

# 両眼視の病理と眼科診療

長谷部 聡

## Pathology of Binocular Vision and Clinical Ophthalmology

Satoshi HASEBE

To survey functions and mechanism of binocular vision from a pathological view point, diseases that degrade binocular vision and their clinical management are briefly described. Strabismus or limitation of eye movements usually induces diplopia (double vision). The diplopia disappears with time by way of sensory adaptation such as suppression of visual information from the deviated eye or abnormal retinal correspondence, but stereopsis is lost even in these cases. Strabismus surgery correcting misalignment of the eyes can reestablish binocular vision. However, high-grade stereopsis can not be achieved in patients with congenital strabismus who grow up without an experience of binocular single vision during the critical period for stereopsis. Another type disorder of binocular vision is distortion of 3D spatial localization, which sometimes appears in patients with cyclo-torsional strabismus or in correcting astigmatism with cylindrical lenses.

**Key words:** binocular vision, stereopsis, strabismus, ophthalmology

眼科の中でも筆者は、斜視 (strabismus)、眼球運動障害、弱視 (amblyopia) など、両眼視に異常を来す疾患の診療に携わっている。本稿では、筆者が日ごろ取り扱っている疾患や治療の概要を解説する (詳細は成書<sup>1-3)</sup>を参照)。現象を生理の面だけではなく、病理の面から俯瞰することで、両眼視の働きや仕組みについて理解を深める何らかのヒントになれば幸いである。

### 1. 斜視の分類と治療

斜視は両眼の視線にずれ (眼位ずれ) があるため、両眼視機能を発揮できない眼科疾患である。斜視の有病率は、報告により差があるが、人口の1~4%といわれている。斜視はすべての年齢層にみられ、年齢を問わず治療の対象となる。視力や立体視の発達過程にある乳幼・小児期、さらに、視覚的な負担が増え、両眼視機能上の、または容貌上のハンディキャップが問題となる思春期においては重要視すべき疾患である。また、加齢とともに、脳血管障害、

脳神経麻痺、外傷などによる後天性斜視の頻度が増加する。

斜視と一言でいっても30を超える疾患が含まれ (表1)、病因、病態、治療法、治療時期が異なる。病態を理解するうえで、次のような分類を念頭に置くとよい。

#### 1.1 眼位ずれの方向による分類 (表1, 図1)

外斜視, 内斜視, 上下斜視, 回旋斜視 (視軸を軸とした眼球のねじれ) に分類できる。臨床的には、これらの要素のうち複数を示す症例も多い。

#### 1.2 眼位ずれの変動の有無による分類 (表1)

注視方向によらず眼位ずれの大きさがほぼ一定の斜視を、共同性斜視 (comitant strabismus) とよぶ。一方、注視方向により眼位ずれの大きさが変動する斜視を、非共同性斜視 (noncomitant-, incomitant strabismus) とよぶ。小児期にみられる内・外斜視の多くは共同性斜視に属し、多くの場合、原因不明である。左右いずれか一眼 (優位眼) で固視し、反対眼は偏位眼になる。しかし、必ずしも

表1 おもな斜視疾患と分類.

	内斜視	外斜視	上下回旋斜視
共同性斜視	乳児内斜視 後天性内斜視 急性内斜視 開散不全 輻輳痙攣 術後内斜視 調節性内斜視 部分調節性内斜視 眼振抑制症候群 隔日性内斜視 微小斜視 感覚性斜視 固定内斜視	恒常性外斜視 間欠性外斜視 術後外斜視 輻輳麻痺 代償不全性外斜位 斜位近視 感覚性斜視	
非共同性斜視	外転神経麻痺 Duane 症候群 進行性核上麻痺	動眼神経麻痺 Duane 症候群	動眼神経麻痺 先天性上斜筋麻痺 滑車神経麻痺 眼窩吹き抜け骨折 筋無力症 甲状腺眼症 下斜筋過動症 double elevator 麻痺 Brown 症候群 交代性上斜位

