積を得るに至っていないが, 片眼ではDFMが証明されないのが, 通常の立体視がなくとも, DFMを維持するためには, ① 正常網膜対応, ② 斜視角があまり大きくないことが大切であるように考えられる. 調和性であれば対応異常でもよいか否か, 残余斜視角が何プリズム・ディオプター以内なら良いかなど, 生後何歳頃までに手術を行えばよいかなど, 今後検討課題が残されている. DFM(+)と近見 Worth 4-D(+)との関係が深いように思われるが1眼抑制を示さず, 両眼が何らかの形で両眼視に関与していることは必須である. さらにまた, 生後何歳頃までに手術を行い, 一定の残余斜視角以内におさめておくかということも今後の課題である.

IX Virtual reality (VR) 装置を用いたヒトの姿勢制御解析

正常両眼視機能を有する症例に head mounted display により正弦波状に前後に移動する random dot pattern の三次元運動刺激を提示し, 両眼視させると, 視標と逆方向への自己運動感覚 (vection) や同方向への身体傾斜や身体動揺が生じ, これらを身体各部に装着した反射板を (CCD) カメラで記録したり, 頸部, 背部, 腰部の各拮抗筋の表面筋電図などで他覚的に記録した²⁷⁾. 早期発症の斜視症例で, 立体視を獲得していなくとも DFM の陽性者が, VR 装置でこのような vection やその他の身体反応の有無との関係を検討することは, 自然視のもとの DFM の意味を知るために大切であると思われる.

X Checkerboard pattern stimulator (CPS) による立体視の治療 —その後の発展—

顕性斜視が存在する状態で両中心窩に同時に同質刺激を与える方法としては, 大型弱視鏡を用いるか, 他覚的斜視角を中和する量のプリズムを装用する方法がとられてきたが, この方法は2歳以下の乳幼児には実行困難である. 著者は²⁸⁾²⁹⁾, 1978年, 両中心窩に同質刺激を与える方法として CPS を考案した (図11). これは, 眼前7.5 cm の距離に視角約1°大の白黒の市松模様を提示し, 背後から点滅照明を与える. これを両眼で注視すれば, 水平斜視や上下斜視があっても各中心窩には同質の市松模様が投影される可能性が大きいことを予想して開発したもので

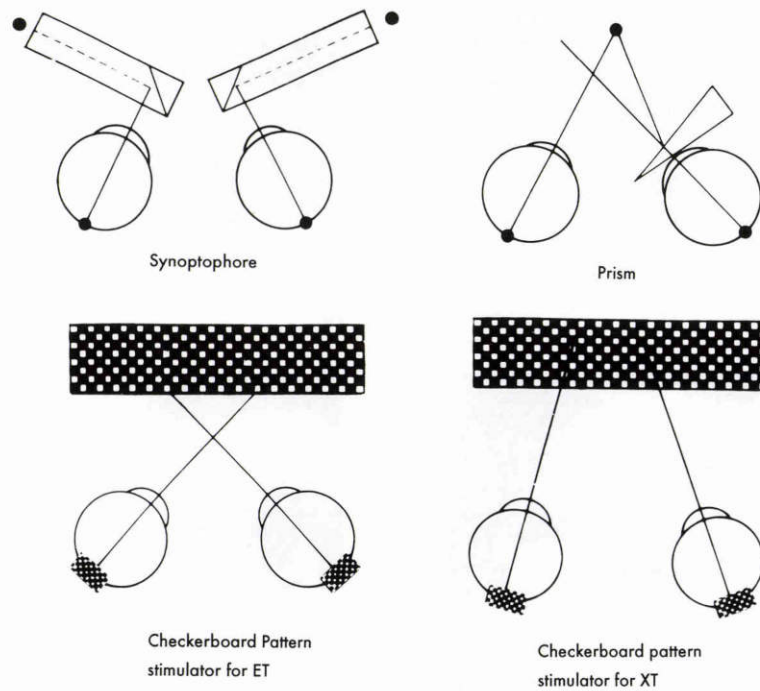


図11 Checkerboard pattern stimulator の作用機序.

ある。

正常両眼視のある被験者に checksize 1° の pattern reversal checkerboard pattern を視覚刺激として両眼視と片眼遮蔽して単眼視の VEP を記録すると、前者の振幅は大きく明らかに binocular effect が認められる。CPS の作用機序に対する種々の考察はすでに報告²⁶⁾した。

1. 術前術後に CPS を施行した乳児内斜視の 1 例

症 例：HM, 1 歳 10 か月, 女兒.

