

第96回 日本眼科学会総会 特別講演

磁気共鳴画像(MRI)による眼球運動の研究とその応用

稲 富 昭 太

滋賀医科大学

共同研究者

可児 一孝, 佐々本研二, 山出 新一, 高橋 総子, 永田 啓
佐藤 友哉, 西田 保裕, 西田 恵理, 新井 真理, 山田 重喜
中村 二郎, 阿倍 弘道, 中澤みどり, 喜多 能子, 林 理
小島ともゑ, 貫名 香枝, 渋谷 昌子, 森田 陸司, 鈴木 輝康
大西 英雄, 絵野 尚子, 原田 康, 馬淵 順久, 古谷 義明

要 約

両眼視にとって重要な眼球運動についての、磁気共鳴画像(MRI)を用いた研究を紹介した。MRIはX線CTに比して、分解能にすぐれ、任意の断層像が得られ、骨のアーチファクトがない、血管の描出能にすぐれる、放射線被曝のような副作用がないなどの長所がある。したがって眼科領域での利用は著しく多い。MRIは撮像に時間がかかるという欠点があり本来、動くものを撮像するには適しない。しかしX線被曝のような副作用がないので、撮像を反復することで動く像を動画として撮像することができる。このような観察法は **cine mode** といわれ、主として心臓の撮像に用いられてきた。今回、この観察法を利用して眼球運動を撮像することを試みた。これには2つの方法があり、一つは眼球運動を一定のトリガーに同調させて行ない、位相別に撮像し、これを連続再生する方法である。これを眼球運動法 **moving eye method** または動的撮像法 **dynamic method** と呼ぶことにした。もう一つの方法は眼球運動の代りに注視運動の軌跡上の数点を選び、それぞれの点を固視させてその静止画像を撮像し、これを連続再生して動画として観察する方法である。これを固視法 **fixed eye method** あるいは静的撮像法 **static method** と呼ぶことにした。前者は真の眼球運動の撮像であるが、撮像には正確な眼球運動の反復を少なくとも連続256回行う必要があり、正常者でも苦痛や困難を伴うし、臨床上、患者への応用は不可能である。これに反し後者は真の眼球の動きの画像ではないが、目的とする範囲では前者と差がなく、むしろ撮像も比較的容易で画像が優れているので、本研究ではすべてこの方法を採用した。本研究の対象は主として核性、核下性、筋性、機械的運動障害、それに斜視である。外転神経麻痺、動眼神経麻痺、眼窩壁骨折、眼窩内異物、Duane症候群、内分泌性ミオパチー、内斜視、外斜視などの代表的な症例の **cine mode MRI** を供覧した。これによると麻痺筋の状態、萎縮の程度、収縮、弛緩の状態など一見して病態を知ることができる。治療法についてその一つである筋移動手術について症例を呈し、**cine mode** による所見を示した。またその作用機序は移動した筋の作用ベクトルの変化と常在トーンスによる機械的眼位矯正と、むき運動における麻痺筋のひき運動のトーンスの減弱と移動筋の常在トーンスとの間のトーンスの差による受動的運動が麻痺筋のひき運動に効果を上げることである。手術の改良法として移動する筋の筋腹を2分し、麻痺筋側への移動し強膜に縫着するのみで充分で、付着部は切断しない方がよいことをすすめた。眼球

別刷請求先：520-21 大津市瀬田月輪町 滋賀医科大学眼科学講座 稲富 昭太
(平成4年8月3日受付、受理)

Reprint requests to: Akihiro Inatomi, M.D. Department of Ophthalmology, Shiga University of Medical Science, Tsukinowa-cho, Seta, Otsu-shi 520-21, Japan
(Received and accepted August 3, 1992)

のMRIの静止画像, また運動時の各眼位の静止画像の筋の形態を計測することにより筋の病態を評価することができる。今後の方向として, コンピュータ処理により3次元画像を再構築し, また観察の方向を自由に变えることで, より一層臨床上有益な情報を提供してくれることが期待される。(日眼会誌 96: 1532-1557, 1992)

キーワード: Cine mode MRI, 眼球運動, 眼球運動障害, 外眼筋移動手術

Eye Movement: Experimental and Clinical Study Using Cine Mode MRI

Akihiro Inatomi

Shiga University of Medical Science

Abstract

As a special lecture at the 96th Annual Congress of the Japanese Ophthalmological Society in 1992, we presented experimental and clinical studies on eye movement using magnetic resonance imaging (MRI). MRI is more valuable than X-ray CT in defining external muscle anatomy in the orbit in a variety of pathological changes, and is free from the danger of radiation. Cine mode MRI, which was originally developed to observe cardiovascular function, was utilized experimentally for observation of eye movement. We invented two methods to produce a series of photographs. In the first method, "the moving eye method", the subjects were asked to perform 256 or 512 vertical and horizontal eye movements in synchronization with a sound trigger. In the second, "the fixed eye method", the subjects were asked to gaze at individual points in a 5 to 7 point sequence as indicated by the investigator. In both methods MRI data was generated and the resulting series of photographs were observed in cine mode on a television monitor. Displaying the MRI generated photographs in cine mode enables direct observation of the movement of the eye, optic nerve and extraocular muscles within the orbit. The moving eye method was more accurate in its portrayal of the actual movement of the eye, but the large number of eye movements, at least 256 movements, required about 5 minutes, and caused physical and mental fatigue for the subjects. The fixed eye method did not show actual movement of the eye, but was less fatiguing than the former method, and avoided several of its problems. A large number of ophthalmoplegia cases such as abducens palsy, oculomotor palsy, fracture of the orbital wall, foreign bodies in the orbit, Duane's syndrome, endocrine myopathy, esotropia, exotropia, etc., were examined using the fixed eye method of cine mode MRI. Using this technique, anatomical changes, such as atrophy or hypertrophy and the functional state demonstrated by the contraction and relaxation of the extraocular muscles could be investigated. Transposition of the extraocular muscles, an effective treatment for paralytic squint, was reexamined and a new surgical procedure was developed for abducens palsy. The measurement of the length, thickness and weight of the extraocular muscles from the MRI-generated photographs allowed for more accurate analysis. The three dimensional reconstructive method of MRI is very valuable for diagnosis in the orbit and is expected to contribute to future progress. (Acta Soc Ophthalmol Jpn 96: 1532-1557, 1992)

Key words: Cine mode MRI, Ocular movement, Ophthalmoplegia, Muscle transposition

I 緒 言

両眼視機能は, 両眼の像を融合させてより高度な立体覚を得る感覚面と, 両眼像の融合をもたらすための

両眼の運動面とに大別される。

われわれは前者を基礎医学的には網膜神経節細胞を解剖学的¹⁾および心理物理学的²⁾に研究してきた。臨床医学的研究としてはFundus Haploscopeの開発³⁾と

その応用および眼球運動の研究である。その Fundus Haploscope を利用して、まわし斜視⁴⁾、網膜対応⁵⁾の問題に取り組んできた。

眼球運動に対しては Fundus Haploscope による画像解析によって細かい運動の研究⁶⁾、また眼球運動障害における手術療法の改良⁷⁾に精力を費やしてきた。

いずれの研究も際限のない未知部分が多く、新しい研究方法の出現に応じて研究を積み重ねる必要があると考えてきた。ここに磁気共鳴画像 (MRI) が登場してきたのである。

最近の臨床研究の一大進歩の一つは画像診断である。X 線にはじまった画像診断は科学技術の急速な進歩により医学に目覚ましい威力を発揮しつつある。特に MRI はこの領域で革命的な発展をもたらした。眼科においてもその応用は広範囲に進展しつつある。

今回われわれは眼球運動の研究に MRI を応用し、MRI を静止画像として利用するだけでなく、動的な画像としてとらえ、新しい知見を得るとともに、臨床応用の新しい方向を見出したのでここに紹介する。

II 画像診断法としての MRI と眼科における応用

画像診断法としては単純 X 線撮影法が長い間主流を占めてきたが、超音波検査、X 線 CT、そしてラジオアイソトープを用いる核医学診断法へと発展してきた (表 1)⁸⁾。1980 年代になって核磁気共鳴画像の臨床応用がはじまり、画像診断は一段と重要性を増してきたといえる。

核磁気共鳴画像のもとになる核磁気共鳴現象 nuclear magnetic resonance (NMR) は Purcell と Bloch が 1946 年に検出に成功し、1970 年代に人体の水素プロトンの NMR 現象の画像化が始まり、1980 年代に臨床応用に入った。X 線 CT に対して NMR-CT と呼ばれたが、核抜ききの MR にイメージングを強調して magnetic resonance imaging 磁気共鳴画像、略して MRI と呼ばれるようになった。

表 1 画像診断法

• 単純 X 線撮影
• 超音波検査
• X 線 CT
• MRI
• DSA (digital subtraction angiography)
• ポジトロン CT
• コンピューテッド・ラジオグラフィ

そもそも生体内に存在する元素の中でも最も多い水素の原子核は小さな磁石としての性質をもち、通常これらの原子核磁石はバラバラの方向に向き、互いに磁力を消去し合っている。ここで生体を強い磁場に入れるとバラバラであった磁力の方向が揃い、生体内で一つの合成磁石が作られる。これにラジオ周波数の電波を短時間に与えると合成磁石の方向に変化が起り、ジャイロスコープのように磁場の方向を中心に回転し、一つのベクトルとみなされる。そしてラジオ波印加後、徐々に回転の円が小さくなってもとに復帰する。これを緩和といい、これにはスピンの数とスピンの方向復帰という 2 つの因子がある。この 2 つの因子や密度などを原子核の化学的情報の信号としてとらえ、コンピュータで処理して画像として表わすのが MRI である (図 1)^{9)~11)}。