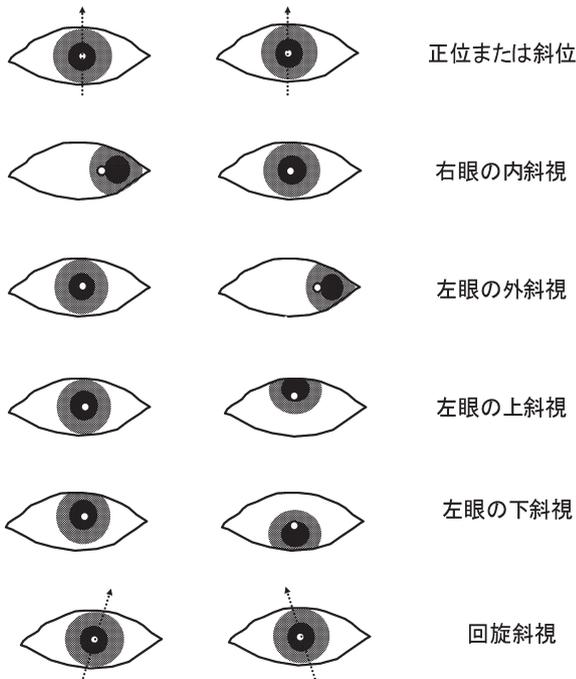


図1 眼位ずれの方向による斜視の分類.

偏位眼が罹患眼というわけではない。

一方、外眼筋麻痺（動眼神経、外転神経、滑車神経や筋無力症）、神経の異常連合運動（Duane 症候群）、鈍的打撲による吹き抜け骨折など機械的眼球運動制限は、非共同性斜視の代表である。非共同性斜視では、罹患筋を特定で

きる場合が多い。また通常、罹患（麻痺）筋の作用方向で眼位ずれが最大になるため、患者は無意識にこの注視方向を避けるような、代償性頭位異常を示す。

斜視を矯正する現時点で最も確実な治療法は、外眼筋手術である。眼球には6本の外眼筋（内直筋、外直筋、上直筋、下直筋、上斜筋、下斜筋）が付着しており、視線を任意の方向に向けることができる（図2）。この構造により回旋運動を含む3軸の眼球運動が可能になるが、自発的にコントロールできるのはこのうち水平・垂直眼球運動にほぼ限られる。手術は、任意の外眼筋の付着部を、いったん眼球強膜から切り離し、経験的に確立された術量-矯正効果のテーブル（°/mmまたはprism diopters/mm）に基づいて、適切な位置に縫合糸で再固定することによって達成される。原則的には、矯正効果は注視方向によらず一定であるため、非共同性斜視では、正面位における眼位ずれの矯正のみにとどまる場合も少なくない。

### 1.3 斜視が恒常性か間欠性かによる分類

健常者であっても、潜在的に小角度（ $<5^\circ$ ）の眼位ずれがみられることは少なくない。しかし、両眼開放下（日常視）においては、こうした眼位ずれ（tonic vergence）は融像性の輻輳・開散運動（fusional vergence eye movement）により補正されている。この状態は斜位（heterophoria）とよばれ、通常、治療が不要である。

しかし、眼位ずれの大きさには個人差があり、眼位ずれ

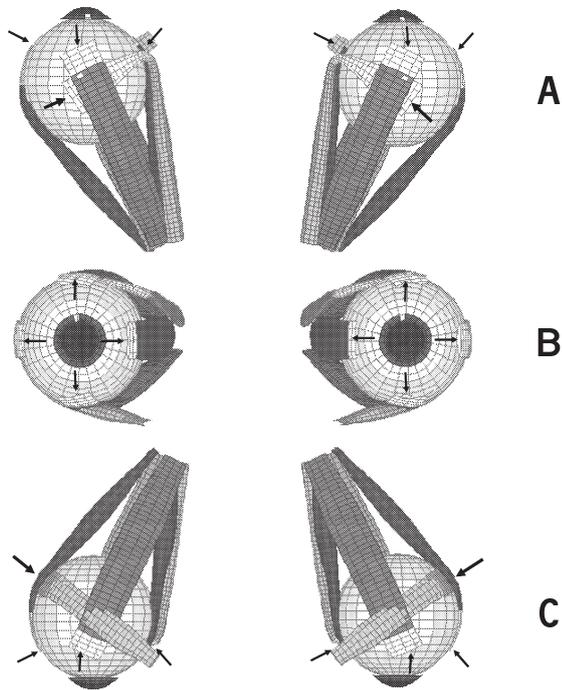


図2 上方 (A), 正面 (B), 下方 (C) から見た外眼筋の構造. 矢印は各外眼筋の附着部を示す (Orbit 1.8, Eidactics で作図).

