特別講演 I

神経眼科からみた弱視・斜視 —これであなたもスーパーORT!—

三 村 治

兵庫医科大学 眼科学教室

Neuro-ophthalmological Aspect of Strabismus and Amblyopia —Road to Super-orthoptist—

Osamu Mimura

Department of Ophthalmology, Hyogo College of Medicine

I. はじめに

神経眼科というと何かとつきにくいもの、理解し難いもののように感じられるかもしれない。しかし、視能訓練士として弱視・斜視の診療を志すものにとって神経眼科の基礎知識は必要不可欠なものであり、その理解もコツさえつかめば特に難しいものではない。本稿では視能訓練士に必要な神経眼科的な知識として、問診と視診の進め方、さらに眼球運動と眼底写真の見方について、疾患と関連付けつつ判りやすく解説する。また、弱視・斜視に関する最近の知見についても述べる。

II. 問診と視診の進め方

(1) 問診

眼位や眼球運動の異常をみたときに問診が重要なことは改めて言うまでもない¹⁾。高血圧や糖尿病だけでなく、甲状腺疾患や自己免疫疾患、

さらに耳鼻科や脳外科での手術も関与していることがある。また、下痢や感冒などの前駆症、眼痛・頭痛などの自覚症状の聴取も重要である。代表的な問診事項と、その際に念頭におくべき疾患を表1に示した。

表1 問診事項と想定すべき疾患

高血圧・糖尿病の既往	虚血性眼運動神経麻痺 非動脈炎性虚血性視神経症
外傷の既往	外傷性眼運動神経麻痺 内頸動脈海綿静脈洞瘻
副鼻腔手術の既往	術後性副鼻腔嚢腫
日内変動	重症筋無力症 甲状腺眼症
母方の家族歴	Leber 遺伝性視神経症
甲状腺機能亢進の既往	甲状腺眼症
感冒・下痢症状の前駆	脳幹脳炎, Fisher 症候群

また、眼球運動障害の場合には頭痛の有無、急性視力障害の場合には眼痛の有無も必ず聴取する。動眼神経麻痺に頭痛があれば後述する内

頸動脈・後交通動脈の動脈瘤を、全外眼筋麻痺に眼痛（特に眼球運動痛）があればTolosa-Hunt症候群、Fisher症候群を、急性視力障害に眼球運動痛（特に上方視時）があれば視神経炎を考える²⁾。

（2）視診

1）頭位

眼位が頭位により変化するものでは、患者は眼位が良好となり両眼視が得られるような頭位を無意識のうちにとっている。これが代償性頭位であり、麻痺の場合にはできるだけ麻痺筋を使う必要のない頭位をとる。例えば、外転神経麻痺・Duane症候群では患側へのface turn、滑

図1 外眼筋線維症（総線維化症候群）の上方視（上段），下方視（中段），自由頭位側面像（下段）。上方視が不能のため顎上げ頭位になっているのがわかる。

車神経麻痺では健側のhead tiltとchin down、眼瞼下垂や外眼筋線維症（図1）ではchin upの頭位をとる。

このような異常頭位を見分けるコツとしては、異常頭位を矯正すると眼位異常や複視が出現するか（代償性頭位か否か）、頭部傾斜は片眼遮蔽で消失するか（眼性斜頸か、筋性斜頸か）、眼瞼下垂を合併していないか（慢性進行性外眼筋麻痺、重症筋無力症、外眼筋線維症）、眼振を合併していないか（頭位性眼振、新生児点頭痙攣）などがある。

2）顔貌

顔面でも顔面筋の萎縮や発育不全により特徴的な容貌を示すことがある。典型的なものは図2に示すような筋緊張性ジストロフィーや進行性外眼筋麻痺、無治療あるいは不十分な治療のまま長期間経過した重症筋無力症でみられる筋ジストロフィー顔貌である。これらの患者では、眼瞼下垂を代償するため前頭筋を使っていることにより、眉毛は挙上し、顔面筋の全体的な萎縮を伴っていることが多く、全体的にのっそりした印象を与えることが多い。また、先天上斜筋麻痺でも斜頸のために顔面が左右非対称であることをしばしば経験する。