X 線 CT に比して変数が多いため、種々の撮像方法により、生体軟部組織を高い分解能で撮像できる。その特徴は

- 1. 分解能にすぐれる
- 2. 任意の断面像がえられる
- 3. 骨のアーチファクトがない
- 4. 血管の描出が可能である

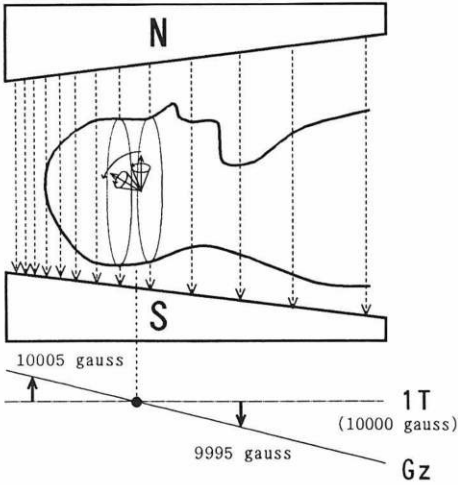


図 1 MRI の原理。

強い磁場の中に生体を入れ、高周波ラジオ波をかけるとスピンをもつ原子核 (プロトン) が共鳴してスピンの軸の方向が変化する。ラジオ波の印加後、これが元にもどる状態は生体の化学組成により異なる。これを信号としてとらえ画像化する。磁場を傾斜させ (GZ), 1 T (tesla) 用の周波数のラジオ波をかけるとこの断面のプロトンのみが共鳴して断層像が撮れる。

5. 放射線被曝がない

などであり、欠点としては体内に磁性の金属があると危険であり撮像するわけにゆかないことと、撮像に時間がかかることである^{11)~13)}。

このように欠点がないわけではないが撮像画像にすぐれ、侵襲のないMRIは眼科領域でも早くから応用され、眼球、眼窩内の情報のみならず、視機能障害の原因となりやすい脳内の病変の診断にも極めて有力であり、その報告はすでに多数にのぼっている^{14)~22)}。

同じCTでもX線CTと比較するとMRIの方が骨周辺の画像のアーチファクトがなく、組織分解能もすぐれている。また放射線被曝がないことが大きな利点である。とくに眼窩内の状態の画質はMRIですぐれ、眼窩内脂肪、眼筋、視神経、眼球は鮮明に描出される(図2a, b)。撮像法には普通反転回復法 inversion recovery とスピネコー法 spin echo 法があるが、頭部 surface coil を用いた spin echo 法による T_1 強調画像で眼窩内の各組織のコントラストが最もよくつくので、主としてこの方法を用いる。

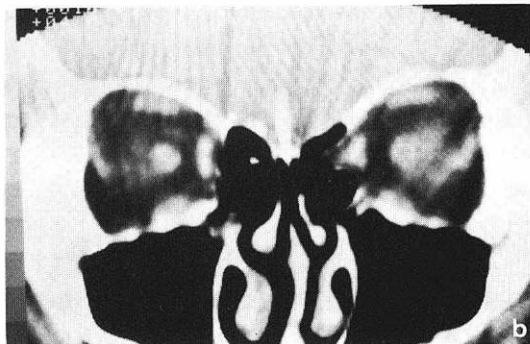
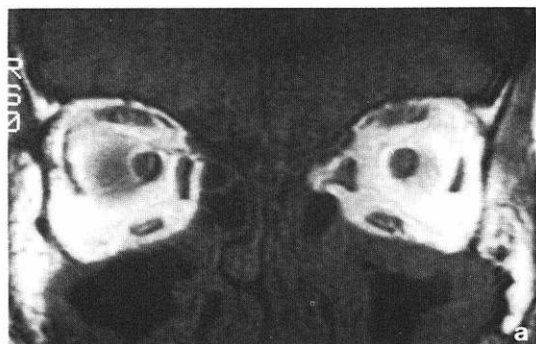


図2 左眼眼窩内壁骨折の症例。

a: MRI, b: X線CT. 同じ断面であるが視神経、眼筋の描出はMRIの方がはるかに優れている。

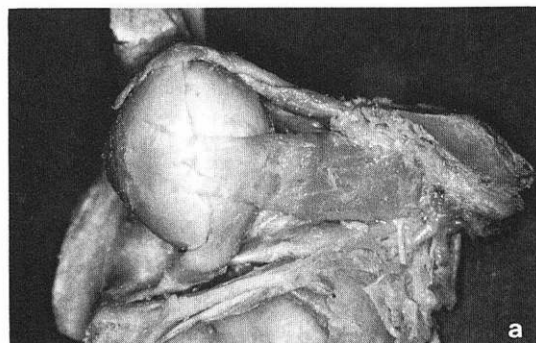


図3 a: 眼窩耳側からの局所解剖所見, b: そのMRI所見。

III MRIによる外眼筋像と局所解剖所見

MRIによる眼筋像は眼窩内脂肪組織と極めて鮮明に区別されて撮像されるが、これを確認するために、また種々の眼筋移植手術を実験的に試みるために系統解剖用に提供された遺体による局所解剖を行った²³⁾²⁴⁾。図3a, bは眼窩外壁を、4a, bは上壁を除去し、脂肪組織を除いて外眼筋を露出しているが、MRIによる解剖学的位置関係とは当然のことからよく一致している。また定量的に眼筋の計測を試みたが、剖検では固定のみならず剖検中に組織の乾燥などによる形態変化が起こり計測に信頼がもてない。むしろMRIの画像そのものの測定値、とくに左右の比較値を用いる方が正確で意味があると考えられた。

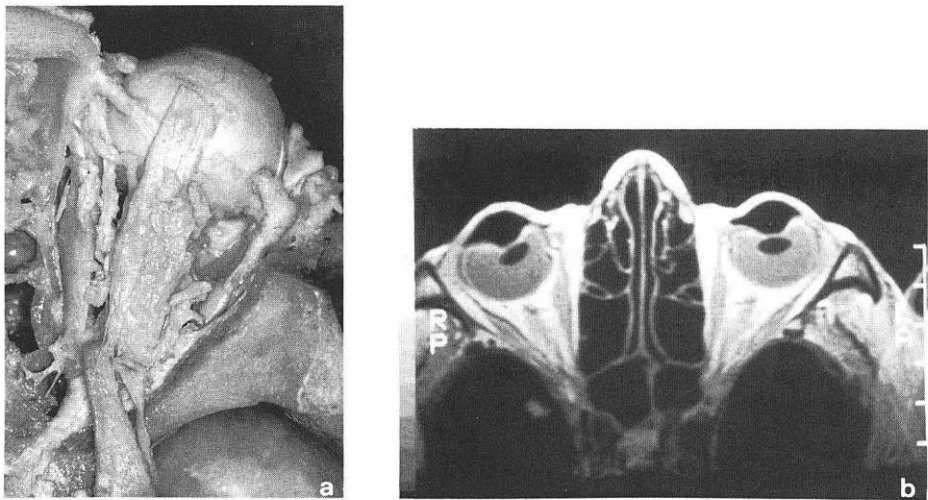


図4 a：眼窩上方からの局所解剖所見，b：そのMRI所見．

表2 眼球運動の記録法

視診，9方向眼位
複像法
ヘスコージメータ
注視野
EOG
Fundus Haploscope
MRI

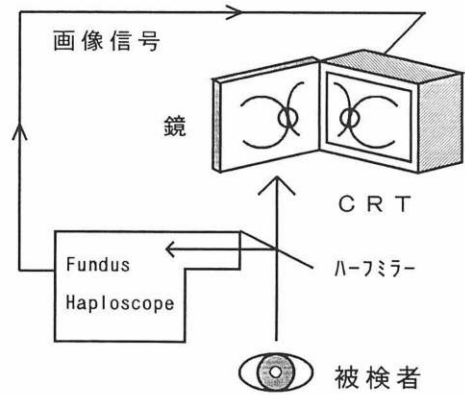


図5 固視微動観察用ブロックダイアグラム．

被検者の眼底像がFundus HaploscopeによりCRT上に映る．これはハーフミラーを通して被検者自身に見える．眼が動けば眼底像も動くので，被検者の網膜像は動かない，完全な静止画像になると被検者には像が見えなくなる．

IV 眼球運動の記録法と固視微動

眼球運動の検査は眼球運動障害の原因究明のためにも，また複視や眼位ずれなどの両眼視機能異常そのものの治療のためにも重要である．これには視診をはじめ種々の方法がある（表2）．

このうち最も基本的なものは9方向眼位をはじめとする視診，赤緑投影法（ヘスコージメータ）など眼位ずれを知る方法である．また，ひき運動，むき運動，よせ運動，固視，追従運動，衝動運動など運動状態の視診も重要である．電気生理学的検査法としてPEOG，EOG，EMGなど眼球運動を精密に記録して，波型あるいは速度，加速度を解析する方法はよく普及している²⁵⁾．著者らはこれらに加えてFundus Haploscopeによる画像を解析する方法を研究に用いてきたが^{25)~28)}，MRIの出現によってさらにこれを用いた眼球運動記録を試みた（表2）．

ここでMRIとは直接関係はないが，Fundus Haplo-

scopeを用いた眼球運動と視覚に関する興味ある実験を紹介する²⁹⁾．

動きのない物体を注視する時は眼球は中心窩で固視していて一見眼球運動はないように見えるが，実は固視を続けると振幅の小さい揺らぎがみられる，これにはtremor，drift，microsaccadeが含まれ，固視微動と呼ばれている．