が  $2\sim 10^\circ$  を超すと、融像力による代償が困難になり、眼位ずれは顕在化し、斜視 (heterotropia) となる。逆に、眼位ずれが比較的小さくても、融像力が不良である場合、眼位ずれが顕性化する場合もある (微小斜視)。両眼視機能が発揮できなくなるので、治療が必要になることが多い。

また、眼位ずれの大きさと融像力が拮抗するとき、視距離や、集中力の度合いによって斜視が間欠的にみられる場合がある (間欠性斜視, 代償不全性斜位)。この場合、不安定な両眼視機能とともに眼精疲労や複視などの代償不全症状がみられることが特徴で、治療の対象になる。

## 2. 斜視患者のハンディキャップ

斜視患者は、2種類のハンディキャップをもつ。両眼視の障害と、容貌上の問題である。両眼視とは一般的には、両眼の網膜上に投影された二次元画像情報をもとに、その差分を抽出することで、奥行き情報を含む外界の精巧なコピーを脳内に構築する仕組みと解釈できる。精巧な外界コピーを基準に、われわれは外界に対して高度な身体的作業能力を発揮させることができるのである。ただし、両眼視機能の欠如した斜視患者に奥行き感覚がないわけではなく、遠近法、パララックス、きめの細かさ、陰影など、片眼性奥行き情報を利用することで、(普通自動車の運転を

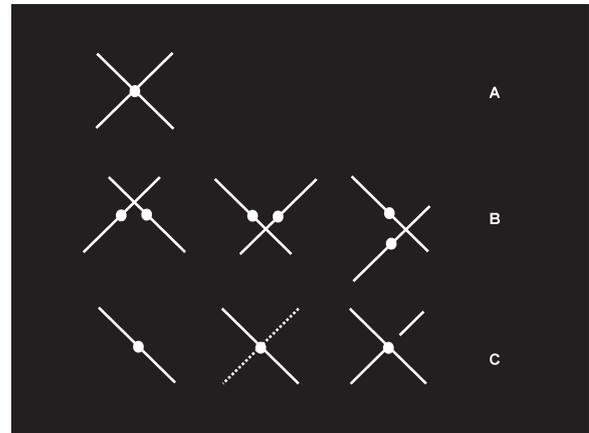


図3 Bagolini 線条レンズ検査による両眼視の検査. A: 正常または網膜対応異常 (眼位異常がある場合), B: 複視, C: 抑制.

含めて) 日常生活ではほぼ支障がない程度の奥行き感覚を得ている。しかし、いったん細かな奥行き感覚が要求される状況に置かれると (例えば、野球など小型ボールによる球技、段差や階段の昇降、葉っぱの紋理など微妙な形状を把握など)、ハンディキャップが生じることに疑いはない。

容貌上の問題も、患者にとって重大な問題である。「目は口ほどにものをいう」という喩えどおり、眼球運動は輻輳開散運動を含めて、言語外コミュニケーションの最大の手段である。なぜなら、特に意図しない限り、視線の方向はその時点における脳が最も興味をもっている対象を端的に表すからである。斜視患者は、このようなコミュニケーション手段を利用することが困難である。

## 3. 両眼視の異常とその検査法

眼科診療では、おもに Bagolini 線条レンズ検査と近見立体視検査により患者の両眼視機能を評価している。

### 3.1 両眼視の検査

両眼で  $45^\circ$  と  $135^\circ$  で直交する平行線条 (グレーティング) が刻まれた眼鏡 (Bagolini 線条レンズ) を通して、点光源を観察させる。線条光の見え方を患者に答えさせ、両眼視の状態を評価する。点光源は 5 m の距離に置いて遠見両眼視を、30 cm の距離に置いて近見両眼視を評価する。明室で検査を行えば融像性輻輳を加味して、暗室で行えば融像性輻輳を除去して、両眼視を評価できる。

正常な両眼視をもつ場合、点光源を中心とし、斜めに直交する 2 本の線条が観察される (図 3, A)。複視 (diplopia) があると、眼位ずれの方向によって異なるパターンが観察される (B)。一眼を遮蔽して、遮蔽と同側の光源や線条が消失する場合 (同側性複視)、内斜視が原因である。遮