図2 筋ジストロフィー顔貌。両眼瞼下垂があり、前頭筋を使っているため眉毛が挙上しているが、顔面筋の萎縮のため全体的に無気力な印象を与える。

3）眼球突出

Hertel眼球突出計で測定するのが一般的であ

るが、図3のようにディスタンスメータでも測定できる。後者の場合には正面からみて左右の外眼角のほぼ同じ位置に水性ペンでマークをし、側面からそのマークに合わせるようにディスタンスメータをセットして目盛を読めばよい。絶対値よりも左右差(3mm以上を有意とする)を重視する。また簡便法としては患者の頭の上から両眼の突出程度の差をみる(図4)。

図3 ディスタンスメータでの眼球突出度の測定

図4 仰臥位での眼球突出の観察。患者を寝かせ、頭の上から観察すると眼球突出や眼球陥凹が簡単に判る。

眼球突出は両眼性ではまず甲状腺眼症、高度近視を考えるが、片眼性であっても否定はできない。体位によって変動するものでは眼窩静脈瘤など血管性病変を疑う。眼球運動障害を合併している場合には、上転障害では甲状腺眼症、外転障害では内頸動脈海綿静脈洞瘻、固定内斜

視、複合麻痺では眼窩先端症候群や眼窩内腫瘍などを考える。また眼球突出側の結膜充血や血管の怒張蛇行があれば、外傷の既往の有無にかかわらず内頸動脈海綿静脈洞瘻を疑う。内頸動脈海綿静脈洞瘻は、しばしば眼圧の上昇を伴うが、伴わない場合でも眼圧の脈圧が著明に増大するので、ノンコンタクトトノメータで眼圧の変動が大きかったり、トノグラフィーでの脈圧の振幅が大きければまず本症と考えて間違いはない³⁾。

4) 眼瞼下垂

眼瞼下垂ではまず両眼性か片眼性か、片眼性であればむしろ反対眼の上眼瞼後退ではないかに注目する。若年女性ではかなりの頻度で甲状腺眼症による上眼瞼後退(Dalrymple徴候)をみるが、この場合にはGraefe徴候という下方視での上眼瞼の下降の遅れ(lid-lag: 図5)をみ

図5 甲状腺眼症での左上眼瞼後退症。正面視(上段)では目立たなくても下方視(下段)ではlid-lagが著明となり観察が容易である。

ればよい。また高度遠視などの小眼球や眼窩壁骨折後の眼球陥凹(図6)でも偽眼瞼下垂をみることがある。また問診で眼瞼下垂に日内変動があるか(重症筋無力症)、ハードコンタクトレンズの長期装用歴があるか(腱膜性眼瞼下垂)を尋ねることも重要である。医師が行う重症筋

図6 左眼窩下壁骨折後の眼球陥凹。一見すると左眼瞼下垂に見える。

無力症の鑑別に有効な負荷試験としてはテンシロン（塩化エドロニウム）テストが有名であるが、ORTでも実施できる非侵襲的な負荷試験として上方注視負荷試験⁴⁾（上眼瞼挙筋と上直筋の易疲労性をみるため、ペンライトの光を注視できる上方限度近くまで上げて1分間注視させ

図7 重症筋無力症患者での上方注視負荷試験。当初上段のように軽度であった左眼瞼下垂が、数十秒の経過で下段のように著明になる。

る試験：図7）、アイステスト⁵⁻⁷⁾（神経筋接合部で伝達物質のアセチルコリンを分解するコリンエステラーゼの活性が、温度低下により低下するのを利用して筋力が回復するのを見る試験：図8）がある。

図8 重症筋無力症患者でのアイス（バック）テスト。下垂眼の左眼（上段）に保冷剤などのアイスパックを2分間当て（中段）、その後下垂が2mm異常改善（下段）すれば陽性と判定する。