発 症：7 か月.

視 力：右眼 0.1, 左眼 0.1.

屈 折：(両)軽度遠視.

眼 位：内斜視 50 Δ, 交代固視.

CPS：無効.

手 術：2 歳 右内直筋 5 mm 後転
右外直筋 7 mm 短縮

経 過：

8 歳：視力・右眼(1.0), 左眼(1.0)
立体視(-)

眼位：残余内斜視 5 Δ,
網膜対応：正常(残像検査)

14 歳：視力, 眼位良好, 立体視(-)
MPA(+)

18 歳：視力良好, 立体視(-)
近見眼位：左上斜視 3 Δ
遠見眼位：左上斜視 5 Δ, 交代性上斜視
網膜対応：正常(残像検査)
Worth 4-D Test(近見)正常
MPA(+), DFM(+)

発症が生後約 7 か月, 初診時視力は各眼 0.1, 交代固視, 50 Δ の内斜を示す 1 歳 10 か月の女兒. 前述の CPS の訓練を 1 回 10 分, 1 日に 2 回手術前に両中心窩刺激を行い, 24 か月時に右眼の内直筋 5 mm 後転術, 外直筋の 7 mm 短縮術を施行し, 極めて軽度の(5 Δ)を残したが, 交代固視良好で CPS による両中心窩刺激訓練を行ったが立体視の改善は得られなかった(図 12). 8 歳時, 各眼視力 1.0, 残像検査により正常対応を示したが立体視(-)であった. 14 歳時の検査において矯正視力 1.0 残余斜視も増加せず良好な眼位を維持しているが, 立体視は不良である. この時期に, 先に述べた motion perception asymmetry が陽性を示し, 立体視の不良, 回復の困難性は当然のことと考え, 年 1 回の経過観察を行った. 18 歳時においても各眼良好な矯正視力を示し, 眼位は上斜視を 3 Δ~5 Δを示すのみで残像検査は正常対応で MPA(+)であり, 乳児内斜視の常として立体視は(-)であった. しかし, この時点で前述の DFM の検査は(+)を示し, また, DFM(+)近見での Worth 4-D テストが(+)であった(図 13).

この症例のように, normal retinal correspondence (NRC) で各眼の視力が良好であり, MPA は(+)で立体視の回復は不可能であることは理解できるが, 2 歳時における 1 眼の手術後 16 年間, 良好な眼位を維持させて来た因子は何であるかは非常に興味があるところである. ここで, DFM が(+)を示したことは, 通常の立体視は成立していなくても, DFM により両眼視の関与が存在し, これによって良好な眼位を維持できた可能性も高いと考えられる. 今後, 術前術後の CPS 訓練による DFM の改善, 維持との関係, また DFM の存在が良好な眼位の維持