Fundus Haploscopeを用いると眼底像を他覚的に観察することができ，眼球運動によって動く眼底像から微細な眼球運動をビデオで記録することが出来る．

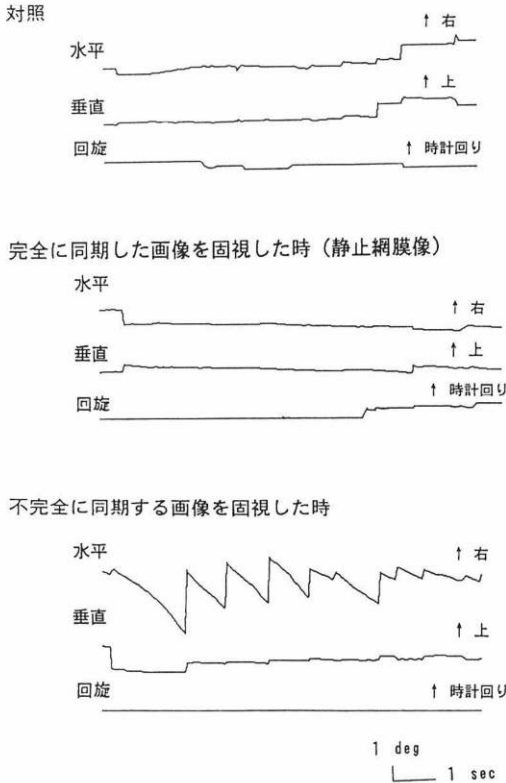


図 6 眼球運動に同期する画像を固視した時の眼球運動。

この記録を経時的に細く分析すれば眼球運動の水平、垂直、回旋成分を知ることが可能である。この装置にハーフミラーをつけ、自己の眼底像を固視するように工夫した、図 5 にそのブロックダイアグラムを示す。

Fundus Haploscope で描出されたブラウン管上の自己の眼底像を鏡などにより眼球運動と同期させ、これをハーフミラーを通して固視する。眼球運動と自己眼底像を完全に同期させると網膜上の像は静止像となる。この時視覚は固視約 4～10 秒で消失し、ブラウン管の画面は均一な灰色に感じられた。このように網膜上で像が静止すると見えなくなることは眼球の固視微動を止めることによって得られ、すでに 2, 3 の実験があるが^{30)～33)}、今回は眼球運動は止めずに網膜静止像を作って視覚の消失することを確認めた。この場合の眼球運動は対照の固視微動 (図 6 上段) に比して drift の持続時間や速度が早い傾向を認めた (図 6 中段)。また眼球運動と自己眼底像の動きの同期が不完全であると視運動反応と思われる誘発眼振を認めた (図 6 下段)。

このような特別な条件下での固視運動の変化の研究は、その役割や機能を究明する上で有用であると思われる。

V MRI による眼球運動の撮像

すでに述べたように MRI によると X 線 CT に比してはるかに多くの情報を正確に得ることが出来る。しかも眼球運動に関係した眼筋をはじめ眼窩内の情報は今までになく分かりやすい。当然眼球運動時の各眼位の状態も観察できる。

一方 MRI には心臓の収縮運動を観察するための cine mode が開発されている³⁴⁾³⁵⁾。これは心電図の R 波をトリガーにして収縮運動での位相を連続撮像する方法である。これを顎関節運動の観察に応用した報告もある³⁶⁾。

この cine mode を用いれば眼球運動も撮像可能ではないかと考えて、この撮像法を利用することを試みた³⁷⁾。当時はまだ MRI 装置を設置している施設が少なく、甲南病院 (神戸市) の 0.5 T 超伝導 MRI であるシーメンス社製 Magnetom を用いた。最初は研究の推進者である教室の西田自身が被検者となった。

1. 眼球運動法 (moving eye method) (動的撮像法 dynamic method)

眼球運動は心電図発生装置の R 波をトリガーとして撮像装置を作動させ、この作動音にあわせて被検者は 1 回の作動音に 1 往復の水平または垂直眼球運動を 256 回以上行い、この得られたデータからやっと 1 往復の運動画像が得られた。理論的には 1 往復の水平運動の撮像には最低 256 回の運動が必要である。

また 2 回加算のためには 512 回の連続運動も試みた。運動の視標はガントリー内に貼付した。

1 往復の眼球運動は 13 の位相に分割して連続撮像

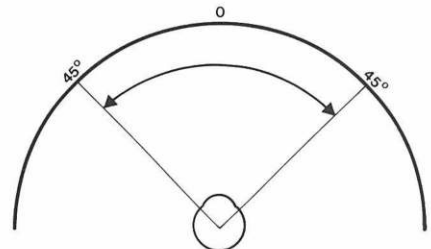


図 7 眼球運動法 moving eye method.

被検者はガントリー内で心電図の R 波に合せて 256 または 512 回 (画像のマトリックス数による) 眼球運動を連続的にくり返す。

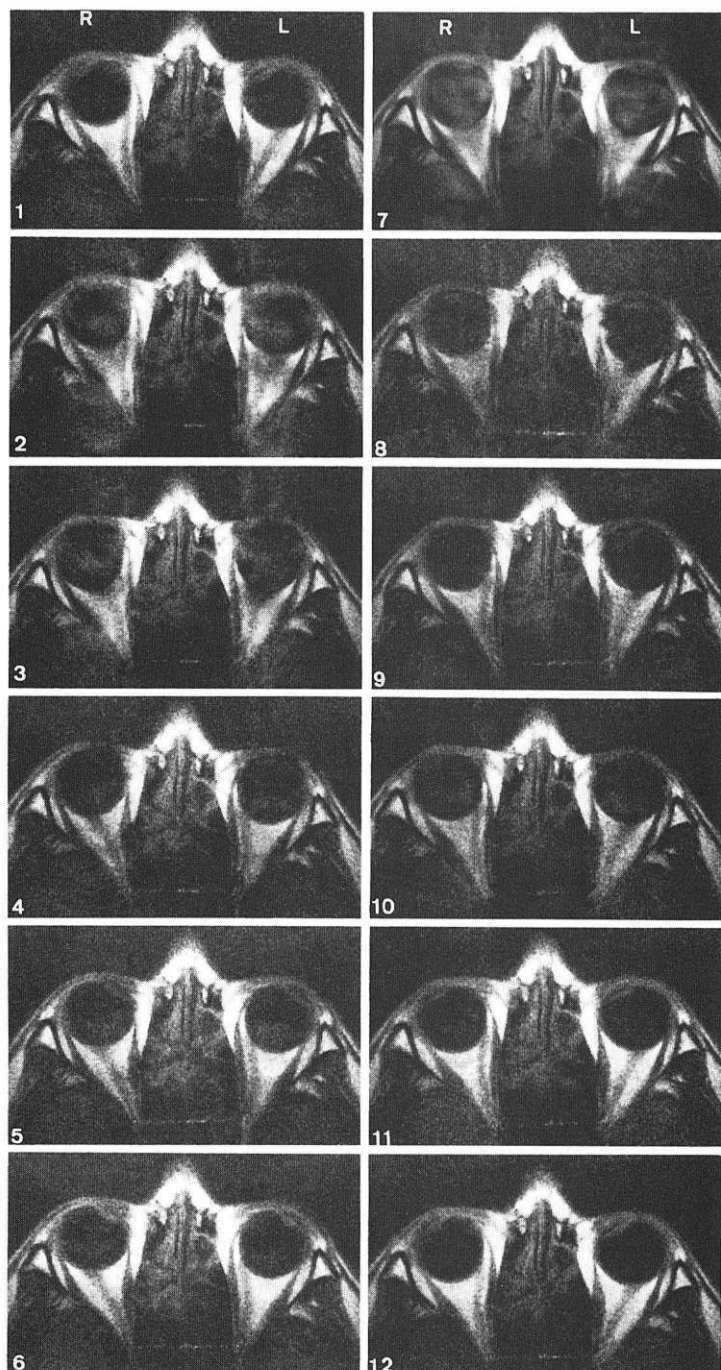


図8 水平運動の眼球運動法 moving eye method による連続撮像写真。
MRI では水平断は下から見た像となり、一見左右が逆となる(以下すべての写真も同様)。1～6は右むきから左むきへの運動。7～12は左むきから右むきへの運動。256回の運動ではじめて1回の往復水平運動の画像が得られる。動きにより雑音が入るが、真の眼球運動像である。ビデオではスムーズな眼球運動として観察される。

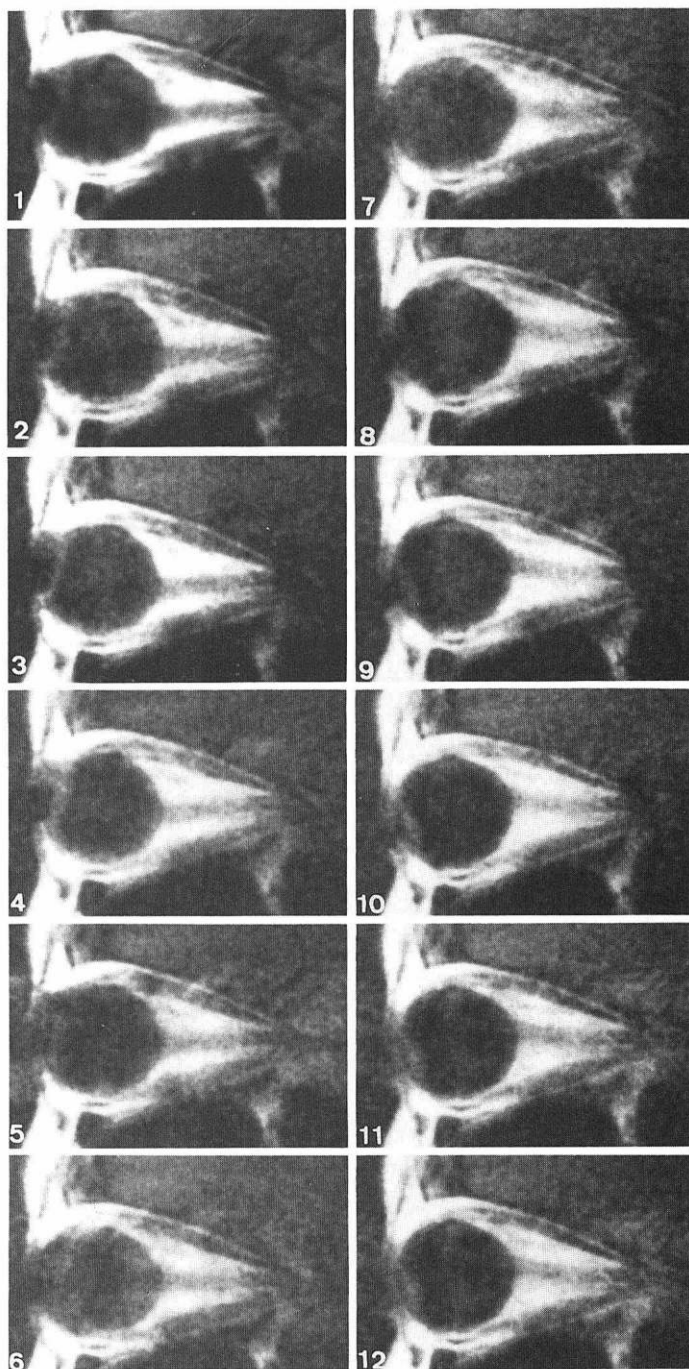


図9 垂直運動の連続写真.