Ⅲ．眼位・眼球運動記録観察法

1) 眼位・眼球運動記録法

眼位・眼球運動は病状の進行や回復状況を確認するために、肉眼で観察するだけでなく何らかの定量ができる記録が必要である。代表的な観察記録法を表2に示した。定性的な観察法で代表的な赤ガラス法では、検者が赤ガラスを片手に持つと、ペンライトで患者の前に均等に円を描けないので、患者に赤ガラスを持たせるのがコツである。患者からみて時計回りに「上、

表2 眼位・眼球運動記録観察法

定性的観察法

肉眼的観察

赤ガラス法

9方向向き眼位写真記録法

眼球運動ビデオ記録法

定量的観察法

Hess 複像表

シノプトフォア 9方向向き眼位検査

電気眼振図 (ENG), 眼球運動図 (EOG)

ビデオ眼振図 (VOG)

赤外線光電素子記録法 (PEOG)

スクレラル・サーチ・コイル法

眼底写真記録法

左上、左、左下、下、……」と声をかけながらゆっくり回し、どの位置で最もペンライトの光と赤い光が離れたかを答えさせる。

さらに、臨床の現場ではデジタルカメラが極めて有用である。9方向向き眼位写真の記録に用いるが、撮影の確認や撮り直しが容易で失敗がなく、また最近の機種には動画モードが設定されており、眼球運動異常の連続記録にも用いることができる。

デジタルカメラやヘス複像表では、水平・垂直成分の眼球運動障害はわかっても回旋偏位の測定はできない。シノプトフォアによる9方向向き眼位検査では回旋偏位の測定は可能であるが、両眼の回旋偏位の和（または差）として測定される。このような場合、日常的にルーチンに撮られている眼底写真が意外に役立つ。通常、視神経乳頭の下縁から引いた水平線上に黄斑中心窩が位置し、この線より大きく下方にずれて黄斑中心窩があれば外方回旋、上方にずれていれば内方回旋と判定する。例えば、滑車神経麻痺では上転眼のみの眼底写真にこの外方回旋がみられるが、核上性眼球運動障害であるocular tilt reaction (OTR)⁸⁾では、上転眼の内方回旋、下転眼の外方回旋がみられ、両眼性の異常であ

ることが一目瞭然となる（シノプトフォアによる9方向向き眼位検査では両眼性の異常とは判定できない）。

2) 眼球運動でのアイステスト

眼瞼下垂のアイステストは、上眼瞼挙筋が表面にあり冷却されやすいため、2分間の冷却でよいが、外眼筋は深部にあるため5分間の冷却が必要である。Ellisら⁹⁾によれば重症筋無力症患者15例で試みたところ全例で陽性で、筋無力症でない患者では1例も陽性はなかったとのことである。ただ著者の経験では、欧米人より日本人は奥目であり、長時間の冷却は疼痛を伴うことから、多くの自験例で眼球運動のアイステストは困難であった。

IV. 眼球運動障害判定のコツ

1) 動眼神経麻痺

動眼神経はクモ膜下腔では内頸動脈・後交通動脈の腹側を通過しており、また瞳孔線維は動眼神経内の背側周辺部を走行しているため、動脈瘤の圧迫による動眼神経麻痺の場合は高率に内眼筋麻痺（瞳孔散大）を伴いやすい。一方、糖尿病などを基礎疾患とする虚血性の動眼神経麻痺では動眼神経の中央部の血管が閉塞するため62 - 86%の症例で瞳孔反応は保たれる¹⁰⁾。また本症に頭痛を伴えば常に動脈瘤を念頭に置く必要がある。

2) 滑車神経麻痺

滑車神経核から出た神経は、上髄帆の背側部で完全に交叉してそれぞれ反対側の脳幹部より脳底部に向かう¹¹⁾。したがって頭蓋内走行路は外転神経と同じく長く、交通事故のような激しい頭部外傷ではしばしば交叉部での両側性障害を伴いやすい。垂直性の両眼複視の多くは滑車神経麻痺によるものであり、下方視で複視が増強し、階段が降りにくい。センターラインが斜めにずれるなどと言えばまず本症を疑う。交通事故に起こった上下複視の大部分は本症によるものであり、30歳以降に徐々に気づく上下複視の多くは代償不全性滑車神経麻痺（先天麻痺で頭部傾斜により代償して複視を訴えなかった患者が、加齢とともに代償できなくなり複視をき