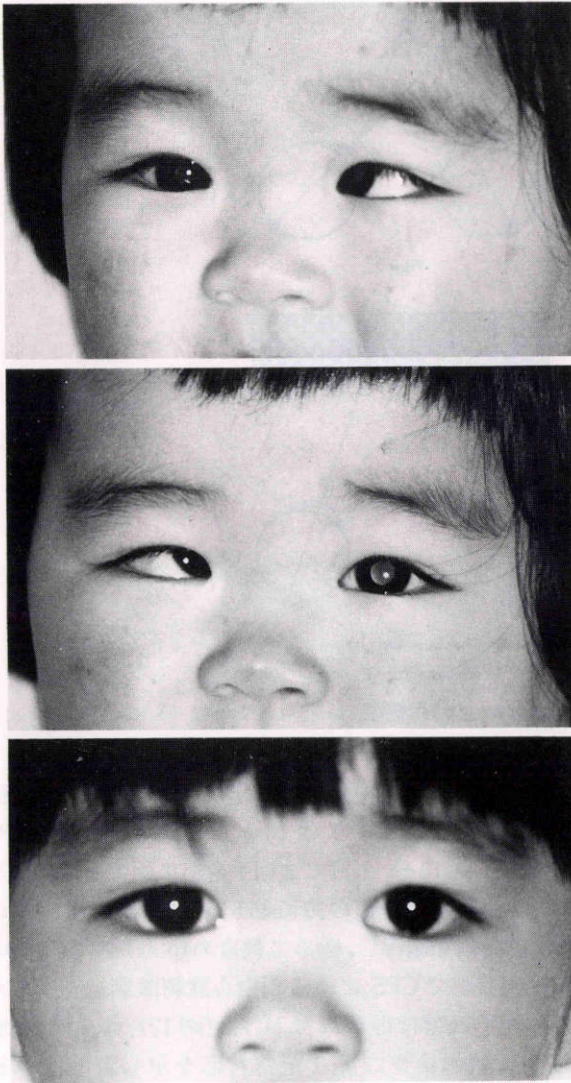


図12 乳児内斜視(HM, 女児).

上：右眼固視，中：左眼固視，下：右眼内直筋 5 mm 後転，外直筋 7 mm 短縮術後

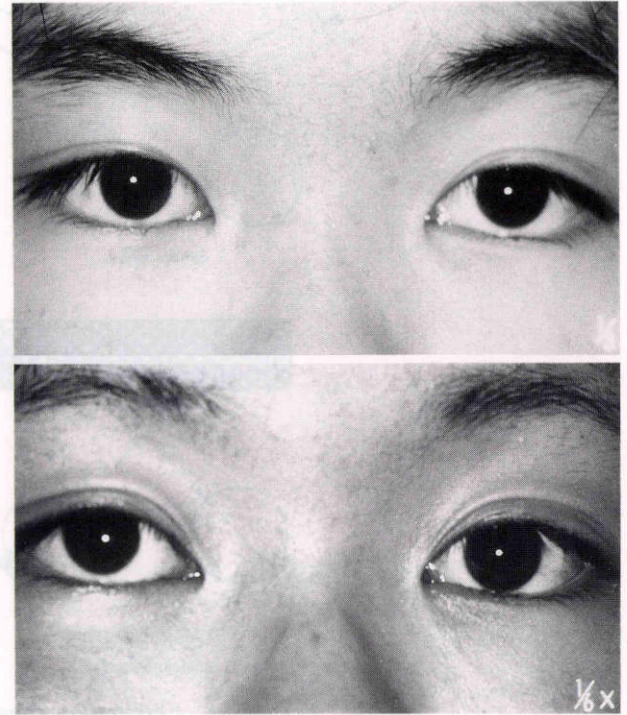


図13 上：同症例の術後 12 年(14 歳). 下：同症例の術後 16 年(18 歳)

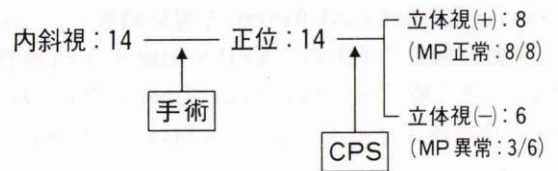


図14 後天性内斜視に対する checkerboard pattern stimulator の反応.

CPS: Checkerboard pattern stimulator, MP: Motion perception

に關与する機序の解明が必要であると考えらる。

2. 種々の斜視に対する CPS の作用

1) 後天性内斜視に対する CPS

14 例の後天性内斜視の術前，術後に 1 日 2～3 回(1 回 10 分間)の CPS 刺激を与え，全例手術によって正位化が得られ，うち 8 例は立体視を完全に獲得した。これらの 8 例は全例 MPA(-)で正常であった。立体視の得られなかった 6 例中 3 例は MPA が異常，すなわち MPA (+)であり，後天性発症と思われたこれらの症例は，MPA の反応から考えると早期発症の内斜視の可能性もあり，立体視回復の可能性は少ないと考えられる(図 14)。このように，手術による眼位矯正の後にも，両中心窩刺激として CPS は理にかなった刺激訓練であると考えらる。