1～12の順に上むきから下むきへの連続写真. ビデオではスムーズな運動として観察される. 眼瞼の運動もよく分る.

し、得られた画像を動画として再生しモニターテレビで観察した。図7はその撮像法を、図8、9は動画を連続写真として示している。ビデオによる再生では眼球運動は極めてスムーズな動きとして再生された。

この方法は眼球を運動させながら撮像する方法であるので眼球運動法 *moving eye method* と呼ぶことにした。また動的撮像法 *dynamic method* ともいえ、真の眼球運動の記録再生である。この再生には少なくとも画像のマトリックス数の関係から256回の運動によって1往復の眼球運動として記録できるのであるから、真の加算ではないが256回の運動の速度、加速などのばらつきは像の鮮明度に影響を与える。また顔面の動揺は像のぼけにつながる。今回の研究者自身が被検者となった実験では強い忍耐と目的意識があったので顔の固定、均一な眼球運動の反復ができ、質のよい撮像に成功した。病的状態の撮像への応用においては理解のある医師自身が患者である場合には撮像には成功し、新しい知見を得たが³⁸⁾、他の被検者では極めて困難であった。まして一般の患者にこの方法を強いることは不可能と考えられた。

また再生ビデオには眼球の動きによる雑音が混入し、これは不可避であった。

しかし角膜と強膜に囲まれた眼球の断面は眼球の回転運動を正確に示していて、角膜頂点と眼球後極の視神経の出る場所を見れば眼軸の方向がよく分る。この際に眼球の回旋点はこの撮像で見る限り眼球運動に伴う移動はない。

このような撮像は1988年に西田³⁷⁾によって始めて成功したもので、世界最初のMRIによる眼球運動像であろう。

2. 固視法 (fixed eye method) (静的撮像法 static method)

眼球運動法により真の眼球運動の記録が取れたことは画期的な進歩であるが、被検者の理解と協力があるてはじめてとれることで、臨床にはとても応用できるものではないことが判明したので、より苦痛の少ない、簡便な方法に研究を進めた^{39)~41)}。

眼球運動法では頭を完全に固定して256回もの眼球運動を全く同じ速度で反復する必要のあることが最も大きな問題であった。そこでこの運動の反復の代りに種々の方向へのむき眼位を記録してこれを継ぎ合わせて動画にすることを試みた。具体例にはガントリー内に正面、左右上下5ないし7か所(15°間隔)に固視目標を設け、各点を固視させてその静止眼位を撮像し、

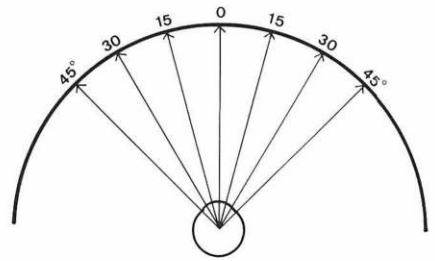


図10 固視法 fixed eye method.

ガントリー内に7か所の固視点を設定し、各点を固視したときの眼位を撮像し、これをつないで動画として再生する。真の動きではないが静止画像の連続であるので画質がよく、臨床上はこの方法を採用している。

これらをつないで動画として再生した。図10にその方法を示す。図11、12はその画像である。

この方法は各方向へのむき眼位の継ぎ合せであって、前者が真の動きの画像であるのに対して、これは動いて見えても真の動きの画像ではない。これを固視法 *fixed eye method* と呼ぶことにした。また前者を動的とすればこれは静的撮像法 *static method* ともいえる。

この画像は本来静止状態の画像であるので像が鮮明であり、前者のような動きに伴う雑音もない。また前者と比較してみたところ、眼球の運動、外眼筋の収縮、弛緩、視神経の屈曲状態などこの撮像の精度の範囲内では全く差異を認めない。それどころか、より鮮明な画像によって極めて多くの情報を提供してくれることが分った。このため今後はこの方法を専ら利用することにした。1990年以降は京都蘇生会総合病院の1.5 T超電導MRIであるGE社製SIGNA ADVANTAGEを使用し一段と画像の質は向上した。

最近我が国では東出ら(第44回日本臨床眼科学会、グループディスカッション眼窩、1990年)によりBasedow眼、また深道(第15回日本眼科手術学会総会特別講演、可能性の眼科学、1992年)による眼窩壁骨折の *cine mode* によるビデオ発表がある。

3. Cine mode MRI による眼球運動の観察

1) 正常例 (図11、12)

静的なMRI撮像フィルムから眼球の視軸方向、外眼筋の眼球のまつわりから離れてゆく状態、筋の形態、収縮、弛緩状態がまず観察される。視神経もその方向、弯曲の状態が読みとれるなど多くの情報を提供してくれるが、*cine mode* では眼球運動と筋の収縮、弛緩が

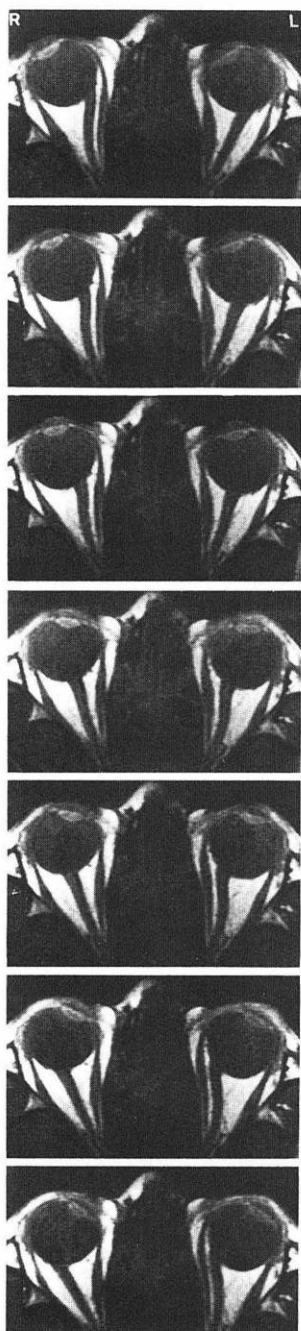


図11 固視法fixed eye methodによる水平運動。

実際はビデオで再生する。角膜、水晶体、視神経の関係から眼軸の方向が判断される。内直筋、外直筋の収縮、弛緩がよく分る。視神経が左右に大きく揺れるのが目につく。

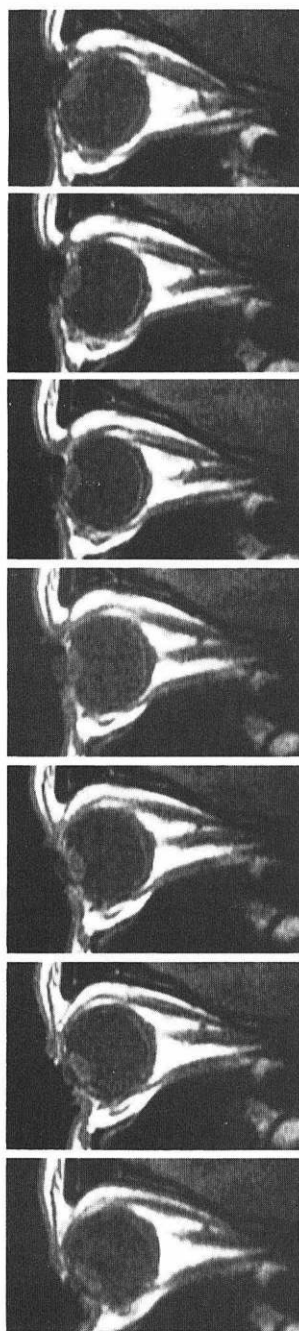


図12 固視法fixed eye methodによる垂直運動。

上眼瞼挙筋と上直筋が分離して観察される。下ひきで上眼瞼が下り、上ひきで上るなど眼瞼の運動も判断される。

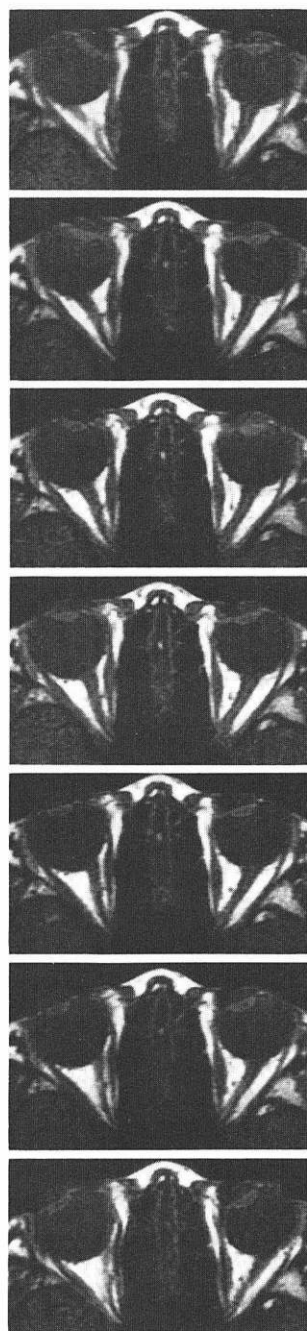


図13 左眼外転神経麻痺(症例1)。
左眼外直筋が非薄となり、筋腹の収縮像が全く見られない。

表3 眼球運動障害の統計

疾患名	症例数	手術例
動眼神経麻痺	80	9 (うち眼筋移動術 3)
滑車神経麻痺	54	11
外転神経麻痺	78	16 (うち眼筋移動術 7)
重症筋無力症	9	0
眼窩壁骨折	20	2