たすもの)である。頭部を傾斜させ、偏位の大きい方が患側であるが、頭部傾斜で両側とも陽性であり下方視で外方回旋偏位が大きくなればまず両側性を考える。

3) 外転神経麻痺

外転神経は橋部の一番尾部から脳幹を出て、クモ膜によって橋表面に密接しつつ脳底を長い距離にわたって走行し、蝶形骨斜台外側で直角に屈曲して硬膜を貫く。したがって、遠隔病変や頭蓋内圧亢進で出現する。外転神経核の障害では傍正中橋網様体(PPRF)とともに障害されるので側方注視麻痺のかたちをとる。小児ではしばしばDuane症候群と間違われるが、Duane症候群では側方視により瞼裂の開大・縮小がみられることと、患眼が側方視に際して軽度上転(upshoot)または下転(downshoot)がみられる点^{12, 13)}で鑑別は比較的容易である。

4) Fisher症候群

Fisher症候群(別名Miller-Fisher症候群)は、全外眼筋麻痺、小脳失調、深部腱反射消失を3徴とする多発性神経症であり、最近その発症機序が下痢などの既炎菌であるCampylobacter jejuniの感染後の抗GQ1b抗体の眼運動神経の傍絞輪部への沈着であることが明らかにされ、前駆症状の間診や抗体検査で診断が容易になっている^{14, 15)}。

5) 甲状腺眼症

病態は自己免疫性外眼筋炎とその周囲の癒着による筋の伸展障害である。罹患筋で最も多いものが下直筋で、眼球運動でも下直筋の伸展障害である外上転障害が最も多くみられる。次いで内直筋の伸展障害である外転障害がみられる。この疾患の鑑別には問診が重要であり、日内変動がみられ朝症状が最悪で、日中軽快すればまず本症を考える。また周囲組織との癒着のため、上転努力により肥厚した外眼筋が梃子の容量で眼球を圧迫し、眼圧が著明に上昇するのが観察される。具体的には圧平式眼圧計やトノペン、ノンコンタクトトノメータなどで、正面視と上方視でそれぞれ眼圧を測定し、上方視で5 mmHg以上上昇すれば何らかの眼窩内の異常を疑い¹⁶⁾、10 mmHg以上上昇すれば外眼筋による眼球圧迫があることは確実である¹⁷⁾。

6) Brown症候群(上斜筋腱症候群)

上斜筋と腱の複合体の伸展障害であり¹⁸⁾、内上転に際して強い抵抗があり、肉眼的にも内上転と外上転を比較すると明らかに内上転の制限が大きい(図9)。

図9 後天性Brown症候群。右眼の内上転が外上転に比べて著明に制限されている。

V. 眼底写真の乳頭所見からみた神経眼科疾患

1) 急性視力障害で眼底写真を撮った時 (括弧内は鑑別のポイント)

視神経乳頭が正常であれば、球後視神経炎(問診にて眼球運動痛の有無)、心因性視力障害(対光反応正常)、レーベル遺伝性視神経症(問診で家族歴、特に母方の家族歴の聴取、ミトコンドリアDNAの点突然変異の検出で確定)を考

える。乳頭浮腫が赤ければ乳頭炎（問診にて眼球運動痛）を、蒼白であれば前部虚血性視神経症（反対眼の視神経乳頭サイズが小さいかを確認）をまず疑う。また乳頭が異常に赤かったり、周囲に毛細血管症（microangiopathy）があればレーベル遺伝性視神経症の可能性が高い。この場合、蛍光眼底造影を行えばいくら乳頭が発赤腫脹していても全経過を通じて蛍光色素の漏出をみない¹⁹⁾。