2) 恒常性外斜視に対する CPS

CPS が恒常性外斜視の術後の立体視の回復に有効であることは先に報告²⁾³⁰⁾した。その要旨をまとめると，36

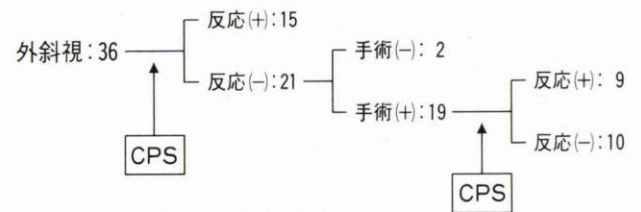


図15 恒常性外斜視に対する checkerboard pattern stimulator の反応

CPS: Checkerboard pattern stimulator

例の恒常性外斜視に対し，CPS のみで 15 例が間歇性外斜視に戻り，近見で立体視を獲得した。反応を示さなかった 21 例中 19 例に手術を施行し，術後 CPS の訓練を行い 9 例に近見融像と立体視を得た。残り 10 例は未だ融像を示すに至らなかった(図 15)。約 30 年来恒常性外斜視を示した 51 歳女性の症例の手術，CPS，眼位などの経過を示す。

A.1. 6歳 女児

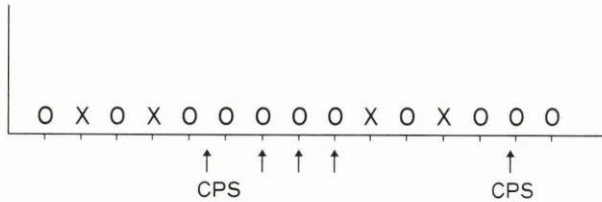


図16 隔日性外斜視の周期性に対する checkerboard pattern stimulator の反応.

○：正位，×：外斜視 CPS：Checkerboard pattern stimulator

3) 融日性外斜視に対する CPS

融日性外斜視は融日性内斜視に比して極めて稀であるが、正位の日と外斜視の日が融日に繰り返され、外斜視の日は顕性外斜視で、全く両眼融像を示さない点が間歇性外斜視とは別の疾患である³¹⁾。

症 例：AI, 3歳1か月。

発 症：1歳。

視 力：右眼 1.0。

左眼 1.0。

正位の日：眼位：正位

立体視：Titmus Stereo Tests 40 Arc Sec.

斜視の日：近見眼位：外斜視 30 △

遠見眼位：外斜視 35 △

立体視：(-)

このような融日性周期が明確な1例に対して、斜視の日の朝、CPSによる両中心窩刺激を与えると融像が起こり、その日は正位の日となる。翌日CPSを行わなければ斜視の日となり周期が再現するので、毎朝CPSを行うことにより、毎日正位を保つことができた。1例のみの試みであり普遍性については未知であろうが、CPSが顕性偏位のある外斜視に対して、両中心窩に同質刺激を与えることによって、抑制が除去されと既存の感覚融像が励起され、運動融像を呈する機序は、恒常性においても融日性においても同様であると考えられる(図16)。

3. CPSの輻湊に及ぼす影響について

VEPによって顕性眼位異常に対して、両中心窩刺激による binocular effect の存在が証明されたごとく、CPSは両中心窩刺激、抗抑制作用により感覚融像を引き起こすと考えられる。しかし、CPSが外斜視の正位化に有効であることに関して、輻湊の刺激、誘発の有無を検討した。

平岩ら³²⁾の報告のごとく、正位、外斜位、内斜位の各5例に対してCPS刺激を5分間続け、この間の眼位を連続記録した。正位の5例はすべて軽度の外斜偏位を示し、外斜位の5例もすべて外斜偏位を示したことは、運動面の安静眼位を示しつつも感覚融像が保たれていたと考えられる。内斜位の5例のうち1例は軽度の内斜偏位を示

したが、他の4例は外斜偏位を示した。このことは、運動面では内斜位を示しながら、感覚面で融像除去眼位においては安静眼位として外斜偏位となっていることを示している(図17)。

4. CPSの作用機序に対する考察

以上のことから、CPS訓練は輻湊訓練の作用はなく、1°大の checkerboard pattern が眼位の如何を問わず、感覚面で両中心窩を同質図形で刺激することによる両中心窩融像を誘発し、抑制を除去し、次いで日常空間において運動性融像を惹起するものと考えられる。すなわち、2歳頃までに両眼視が発達し、その後、眼位異常の出現と相携えて1眼が抑制されたと考えられる恒常性外斜視、融日性外斜視および後天性内斜視などではCPSが抑制除去に有効と考えられるが、乳児内斜視などのごとく、1歳前から未だ発達していない両眼視の発育刺激としては、強力に長時間持続しないと有効でないと考えられる。例えば、乳児内斜視の症例の臥位時に1°大の checkerboard pattern dome を以て顔面を覆ったり、外来診察室の壁、床、天井の全面をこのような checkerboard pattern にした訓練室を作るなどにより、如何に長時間、この刺激を与えるかが大きな因子となると思われる。