蔽と反対側の光源が消失する場合（交差性複視）、外斜視が原因である。上下に光源が分かれるとき（B、右）は、上下斜視が原因である。一眼を遮蔽して、上にある光源が消失するなら遮蔽眼の下斜視、下にある光源が消失するなら遮蔽眼の上斜視である。

新たに発生した斜視では、発症初期、複視は日常生活上で大きな支障になる。しかし、興味深いことに、たとえ眼位ずれが残ったとしても、感覚的な順応により数か月後には複視は知覚されにくくなる。先天性斜視の多くは、すでにこのような感覚的順応が成立しているため、複視を自覚することはない。このような患者を検査すると、図Cのようなパターンがみられる。この状態を抑制（suppression）とよび、両眼開放下では偏位眼からの視覚的情報が利用されていないことを示唆している。つまりここでは、複視の問題は解消したものの、治癒したわけではなく、眼位ずれのために両眼の視差情報を活用できない点では複視の場合と変わりがない。斜視手術により眼位ずれを矯正し、両眼単一視を回復させることが治療の最終的な目的になるが、事情により眼位ずれを矯正できない場合は、抑制を待つことは次善の選択肢といえる。

先天性の斜視の一部には、眼位ずれがみられるにもかかわらず、図Aのパターンを示す症例がある。これを網膜対応異常（abnormal retinal correspondence）とよぶ。健常者では、両眼の網膜中心窩にほぼ同じイメージが投影されたとき、単一視ができる。これに対し網膜対応異常を示す患者では、固視眼の網膜中心窩と偏位眼の中心窩以外の網膜上（通常、斜視角だけ偏位した位置）に同じイメージが投影されたとき、はじめて両眼単一視がみられる。眼位ずれに順応するように、両眼の網膜対応点を変化させ両眼視を回復させたと解釈できる。

しかし、網膜の解像力（視力）は中央重点設計であり、中心窩から離れるに従って、視細胞（錐体）の分布密度そして視力が低下する。したがって、網膜対応異常の症例では、両眼単一視こそみられるものの、微小な両眼視差を検出するには至らず、精密な立体視は得られない。さらに、治療上では、やっかいな問題を引き起こす恐れがある。網膜対応異常を示す症例では、眼位ずれを手術矯正すると、すでに感覚的適応によって確立した網膜対応点に異なるイメージが投影されることになるため、新たに複視（背理性複視）が発生する。

### 3.2 立体視の検査

偏光フィルターを利用した検査として、Titmus Fly test が一般的である（図4上）。蠅のはねの浮き上がりでスクリーニングを、9つの円形視標と3つの動物視標により閾



図4 近見立体視検査。(上) Titmus Fly test, (下) TNO.

値を測定する。視標が片眼性の手がかりを伴うため、偽陽性がみられるのが欠点である。

ランダムドットステレオグラムを利用した検査法として、TNO stereo test が用いられる（図4下）。プレートI～IIIでスクリーニングを、プレートIVでは抑制の有無を調べ、プレートV以降で閾値を測定する（15～480秒）。臨床的には、立体視閾値60秒がパスできれば正常と判断する。ランダムドットステレオグラムの長所としては偽陽性がない点が挙げられる。しかしアナグリフ眼鏡を用いるため、弱視を伴う斜視症例では視標コントラストに不均衡が生じ、偽陰性を発生しやすいという意見もある。

## 4. 視力と立体視の感受性期間

新生児の視力は0.02といわれ、その後視覚的な刺激を受けることで視力は発達し、5歳ごろには成人とほぼ等しい視力を獲得する。この期間に、何らかの原因（斜視、屈折異常、遮蔽など）により十分な視覚刺激が得られないと、視覚中枢は発達障害を来し、弱視が発生する。弱視は通常、片眼性に起こり、健眼を一定時間遮蔽し、弱視眼のみを使用させるトレーニングによって治療できる。しか