2) 偽乳頭浮腫簡易判別法

血管が多分岐しており、何となく血管の数が多く、しかも乳頭陥凹がみられず血管が乳頭中心から連続して出ているのが確認できれば、まず先天異常の偽乳頭浮腫と考えてよい。

VI. 最近の知見

1) 弱視と脳機能画像

弱視の病態解明には、弱視によって大脳皮質が機能的にどのような変化をしているかを知ることが重要である。最近脳の機能を外部から他覚的に非侵襲的に観察する試みとして主にPETと機能的MRI（functional MRI：以下fMRI）が用いられている。これらの器械では、視作業を負荷することにより、脳のどの部分が対照（通常何も行っていない時）と比べてより活動している（賦活されている）かを知ることができる。

Demerら²⁰⁾は1例の正常者と5例の弱視患者でPETと視覚誘発電位（VEP）の結果を前向きに比較検討している。反転格子縞の単眼刺激で、対照には両眼遮蔽、格子縞の静止および水平方向移動を採用した。その結果、PETでは弱視眼刺激で健眼刺激に比べて鳥距皮質での反応が視力に相関して低下していた。しかも、この傾向はVEPより強かった。また、右側頭頭頂葉にみられた推計上の処理センターの賦活は不同視弱視では比較的保たれ、斜視弱視では比較的減衰していた。

さらに、Choiら²¹⁾は12例の正常者、7例の不同視弱視患者、4例の斜視弱視患者で開眼以外の刺激なしにPETを行っている。その結果、正常者に比して弱視患者では糖代謝が17野、18/19野、下側頭葉（37、20野）、上頭頂葉（7野）

で有意に減少していた。また、後頭葉の糖代謝の左右差はVEP潜時の非対称性と密接に相関し、PETの糖代謝はヒト弱視の視覚領域での機能的なマッピングを示しているとした。

Barnesら²²⁾は10例の斜視弱視患者で、健眼固視と弱視眼固視の状態を心理物理的およびfMRIで比較検討した。その結果では、弱視眼固視では通過帯域内刺激でV1でさえも賦活は減弱し、弱視ではV1が異常であることが示唆された。また同様の減衰がV2でもみられる一方で、2例では弱視の通過帯域の外側の刺激でV3Aの賦活がみられたとしている。

また、Mikiら²³⁾は4例の正常者、1例の片眼性視神経炎患者と1例の不同視弱視患者で、格子縞刺激の単眼固視での外側膝状体の賦活を1.5テスラのfMRIで比較検討した。その結果、視神経炎患者では患眼刺激で外側膝状体、大脳皮質とも賦活が著明に減弱し、不同視弱視患者でも同様に外側膝状体、皮質とも減弱がみられたとしている。

同様にChoiら²⁴⁾は8例の不同視弱視患者と6例の斜視弱視患者で、fMRIで鳥距溝付近の賦活状況を比較検討した。全例で健眼刺激と比較して弱視眼刺激で鳥距溝付近の賦活は減弱したが、不同視弱視では高空間周波数帯域でより抑制されたが、斜視弱視では低空間周波数帯域でより抑制されたとしている。

一時期、弱視モデル動物の網膜に神経伝達物質であるドーパミンが少ないことから、弱視の感受性の臨界期を過ぎた弱視の小児や、回復せず慢性期（萎縮期）に移行した視神経炎患者にドーパミンの前駆物質の投与が積極的に行われ、一定の効果をみたとする報告が相次いでみられたが、あまり評価されず、標準化された治療にはなっていなかった。Yangら²⁵⁾は5例の弱視患者で7週間Levodopa/Carbidopaの0.5/0.12mg/体重kgの内服投与前後で、fMRIでの評価を行った。その結果、健眼刺激では投与前後で有意差はみられなかったが、弱視眼刺激では大脳皮質の賦活領域の若干の改善（ $P=0.06$ ）と、反応の有意の増強（ $P<0.05$ ）がみられたとしている。