XI 結 語

(1) 弱視の定義、分類、診断基準を述べた。

(2) 斜視弱視、不同視弱視、屈折異常弱視、形態覚遮断弱視について、1959～1996年までを3期に分けて、発症頻度、初診時年齢などの推移を検討した。

(3) 乳幼児の立体視(TV-Random Dot Stereo Testによる)は生後3～4か月頃から芽生える(約2500 arc sec.)。

(4) 「読み分け困難」は視覚の未発達な幼若視覚の特徴とされているが、加齢とともに再びみられることを述べた。

(5) 立体視成立のための各眼の視力差(1.0:0.3)、不等像視の許容限界(5～7%)について述べた。

(6) MPAは早期発症内斜視とは深い関係がみられたが、他の型の斜視や立体視との関係は、今後さらに検討を要する。

(7) DFMは「立体視」のない斜視症例の一部に認められ、網膜対応やWorth-4 D Test(近見)との関係が深いと考えられる。

(8) 両中心窩同質刺激を与えるCPSは、斜視症例に対して立体視や運動立体感の再生、維持に有効である。

(9) 弱視・斜視診療の最終目標である視力改善はほとんどの症例で得られるが、立体視の改善には、なお難解な問題が残されている。CPSなどを中心に、立体視や運動立体感の獲得に努める。

ヒトは生後、正常な視的環境に育つと生後4か月頃からMPAは対称化して正常なMotion Perception(MP)