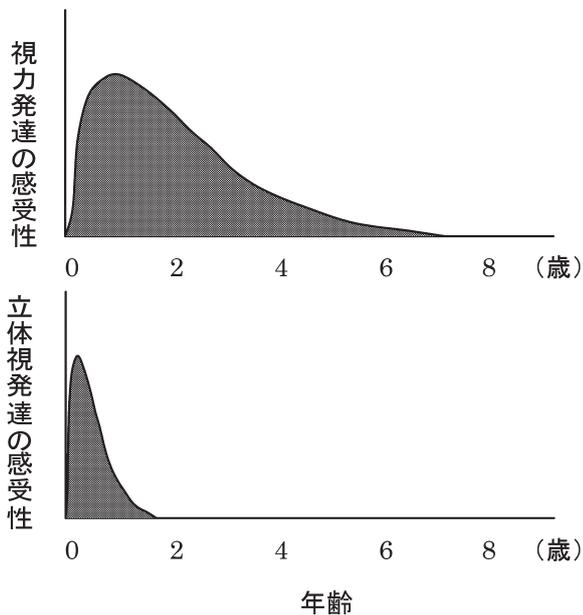


図5 視力と立体視発達感受性曲線の違い。

し、視力の感受性（視覚中枢神経の可塑性が保たれている）期間とされる生後6～8歳を超えると治療は無効になるため、早期発見早期治療が重要である。

同様のことは、立体視の発達についてもいえる。立体視の感受性期間は、視力のそれに比べて短く、2歳までには終了する（図5）。立体視機能の発達には、両眼単一視による視差刺激が必要になるが、先天性斜視症例ではこの刺激が得られないため、立体視は発達しない。しかも、立体視感受性期間を超えると、たとえ手術により眼位ずれが矯正できたとしても、精密な立体視は期待できない。

そこで一部の眼科医は、立体視発達臨界期前に、すなわち生後6か月以前に手術矯正（超早期手術）を試みている。しかし、乳児に対する定量手術には検査精度上の問題もあり、超早期手術の有効性は今のところ限定的なものである。

### 5. 回旋斜視と3D空間位置覚の歪み

斜視の中には、水平偏位や垂直偏位だけでなく、回旋偏位を伴う症例も少なくない（表1）。回旋偏位が極端になると、回旋性の複視が知覚される。しかし、回旋偏位が $\pm 10^\circ$ 以内であれば、回旋方向の感覚的融合力は強力であるため、両眼単一視が得られることが多い。このような症例においても、立体視検査で評価される中心窩立体視とは別の種類の、立体視障害がみられることが明らかになりつつある<sup>4,5)</sup>。

例えば、交通外傷でしばしばみられる両眼性の上斜筋（滑車神経）麻痺では、麻痺に伴う下方偏位は両眼間で相

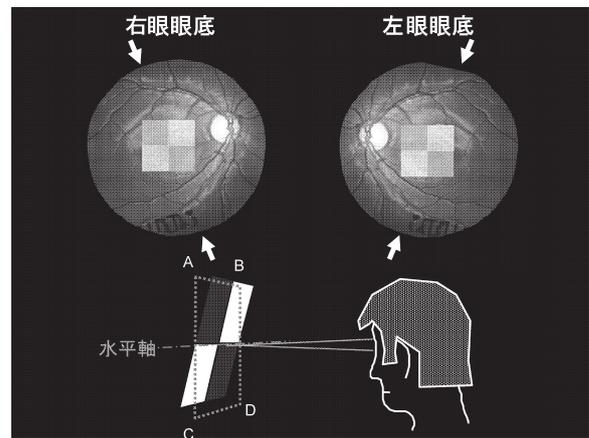


図6 両眼滑車神経麻痺にみられる視空位置覚の異常。外方回旋偏位（矢印は垂直経線を示す）により、内方回旋視差が生じる。水平方向の剪断性視差により、前額平面に置かれた平面 ABCD は奥行き方向に傾斜して知覚される。

殺されるが、外方回旋偏位は加算されるため、検査上は大きな外方回旋偏位のみが観察される。また、わが国においても増加傾向がある加齢性黄斑変性症に対して、黄斑移動術（macular transposition）が実施される。網膜の裏側にある血管の豊富な脈絡膜は網膜視細胞に、その活動源である酸素や栄養を供給している。加齢により脈絡膜血管に病変が起ると、その供給が滞り、視細胞は活動を低下させるため視力が低下する。眼内（硝子体）手術により、中心窩網膜を、病的な脈絡膜からいったん剝離し、健全な脈絡膜に移動させる。この手術の問題は、黄斑部を移動させる際に、視神経を軸にして網膜全体を $15\sim 30^\circ$ 回旋させる必要があり、その結果、両眼網膜間に大きな回旋偏位が発生することになる。黄斑移動術を受けた患者は、視力回復と引き換えに、異常な両眼視に悩まされる結果になる。