観察される。また視神経が大きく左右にゆれ、また屈曲するのが分る。眼筋と視神経の動きはまた眼窩内に充満している脂肪組織の動きを推測させる。

上下運動では上下直筋の収縮、弛緩、とくに上直筋と上眼瞼挙筋が分離して観察される。上下眼球運動に伴う上下の眼瞼の運動も明確に見られ、上むきでは上眼瞼は挙上し、下むきでは上眼瞼は下るのが詳細に観察される。

このように cine mode では動きそのものを直接見ることが出来るためにダイナミックな機能を一見して理解出来るという大きな利点がある。ただし本論文紙上では静止画像を連続して提示するにとどめざるを得ないのは残念である。

2) 眼球運動障害例

本研究の対象は主として核性、核下性、筋性、機械的運動障害など末梢性障害である。その例数は表3に示す通りで、現在このような症例には可能な限り cine mode MRI 検査を行っている。現在のところ学童期の小児以上では撮像可能である。ただし高齢者では眼球運動時に頭部が動いてよい撮像の出来ないことがある。

以下にその代表例を連続写真とともに示す。

i) 外眼筋麻痺

a) 外転神経麻痺

症例1. 11歳の女性。脊髄空洞変性症による左外転神経麻痺。

麻痺筋である外直筋は菲薄化していて、左眼は内斜視となっている。

Cine mode で観察すると左眼の外ひきは非常に悪く、視線の方向は正面より外ひき眼位にはならない。また外直筋は右眼に比して収縮が不良であることがよく分る (図13)。

症例2. 58歳の女性。巨大動脈瘤による右眼外転神経麻痺。

MRI で観察すると右眼外直筋は左眼に比して非常に菲薄化し、かつ弛緩している。

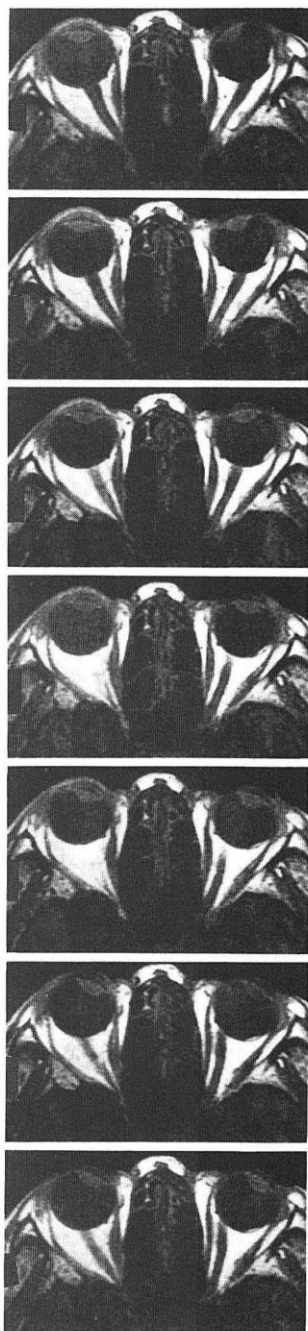


図14 右眼外転神経麻痺 (症例2)。
右眼外直筋が菲薄になっているのみでなく、走行が弛緩している。

Cine mode では外ひきは著明に障害されている (図14)。この症例は視神経障害もみられたので、頭部MRI検査を行ったところ、T₂強調画像において中頭蓋窩に

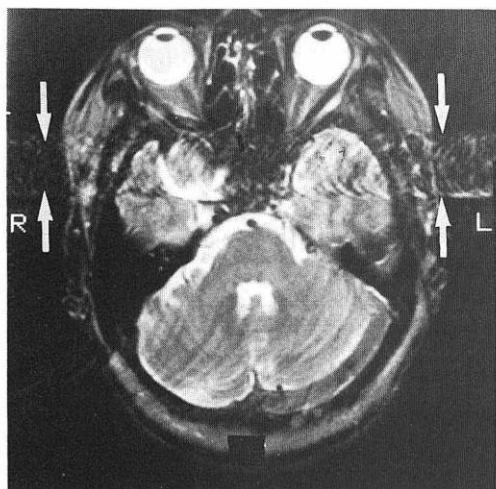


図 15 症例 2 の T₂強調画像。

中頭蓋に相当する部分に左右にのびるアーチファクトが出ている。この部分は撮像中動いていることを示す(矢印)。

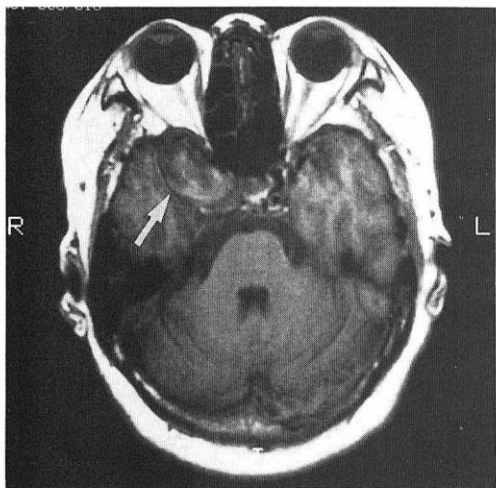


図 16 症例 2 の T₁強調画像。
動脈瘤がみられる(矢印)。

相当するスライスに強い左右にのびるアーチファクトが生じていた(図 15)。T₁強調画像では腫瘍陰影が確認され(図 16)、T₂強調画像におけるアーチファクトは拍動によることが推定され、動脈瘤の疑いをもち、脳神経外科で脳血管撮影により拍動を伴った動脈瘤が確定診断された。これは動きに伴うアーチファクトが逆に診断に利用されたことになる。

b) 動眼神経麻痺

症例 3. 20 歳の女性。

もやもや病に対するバイパス手術後に出現した右眼動眼神経麻痺例である。MRI では右眼内直筋が菲薄になっている。

Cine mode では水平運動においては右眼の内ひきが不良で正中線をこえない。また内直筋は収縮していない(図 17 a)。上下運動では健眼は上下直筋の収縮、伸展はよく見られ、運動は正常で、また上下運動に伴う眼瞼の運動がよく観察される(図 17 b)。患眼では上下直筋は菲薄化し収縮も不良で、下ひき運動の悪いことがよく観察される(図 17 c)。

ii) 眼窩壁骨折

症例 4. 52 歳の男性。

少年期に左眼側頭部打撲、外傷性外転神経麻痺の診断を受けている。現在は左眼に軽度の外ひき制限があり、20°以上の左方視で複視があるが日常の不便はない。

MRI では左の眼窩内壁に骨折があり、この部分に高信号の眼窩内脂肪組織の篩骨洞への嵌頓がみられる。この嵌頓部に相当する内直筋は強く変形している。この所見によって本例は外転神経麻痺ではなく、眼窩内壁骨折による眼球運動障害であることが判明した³⁸⁾(図 2)。

Cine mode では左眼内直筋は右方視で収縮するが、癒着部より後方が太くなり、癒着部の組織が牽引されるが運動制限はない。左方視では正常であれば伸展して薄くなる筈が、牽引癒着があるために筋腹はあまり細くならず伸展が不十分であることが分る。要するに内直筋の眼窩壁に接する部位と眼窩骨折部との間に索状の癒着が生じていて、筋の運動とくに伸展を制限していることが確認される。これは 1 枚ずつの静止画像ではなかなか読み取れないが、cine mode による動画であれば一見して判断できる(図 18 a)。