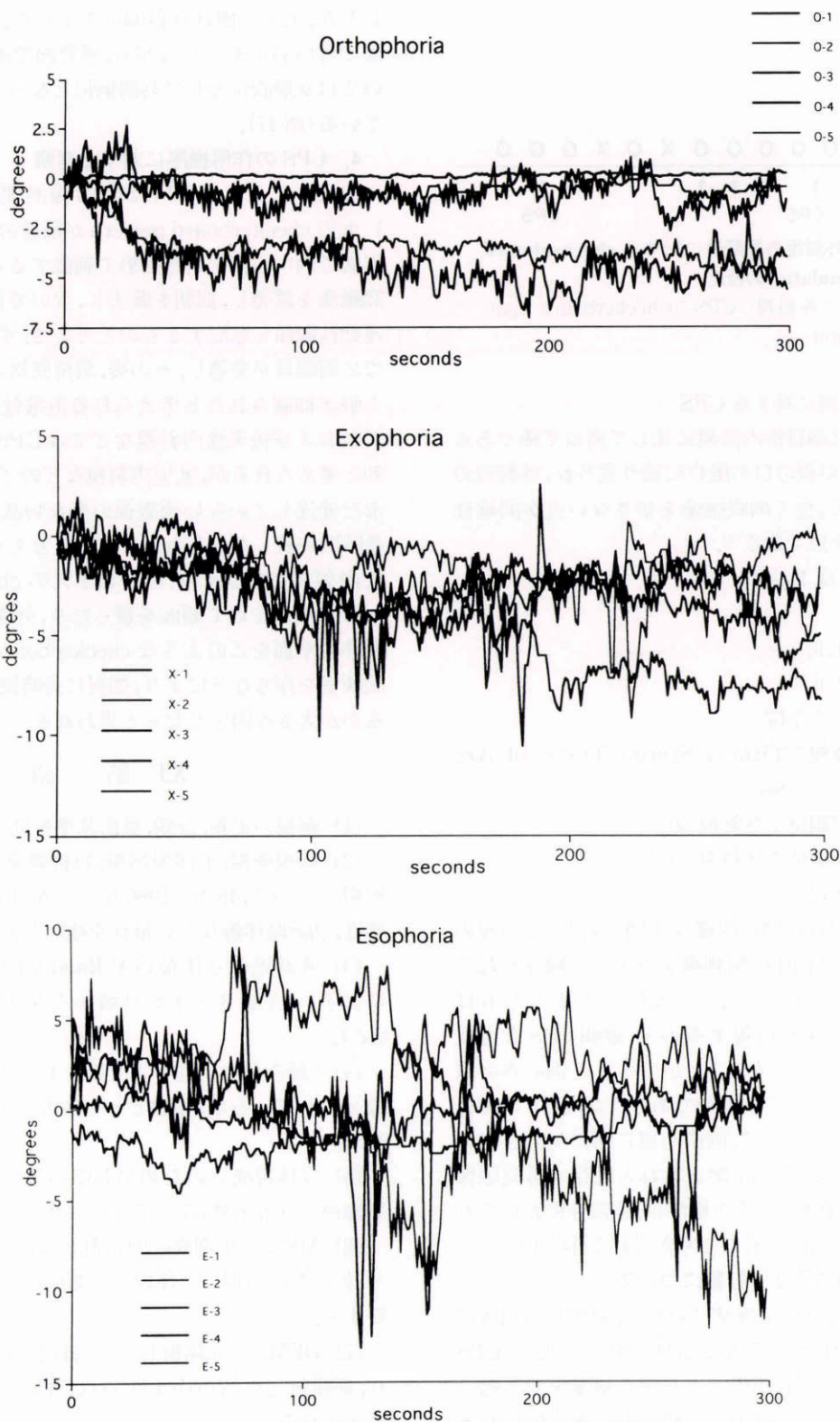


図 17 Checkerboard pattern stimulator 注視中の眼位.

上：正位 5 名，中：外斜位 5 名，下：内斜位 5 名
縦軸正の値は内斜偏位，負の値は外斜偏位を示す。

を得て成長し、正常な視力、立体視、運動立体感を体得する。しかし、異常な視的環境に育った弱視や斜視に対して、適切な屈折矯正や健眼遮蔽を行い、眼位異常に対しては可及的早期に手術的矯正を行う。今日、弱視、斜視に対

して視力の改善は十分得られるが、なお未解決な両眼視、立体視の異常に対して、さらに CPS による両中心窩融像を強力に長時間行い、正常立体視の獲得を目指して努力し、十分な立体視が得られない症例においても、運動立

体感を育成し、日常視における両眼の関与をうながすことにより運動立体感の維持とそれによる良好な眼位の維持を助長したいと考える。

終わりに、特別講演の機会を与えていただきました日本眼科学会評議員の諸先生に厚くお礼申し上げます。また、本研究の機会を与えていただき、種々御指導下さいました恩師、故小嶋 克名古屋大学名誉教授、市川 宏名古屋大学名誉教授、ならびに研究に協力いただいた当大学眼科学教室員一同、さらに、日本弱視斜視学会、愛知県総合保健センター視力診断部および、愛知県眼科医会の諸先生に心から感謝いたします。