回旋偏位と空間位置覚の歪みの関係を説明するため、両眼滑車神経麻痺の例を考えてみたい（図6）。健常者なら、前額平面に置かれた平面上の点 ABCD の視差は等しいため、平面が前額平面に置かれていることを判断できる。ところが、外方回旋偏位（他覚的には、視神経乳頭と網膜中心窩の高さ関係により評価される）が発生すると、点 ABCD に対して内方回旋視差が生じる。回旋視差に含まれる水平方向の剪断性視差（shear disparity）によって、点 A、B には交差性の視差が、点 C、D には非交差性の視差が生じる。このため平面は全体として、その中心を通る水平線を軸として、上半分が手前、下半分が奥へ、奥行き方向に傾斜（slant）して知覚される。この異常感覚は、前額平面にある平面ばかりでなく、三次元空間に置かれたすべての面の方向を判断するうえでバイアスとなるため、空間位置覚の歪み（distortion of spatial localization）の

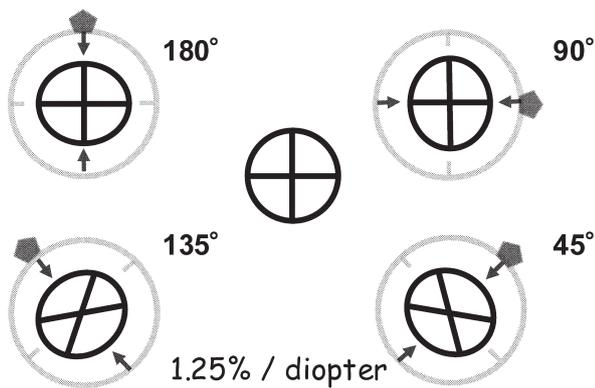


図7 円柱（凹）レンズの経線縮小効果と像の歪み。

原因となる。このような症状は、Howardら<sup>6)</sup>や van Eeら<sup>7)</sup>の、健常者を対象とした心理物理学の実験結果に一致している。

ただし、臨床的には、麻痺性斜視の急性期を除き、こうした空間位置覚の歪みを訴える症例は少ない。遠近法、テクスチャーの勾配、パララックスなどの単眼性の奥行き情報により代償されているのか、または複視に対する感覚的順応と同様に、何らかの感覚的な適応機序が存在するのかもしれない。

## 6. 眼鏡処方と両眼視

空間位置覚の歪みはさらに身近な場面、眼鏡矯正の際によく経験される<sup>8)</sup>。遠視または近視が球面レンズで矯正されるのに対し、乱視は一定の経線方向のみに屈折力をもつ円柱レンズで矯正される。眼鏡レンズは角膜頂点から約12 mmの距離に配置されるため、円柱レンズを通して見た像は、レンズの軸方向と直角方向に拡大または縮小される（それぞれ、凸レンズおよび凹レンズの場合）。この作用は1 diopter に対して約1.25%と比較的小さく、両眼間で円柱レンズの度数や軸角度が一致する（不等像視がない）限り、問題となることは少ない（図7）。ところが、円柱レンズの度数や軸が両眼間で異なると、不等像視が発生する。円柱レンズによる不等像視は、両眼視のもとで、3D空間位置覚の歪みの原因になる。

図8中段のように、乱視軸が斜めかつ直交する円柱レンズ（凹レンズ）を眼鏡として装用する場合を考えてみよう。像は乱視軸と直角方向に収縮するため、垂直線ABはA'B'のように、対称的に傾斜する。このため、点Aは同側性の、点Bは交差性の水平視差をもつことになる。視差の大きさは図形中心からの距離とともに増大するため（剪断性視差）、前額平面に置かれた平面は、右図のように、図形中心を通る水平線を軸として、奥行き方向に角度