前額断の MRI では内直筋は嵌頓部に向かって断面が三角形に変形し、眼窩壁側に癒着している索状物を認める(図 2 a)。

Cine mode では内直筋の収縮と弛緩時ともに癒着部が変形したままであるのがよく分る(図 18 b)。また上下運動時に健眼では内直筋は全く関係なく正常の形状を保っているが、左眼では眼窩組織の動きとともに内直筋が形をかえるのが観察される(図 18 c)。

iii) 眼窩内異物

症例 5. 49 歳の男性。

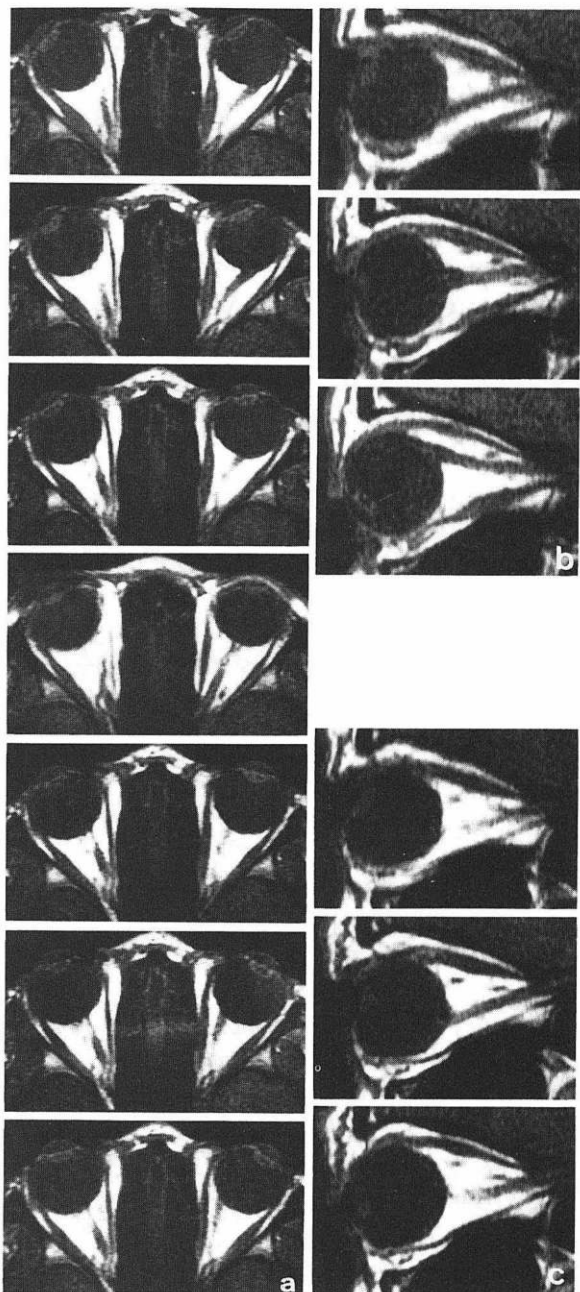


図 17 右眼動眼神経麻痺（症例 3）。

a：水平運動。右眼内直筋が菲薄、内ひき不良で外斜視になっている。

b：健眼垂直運動。

c：麻痺眼垂直運動。下直筋が菲薄で収縮しない、下ひき不良。

交通事故による顔面切傷、眼球運動障害例である。

MRI で上直筋付近に低信号の黒い大きな像を認める。これはフロントグラス片であって、cine mode で眼球運動に伴って動いているのがよく分る。この例は上眼瞼と眼球の癒着があり、機械的下ひき制限となっているのもよく観察される（図 19）。

iv) Duane 症候群

症例 6. 43 歳の女性。

静止画像では左眼内直筋、外直筋ともに形態的には一見正常と変らない。しかし、よく見ると外直筋の附着部から筋の前 1/3 は右眼に比して薄い（図 20）。

Cine mode では左眼の水平運動は右眼に比して外ひき、内ひきともに悪い。いわゆる 3 型である。内直筋の収縮は認められるが、外直筋は殆ど収縮していない。

症例 7. 49 歳の男性。

静止画像では左眼の内、外直筋の形態上の変化はほとんどみられない。

しかし、cine mode では左眼の外ひきは不良で、外直筋は収縮しない。また、内ひきの際には外直筋が全く伸展せず、外直筋の眼球へのまつわり部分は増加し、眼球は筋附着部付近を支点に回転し、眼球中心は後方や耳側に移動する。臨床的に眼球後退に相当する所見である。

眼球後退の所見は静止画像の連続写真をみても判定は困難であるが、cine mode による動画では容易に判断される。

Duane 症候群に見られる患者の内ひき時の上あるいは下方向への偏位について、患筋である外直筋の upshoot あるいは downshoot であるとする説に対して MRI 所見によってこの説は否定されている⁴²⁾。今回のわれわれの症例ではこのような症状がなかったので検討はしていない。

v) 内分泌性ミオパシー

症例 8. 59 歳の男性。

静止画像では下直筋の筋腹の極端な肥厚と上眼瞼挙筋の肥厚を認める。眼位は下ひきとなっている。Cine mode では上下運動が困難であるため頭部の動きがでている。眼球の上ひきが強く制限され、下直筋の伸展が僅かである。下直筋の伸展障害による機械的運動障害の状態と理解される（図 21）。

内分泌ミオパシーの病因、病態についての論文は多いが⁴³⁾⁴⁴⁾、MRI による画像はその病態の解明に役立ってきている。また、最近 cine mode による発表が東出、