2) 半盲視野改善訓練法（Vision Restoration Therapy）

脳卒中や外傷で脳障害を起こした患者の20～30%が視覚障害に苦しんでいるといわれている。このような患者ではしばしばミラー眼鏡やフレネル膜プリズムが処方されるが、残存視野内に2つの像がみられるため患者に混乱を生じやすい。そこで、半盲視野代償のためのトレーニングがいくつか考えられたが、Zihlら^{26, 27)}は半盲側に向かう衝動性眼球運動(saccades)のトレーニングを自動化した装置Electronic Reading & Exploration Deviceを開発した。さらにKastenら²⁸⁻³¹⁾は、脳卒中や外傷で脳障害をきたした後の障害された領域と障害されていない領域の間には、部分的に生き残った視覚が存在すると考え、これを活用するコンピュータを利用したトレーニング法を考えた。彼らはトレーニング前に綿密な静的視野を測定し、これをもとに刺激をその個人の残された視覚に応じたパターンでコンピュータ画面で1日1時間程度行っている。これにより部分的に残ったニューロンが機能的に視覚を回復させることができることを報告し、このVision Restoration Therapyは2004年米国食品衛生局FDAにより正式に認可された。ただ、この治療セット(図10)は患者が個人で購入して使用する必要があり、かなり高価という欠点がある。

図10 Vision Restoration Therapyのセット。このように顎台と距離計、ソフトウェアがセットになっている

Ⅶ. おわりに

今後少子化が進み高齢化社会が進行するとともに、眼運動神経麻痺や虚血性視神経症など、視能訓練士が取り扱う神経眼科領域の患者がま

すます増加することが予想される。本稿がそのような疾患の理解の一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) 三村治: 神経眼科における診察法・検査法, 新臨床神経眼科学増補改訂版(三村治編), pp2-11, メディカル葵, 東京, 2004
- 2) Swartz NG, Beck RW, Savino PJ, Sergott RC, Bosley TM, Lam BL, Drucker M, Katz B: Pain in anterior ischemic optic neuropathy. *J Neuro-ophthalmol* 15: 9-10, 1995
- 3) Miyazaki S, Onoe S, Shimo-oku M, Mori T: Re-evaluation of the tonometric sign to detect abnormal blood flow in carotid cavernous fistula. *Neuro-ophthalmol* 12:153-157, 1992
- 4) 鈴木聡, 駒井潔, 三村治, 下奥仁, 喜多能子, 可児一孝: 小児の眼筋無力症について - 上方注視負荷試験 -. *眼臨* 88: 458-460, 1994
- 5) Golnik KC, Pena R, Lee AG, Eggenberger ER: An ice test for the diagnosis of myasthenia gravis. *Ophthalmology* 106: 1282-1286, 1999
- 6) Kubis KC, Danesh-Meyer HV, Savino PJ, Sergott RC: The ice test versus the rest test in myasthenia gravis. *Ophthalmology*. 107:1995-1998, 2000
- 7) Czaplinski A, Steck AJ, Fuhr P.: Ice pack test for myasthenia gravis. A simple, noninvasive and safe diagnostic method. *J Neurol* 250: 883-884, 2003
- 8) 三村治: 斜偏位(skew deviation)とocular tilt reaction. 新臨床神経眼科学増補改訂版(三村治編), pp114-115, メディカル葵, 東京, 2004
- 9) Ellis FD, Hoyt CS, Ellis FJ, Jeffery AR, Sondhi N: Extraocular muscle responses to orbital cooling (ice test) for ocular myasthenia gravis diagnosis. *J AAPOS*. 4:271-281, 2000
- 10) Jacobson DM: Pupil involvement in patients with diabetes-associated oculomotor nerve palsy. *Arch Ophthalmol* 116:723-727, 1998
- 11) Lee AG, Brazis PW: Fourth nerve palsies. In