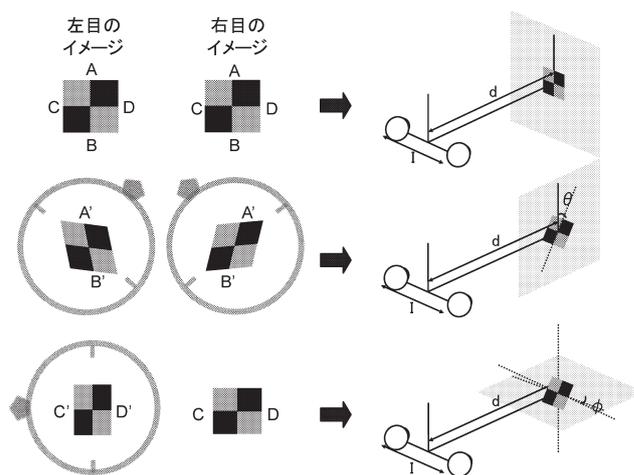


図8 円柱レンズによる乱視矯正と空間位置覚の歪み。I：瞳孔間距離，d：対象までの距離。

$\theta$ （この角度は瞳孔間距離，視距離，円柱レンズの度数と軸，頂間距離を変数として幾何学的に求めることができる）だけ傾斜して知覚される。

また、図8下段のように、左眼のみに軸が90°で円柱レンズを眼鏡として装用すると、水平線CDはC'D'のように収縮する。点Cでは交差性の、点Dでは同側性の水平性視差が生じるため、右図のように、面は図形中心を通る垂直線を軸として、奥行き方向に角度 $\phi$ だけ傾斜して知覚される。

実際の眼鏡処方では、これらの2つの成分が組み合わされた形で、空間位置覚の歪みが発生し、眼鏡の装用感を低下させる。円柱レンズの度数を落とせば、経線縮小・拡大効果は軽減し、視空間覚の歪みは改善する。しかし、残余乱視が増大するため、眼鏡視力が低下する。つまり、乱視の度数や軸に左右差（不同視）がある場合、眼鏡視力と装用感の間にはトレードオフの関係が生じることになる。小児では感覚的順応力が強いいため、このような場合も完全矯正ができる。しかし、感覚的順応力は加齢とともに低下するものと思われる、成人では眼鏡処方者のさじ加減が必要になる。

両眼視に異常を来す眼科疾患とその診療について、その概要を思いつづまま記述した。誌面の制約で触れることができなかったが、両眼視異常に対する感覚的順応に関しては、眼位ずれや眼球運動障害に対する眼球運動の適応機構とともに、なお解決できない問題が山積している。問題解決には、臨床医（MD）の力だけでは限界があり、今後わが国においても、基礎研究者（PhD）と臨床研究者の共同研究（translational research）がいつそう活性化するこ

とを期待したい。

## 文 献

- 1) H. M. Burian and G. K. Von Noorden: *Binocular Vision and Ocular Motility. Theory and Management of Strabismus* (Mosby, St. Louis, 1995).
- 2) P. L. Kaufman and A. Alm: *Adler's Physiology of the Eye: Clinical Application* (Mosby, St. Louis, 2002).
- 3) R. J. Leigh and D. S. Zee: *The Neurology of Eye Movements*, 4th ed. (Oxford University Press, New York, 2006).
- 4) B. Lindblom, G. Westheimer and W. F. Hoyt: "Torsional diplopia and its perceptual consequences. A user friendly test for oblique eye muscle palsies," *J. Neuro-Ophthalmol.*, **18** (1997) 105-110.
- 5) M. Miyata, S. Hasebe, H. Ohtsuki and M. Sato: "Assessment of cyclodisparity-induced slant perception with a synoptophore," *Jpn. J. Ophthalmol.*, **49** (2005) 137-142.
- 6) I. P. Howard and H. Kaneko: "Relative shear disparities and the perception of surface inclination," *Vision Res.*, **34** (1994) 2505-2517.
- 7) R. van Ee and C. J. Erkelens: "Temporal aspects of stereoscopic slant estimation: An evaluation and extension of Howard and Kaneko's theory," *Vision Res.*, **38** (1998) 3871-3882.
- 8) D. L. Guyton: "Prescribing cylinders: The problem of distortion," *Surv. Ophthalmol.*, **22** (1977) 177-188.

(2007年1月15日受理)