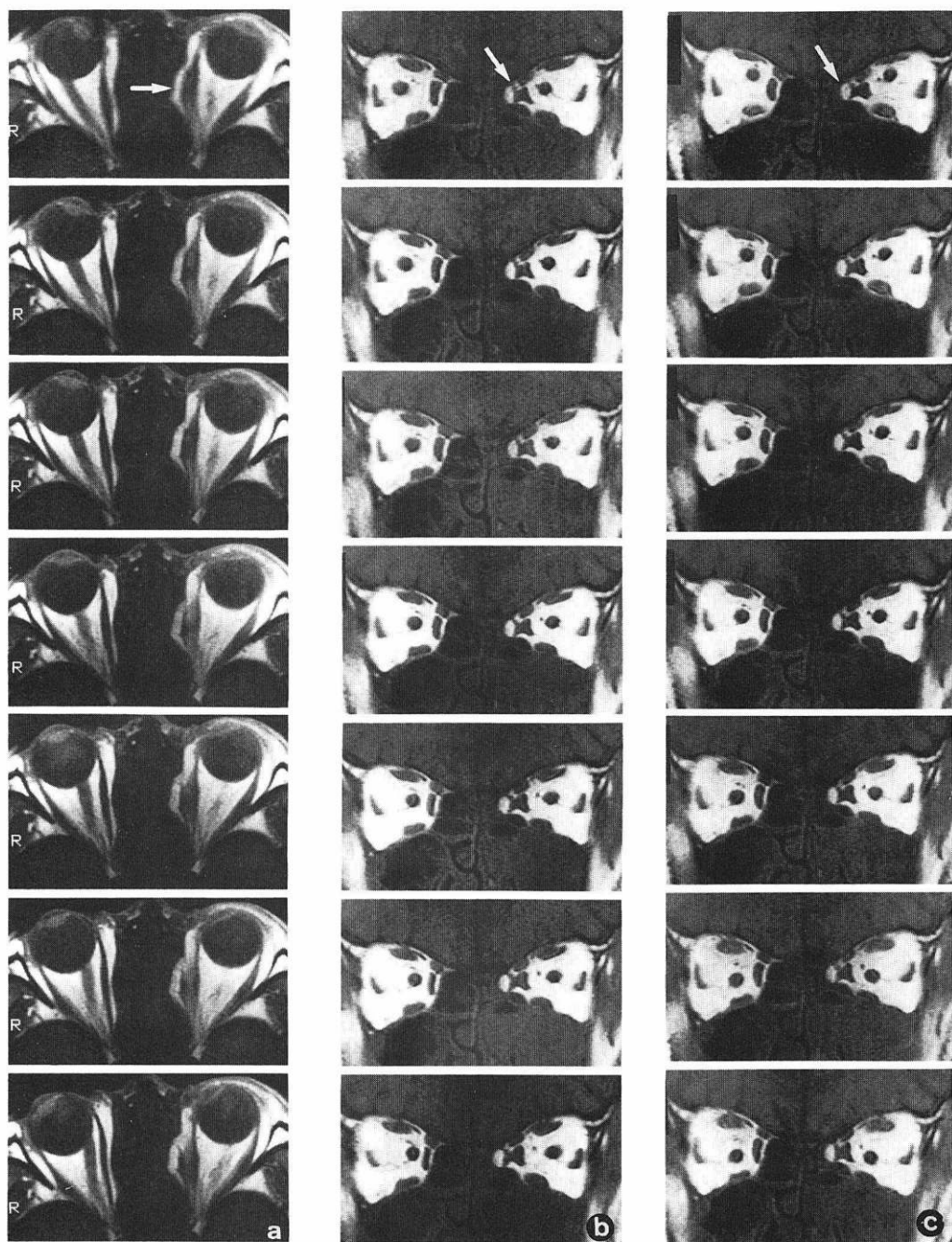


図18 眼窩内壁骨折（症例4）。

a：水平運動（水平断）。骨折部に眼窩組織が嵌入し、内直筋と眼窩壁との間に索状の癒着を認める。ビデオでの再生画像ではこの癒着による運動制限が一見して判定される。

b：水平運動（前額断）。視神経の断面の動きと眼球の動きとは逆になる。癒着部の状態が非常によく分る。

c：垂直運動。視神経の断面の動きと眼球の動きは逆になる。ビデオでは垂直運動時にも内直筋が引張られたり、眼窩内の組織が動くのが分る。

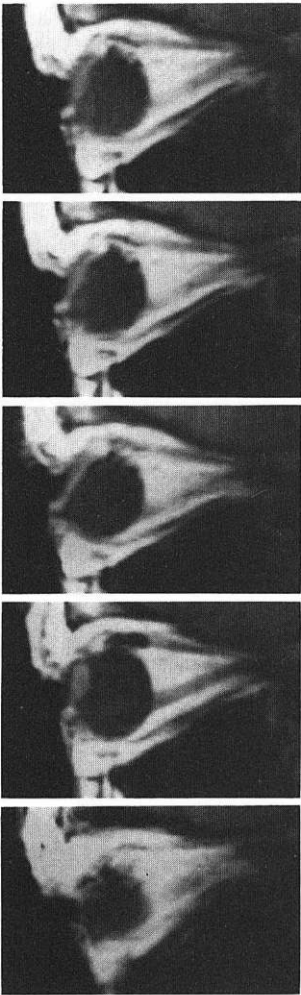


図19 外傷による眼窩内異物(症例5).
低信号の異物(ガラス片)が眼球運動に伴って動いている。

井上らによって1990年の日本臨床眼科学会グループディスカッションにおいてなされていて、肥大筋の伸展障害をよく捉らえている。

vi) 斜視

症例9, 10歳の女性。

外斜位斜視症例であるが cine mode で両眼の眼球運動はよく共同性を保っている。外直筋、内直筋ともに収縮伸展は良好である(図22)。

症例10, 11歳の女性。

左眼30°以上の強い内斜視例であるが、静止画像で斜視眼の外直筋は一見菲薄に見える。また内直筋は収

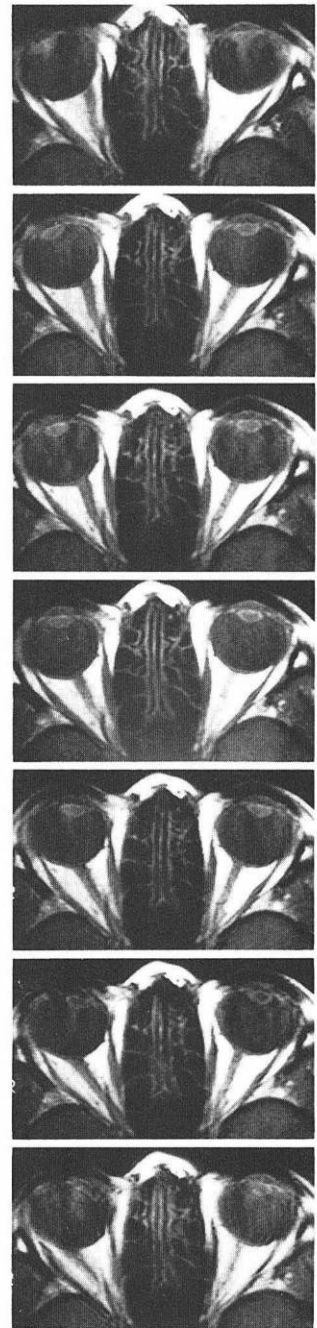


図20 Duane 症候群(3型)(症例6).
右眼外直筋の形はやや薄く、直線的、収縮していない。

縮状態に見える。

Cine mode では斜視眼は外ひきが十分でない。した

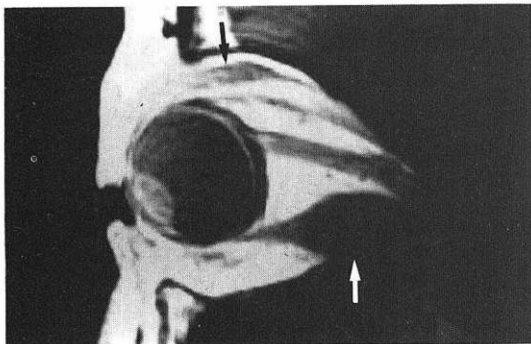


図21 内分泌性ミオパシー（症例8）。
上眼瞼挙筋と下直筋の強い肥厚を認める（矢印）。

がって一見外ひき障害があるようにみえるが、これは斜視角が大きいためにみられる現象である。実際固視眼を交代させると右眼の運動は正常で内直筋の伸展、外直筋の収縮は正常である（図23）。

斜視、とくに斜視角の大きい場合には眼筋の形態、運動に何らかの病的所見が発見させるのではないかと期待したが、現在のところ、特徴的所見は発見されない。先天性非共同斜視では外眼筋そのもの、あるいは筋膜の形態的变化があるものと考えられるので症例の検討がすすめば種々の病変が発見されることが期待される。

VI 筋移動手術

眼球運動障害のうち麻痺性斜視には外眼筋手術が有効な例が少なくない。

治療の方針の基本は第1に麻痺の固定をまつ。次に術式は運動障害が軽く、両眼の運動の共同性が比較的良好に保たれた斜視になっている場合は、はりあい筋の後転と麻痺筋の前転あるいは切除短縮が有効である。

麻痺が強く共同性が障害されている場合は麻痺筋手術は無効で、はりあい筋の後転と隣接する筋の移動手

術でしか眼位は矯正できない。

筋移動手術は麻痺筋に隣接する筋を麻痺筋の作用方向に移動する手術であり、従来から多くの術式がある^{45)~54)}（図24）。術式は異なってもそのねらいは全く

図22

図23

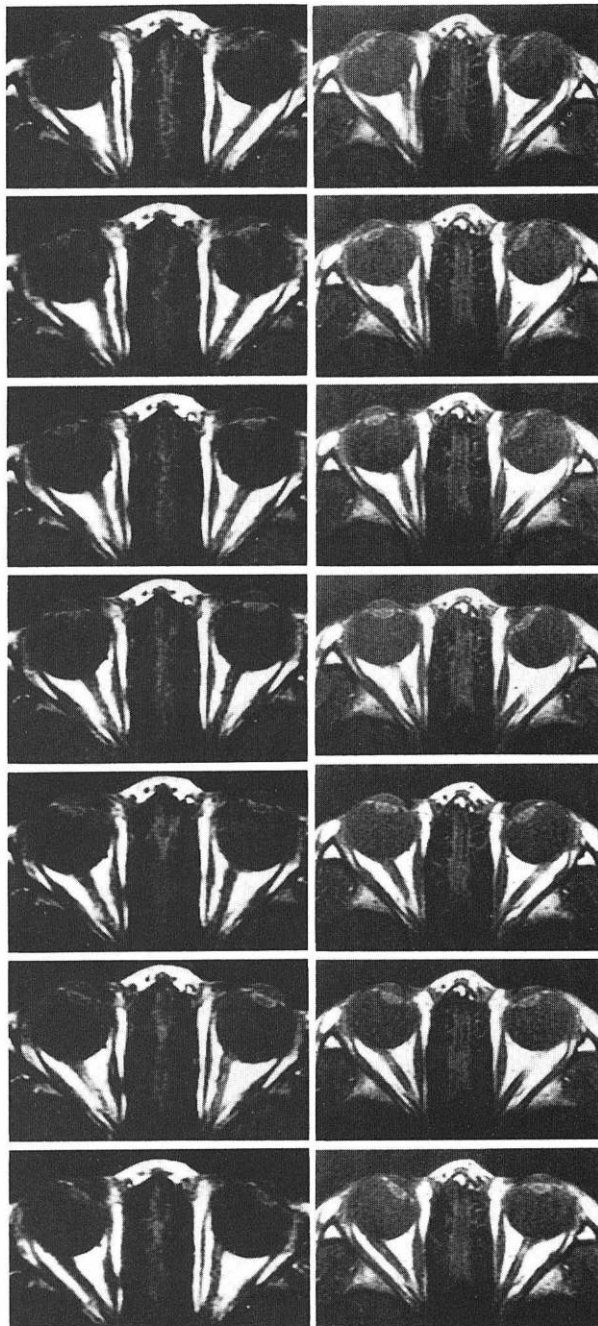


図22 外斜位・斜視（症例9）。
眼球運動、内、外直筋の収縮、弛緩は正常。

図23 内斜視（症例10）。
右眼固視、左眼内斜視の状態、上から下へ右むきから左むき眼位。左眼は一見外直筋麻痺と同じ所見を呈しているが、固視眼を交代すると左眼も全く正常の所見が観察される。

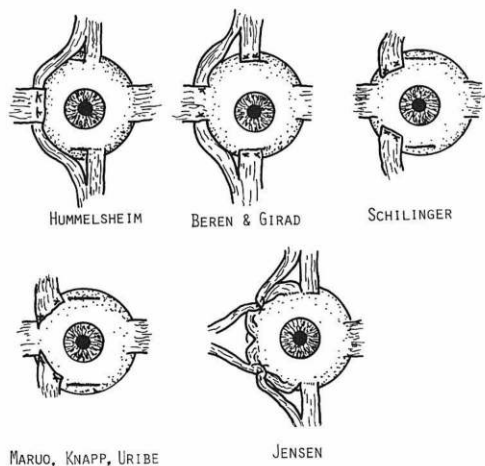


図24 筋移動手術の種類.

同じであると思われる。

1. 作用機序

その作用機序を明らかにするためにまず遺体による実験を試みた。すでに長期間の固定剤の影響で生体とは異なり、組織は伸展性が乏しくなっている。しかし基本的な解剖的關係はよく保たれている筈である。まず眼窩外壁を大きく除去し、外直筋を付着部から後方起始部近くまで露出する。眼窩内脂肪組織を丁寧に除し、上下直筋、下斜筋を露出する。

ここで上直筋と下直筋の付着部で付着部の耳側半分を強膜からはずし、ここから筋を走行に沿って2分す

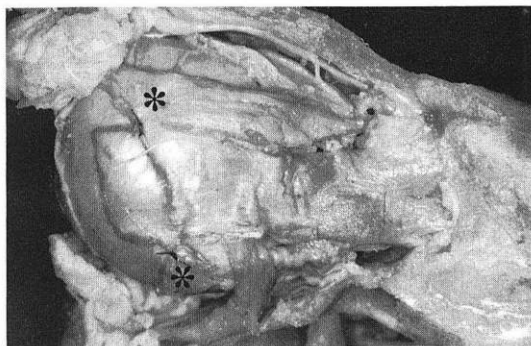


図25 死体眼に置ける筋移動手術.