文 献

- 1) **Bangerter A**: Amblyopiebehandlung. 2. Auflage, Karger, Basel, 1955.
- 2) **粟屋 忍**: 形態覚遮断弱視. 日眼会誌 91: 519—544, 1987.
- 3) **Awaya S, Miyake Y, Imaizumi Y, Shiose Y, Kondo T, Komuro K**: Amblyopia in man, suggestive of stimulus deprivation amblyopia. Jpn J Ophthalmol 17: 69—82, 1973.
- 4) **菅原美雪, 粟屋 忍, 大石文恵, 矢ヶ崎悌司, 平井陽子**: 幼児視力の読み分け困難からみた弱視の感受性期間の検討. 眼紀 35: 1257—1262, 1984.
- 5) **太田啓雄, 粟屋 忍**: 加齢と読み分け困難. 第101回日眼総会発表. 京都. 5月16日, 1997.
- 6) **粟屋 忍**: 乳幼児の立体視の発達とその検査法. 眼紀 40: 1—8, 1989.
- 7) **水上寧彦, 粟屋 忍, 小泉恵里子, 神谷あゆみ**: 新しいTV-random dot stereo testによる乳幼児の立体視の研究. 眼紀 38: 1182—1186, 1987.
- 8) **Parks MM**: Stereo acuity as an indicator of bifixation. In: Arruga A (Ed). Transactions of International Strabismus Symposium (Giessen, 1966). Basel and New York, S Karger 258—262, 1968.
- 9) **Aulhorn E**: Phasendifferenz-Haploskopie. Eine neue Methode zur Trennung der Optischen Eindrücke beider Augen. Klin Mbl Augenheilk 148: 540—544, 1966.
- 10) **菅原美雪, 粟屋 忍**: Phase difference haploscope (Aulhorn)を用いたstereothreshold計測によるstereoacuityの研究. 日眼会誌 86: 64—70, 1982.
- 11) **平井陽子, 粟屋 忍**: 視力と立体視の研究. 眼紀 36: 1524—1531, 1985.
- 12) **磯村悠宇子, 粟屋 忍**: Aniseikoniaと両眼融像に関する研究. 日眼会誌 84: 1619—1628, 1980.
- 13) **保坂明郎**: 不同視の研究. 日眼会誌 70: 803—809, 1966.
- 14) **加藤桂一郎**: 不等像視の両眼視に及ぼす影響—特に深径覚との関連について—. 日眼会誌 72: 1415—1428, 1968.
- 15) **Ogle KN, Burian HM, Bannan RE**: On the correction of unilateral aphakia with contact lenses. Arch Ophthalmol 59: 639—652, 1958.
- 16) **McCormack G, Peli E, Stone, P**: Differences in tests of aniseikonia. Invest Ophthalmol Vis Sci 33: 2063—2067, 1992.
- 17) **吉田正和, 佐藤美保, 粟屋 忍**: New Aniseikonia Testsの有用性の再評価. 日眼会誌 101: 718—722, 1997.
- 18) **Tychsen L, Hurtig RR, Scott WE**: Pursuit is impaired but the vestibulo-ocular reflex is normal in infantile strabismus. Arch Ophthalmol 103: 536—539, 1985.
- 19) **Tychsen L**: Binocular vision. In: Hart WM (Ed): Adler's Physiology of the Eye. 9th Ed., 773—853, CV Mosby, St Louis, 1992.
- 20) **宇野幸子, 粟屋 忍, 矢ヶ崎悌司, 鈴木祐子**: 内斜視の発症時期とmotion perception asymmetry. 日眼会誌 98: 臨時増刊号 166, 1994.
- 21) **Norcia AM, Humphry R, Garcia H, Holmes A**: Anomalous motion VEPs in infantile esotropia. Invest Ophthalmol Vis Sci 30 (Suppl): 327, 1989.
- 22) **Wang AH, Norcia AM, Jampolsky A**: Reversing grating as a simple clinical method to test the symmetry of motion perception and potential binocularity. Invest Ophthalmol Vis Sci 29: 327—329, 1992.
- 23) **Awaya S, Suzuki Y, Hirai T**: Motion perception tested with reversing grating in Duane's syndrome. In: Louly M (Ed): Transactions of the VIIIth International Orthoptic Congress 213—216, 1995.
- 24) **Kitaoji H, Toyama K**: Preservation of position and motion stereopsis in strabismic subjects. Invest Ophthalmol Vis Sci 28: 1260—1267, 1987.
- 25) **Wang AH**: Binocular depth-from-motion vs. depth-from-disparity (stereopsis) of strabismic patients. Invest Ophthalmol Vis Sci 37: S 280, 1996.
- 26) **佐藤美保, 前田真奈美, 大村智寿, 粟屋 忍**: 運動立体感(depth-from-motion)テストの臨床応用. 日眼会誌 101: 臨時増刊号 186, 1997.
- 27) **川北哲也, 久野慎介, 川北 治, 三宅養三, 粟屋 忍, 渡辺 悟**: パーチャルリアリティ装置による視覚刺激とヒトの姿勢制御. 第11回国際眼研究学会日本部会発表(東京)9月6日, 1997.
- 28) **粟屋 忍**: 乳児内斜視の治療に対する考察—試作checkerboard pattern点滅刺激装置について—. 眼科 20: 759—763, 1978.
- 29) **粟屋 忍, 菅原美雪, 三宅三平**: Checkerboard pattern点滅刺激装置による抗抑制効果—恒常性外斜視及び間歇外斜視—. 日眼会誌 86: 264—268, 1982.
- 30) **稲垣恭子, 粟屋 忍, 矢ヶ崎悌司, 佐藤美保**: 外斜視の両眼視機能に対するcheckerboard pattern点滅刺激装置の効果. 眼紀 44: 825—831, 1993.
- 31) **安部理恵, 粟屋 忍, 矢ヶ崎悌司, 野崎尚志, 永津和子**: 隔日性外斜視の2症例. 眼紀 44: 1439—1443, 1993.
- 32) **平岩薫子, 佐藤美保, 粟屋 忍**: Checkerboard pattern点滅刺激装置の作用機序の検討. 日眼会誌 101: 臨時増刊号 184, 1997.