- Clinical Pathways in Neuro-Ophthalmology. An Evidence-Based Approach. 2nd edition, pp281-295, Thieme, New York, 2003
- 12) Mohan K, Saroha V, Sharma A: Factors predicting upshoots and downshoots in Duane's retraction syndrome. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus*. 40:147-151,2003
- 13) Rao VB, Helveston EM, Sahare P: Treatment of upshoot and downshoot in Duane syndrome by recession and Y-splitting of the lateral rectus muscle. *J AAPOS*. 7:389-395,2003
- 14) Yuki N: Pathogenesis of Guillain-Barre and Miller Fisher syndromes subsequent to *Campylobacter jejuni* enteritis. *Jpn J Infect Dis*. 52:99-105,1999
- 15) Nishimoto Y, Odaka M, Hirata K, Yuki N: Usefulness of anti-GQ1b IgG antibody testing in Fisher syndrome compared with cerebrospinal fluid examination. *J Neuroimmunol*. 148:200-205,2004
- 16) Lee AG, Brazis PW: Diplopia. In *Clinical Pathways in Neuro-Ophthalmology. An Evidence-Based Approach*. 2nd edition, pp215-251, Thieme, New York, 2003
- 17) 古河雅也、木村亜紀子、和申幸生、木村直樹、三村治：甲状腺眼症における上方視眼圧の変化。 *眼紀* 54:187-191, 2003
- 18) Wilson ME, Eustis HS Jr, Parks MM: Brown's syndrome. *Surv Ophthalmol*. 34:153-172,1989
- 19) Sadun F, De Negri AM, Carelli V, Salomao SR, Berezovsky A, Andrade R, Moraes M, Passos A, Belfort R, da Rosa AB, Quiros P, Sadun AA: Ophthalmologic findings in a large pedigree of 11778/Haplogroup J Leber hereditary optic neuropathy. *Am J Ophthalmol*. 137:271-277,2004
- 20) Demer JL, Grafton S, Marg E, Mazziotto JC, Nuwer M: Positron-emission tomographic study of human amblyopia with use of defined visual stimuli. *J AAPOS* 1:158-171,1997
- 21) Choi MY, Lee DS, Hwang JM, Choi DG, Lee KM, Park KH, Yu YS: Characteristics of glucose metabolism in the visual cortex of amblyopes using positron-emission tomography and statistical parametric mapping. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus* 39:11-19,2002
- 22) Barnes GR, Hess RF, Dumoulin SO, Achtman RL, Pike GB: The cortical deficit in humans with strabismic amblyopia. *J Physiol* 533:281-297,2001
- 23) Miki A, Liu GT, Goldsmith ZG, Liu CS, Haselgrove JC: Decreased activation of the lateral geniculate nucleus in a patient with anisometropic amblyopia demonstrated by functional magnetic resonance imaging. *Ophthalmologica* 217:365-369,2003
- 24) Choi MY, Lee KM, Hwang JM, Choi DG, Lee DS, Park KH, Yu YS: Comparison between anisometropic and strabismic amblyopia using functional magnetic resonance imaging. *Br J Ophthalmol* 5:1052-1056,2001
- 25) Yang CI, Yang ML, Huang JC, Wan YL, Jui-Fang Tsai R, Wai YY, Liu HL: Functional MRI of amblyopia before and after levodopa. *Neurosci Lett*. 339:49-52,2003
- 26) Zihl J: Recovery of visual functions in patients with cerebral blindness: Effect of specific practice with saccadic localization. *Exp Brain Res* 44:159-169,1981
- 27) Zihl J: ELEX-Elektronisches Lese- und Explorationstrainingsgerät. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde* 192:555-558,1988
- 28) Kasten E, Sabel BA: Visual field enlargement after computer training in brain-damaged patients with homonymous deficits: an open pilot trial. *Restorative Neurol Neurosci* 8:113-127,1995
- 29) Kasten E, Wüst S, Behrens-Baumann W, Sabel BA: Computer-based training for the treatment of partial blindness. *Nature Medicine* 4:1083-1087,1998
- 30) Sabel BA, Kasten E: Restoration of vision by training of residual functions. *Current Opinion in Ophthalmology*, 11:430-436,2000

- 31) Kasten E, Müller-Oehring E, Sabel BA:
Stability of visual field enlargements following
computer-based restitution training- Results of
a follow-up. J Clin Exp Neuropsychol 23:297-
305, 2001
-