*は移動した上直筋と下直筋の耳側半分、外球は外ひき方向に引張られている。

る。このようにして得られた耳側半分の筋を外直筋付着部の上縁の強膜に、また下縁の強膜に下直筋半部分を縫着した。つまり Hummelsheim 法を死体眼で行ったのである。

この実験的手術によると、筋を移動して縫着するとその直後に眼球は外ひきになり、外直筋はゆるくなり、外直筋が鼻側に凹む。つまり死体眼では筋の伸展性が少なく外ひきになるのは機械的効果であることを示している(図25)。

次にこれを生体にあてはめて考えてみる。図26の(A)は右側外直筋麻痺により右眼内斜視となっている状態を示す。これに対して上下直筋を耳側に移動して縫着すると回旋点に対して作用点が耳側に移動するた

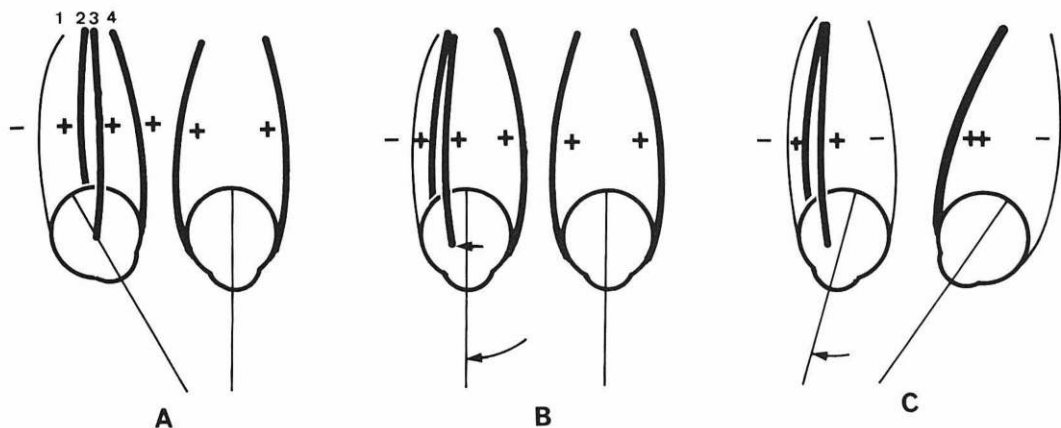


図26 筋移動手術の作用機序.

A: 右眼は外直筋麻痺により内斜視となっている。1. 麻痺筋, 2. 下直筋, 3. 上直筋, 4. 内直筋。
B: 上下直筋を麻痺筋側に移動、眼位が矯正される。C: 右むき運動のとき、右眼はトーマスの差で受動的に外ひきが可能となる。

め、機械的に眼位は外ひき方向に回転し、眼位は矯正される(図26B)。さらに右むきを命じると固視眼(健眼)の内直筋はトーンスを上げ、外直筋はトーンスを下げて内ひきとなる。右眼は外直筋が麻痺しているの



図27 外傷による左眼外転神経麻痺(症例11).
a: 正面視, b: 左むきにおいて左眼は外ひきが強く障害されている。

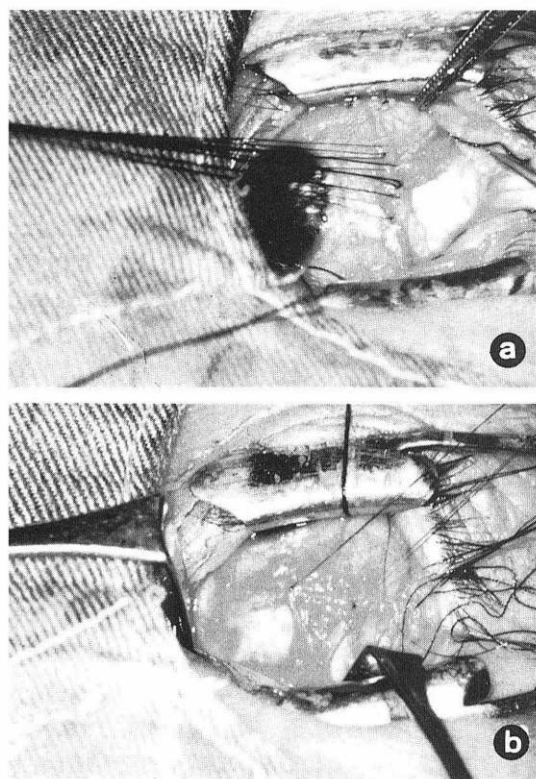


図28 筋移動手術(Beren & Girad法).
a: 上下直筋の耳側半分を外直筋附着部に縫着, b: 残りの下直筋の鼻側半分も耳側へ移動。

でこれのトーンスは上がらない。また移動した上下筋は右むきでは神経支配の関係でトーンスは変化しない(神経支配は変化していないことを筋電図で確かめている)。しかし内直筋はトーンスを下げる。したがって右眼においては上下直筋のトーンスが内直筋のトーンスに対して比較的に高い状態になるので眼球は外ひきになる(図26C)。このような機序で眼筋移動によって眼位の矯正のみならず、麻痺筋の作用方向への運動が獲得されると考えられる。このことについて記載した論文は少ないが、藤本⁵⁵⁾は同様の考察をしている。

2. 長期観察症例

症例11. 70歳の男性。

1971年交通事故により両眼外転神経麻痺が起こり、右眼は自然に改善、左眼外転神経麻痺が残る、麻痺性内斜視が固定した(図27a, b)。1年後に左眼の内直筋後転と上下直筋の移動手術(Beren & Girad法)を施行した(図28a, b)。眼位は第1眼位で軽い外斜位となり、左方視でも左眼外ひきが相当可能となり、複視は正面のみならず左方視10°以内は消失した(図29



図29 術後眼位(症例11).
a: 正面視, b: 左むき眼位で左眼外ひきが可能となっている。

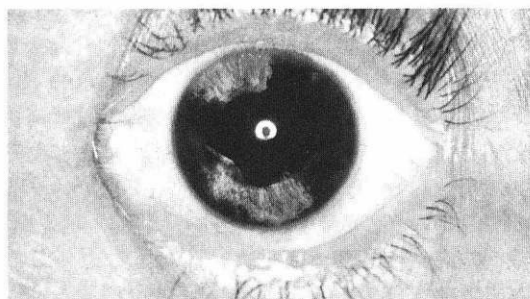


図30 筋移動術後の虹彩萎縮。

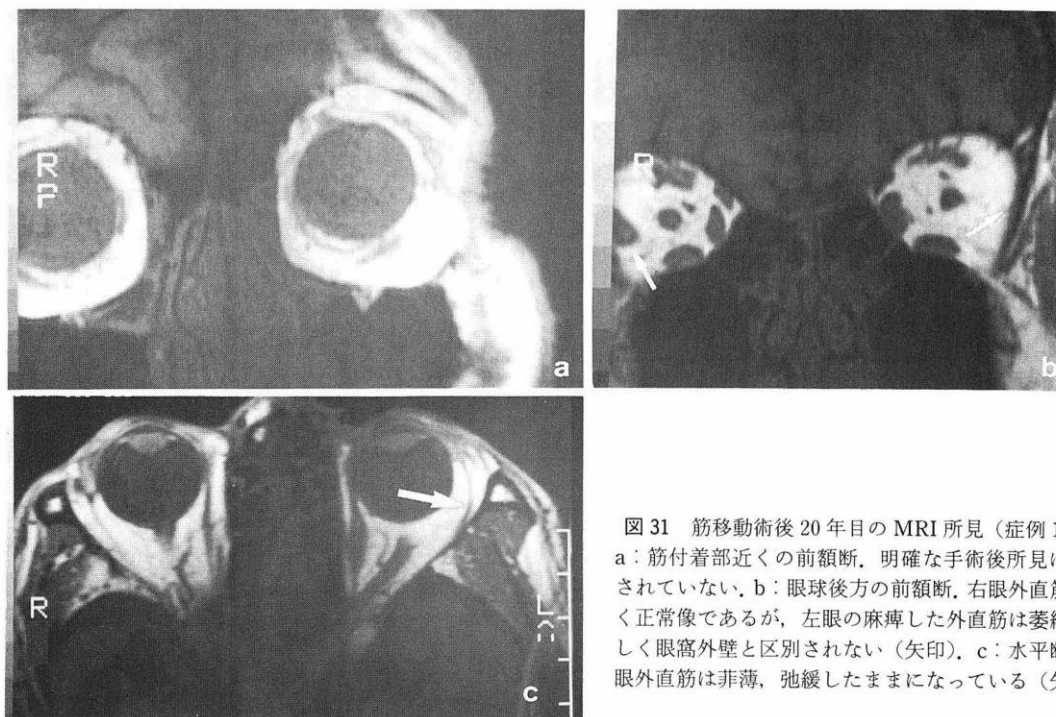


図31 筋移動術後20年目のMRI所見(症例11).
a: 筋附着部近くの前額断, 明確な手術後所見は撮像されていない. b: 眼球後方の前額断, 右眼外直筋は太く正常像であるが, 左眼の麻痺した外直筋は萎縮が著しく眼窩外壁と区別されない(矢印). c: 水平断, 左眼外直筋は菲薄, 弛緩したままになっている(矢印).

a, b). しかし, 左眼はすべての直筋を附着部から一旦切断したので, 術後から瞳孔は拡大し, 強い循環障害による虹彩の萎縮をきたした(図30).

さてMRI所見では, 移動筋の状態は期待に反して明確ではない(図31 a). これは手術が眼球附着部付近だけで行われているので筋の走行の変化を強くは起こしていないためであると考えられる. しかし麻痺筋である外直筋は萎縮が著明で弛緩し, 眼窩耳側壁に接している(図31 c). 前額断では骨壁と区別できない(図31 b).

Cine modeでは水平眼球運動時に麻痺眼の外ひき運動が不十分であることが明らかで, 菲薄な外直筋は全く収縮していない. 内直筋は筋腹が肥厚していて, 伸展時にもなお筋腹は太い. これは内直筋が拘縮している所見と考えられる(図32).

この例で見える限り筋の移動手術による移動筋は筋の走行は強く変らないので現在のところはっきりした所見は撮像されていない. さらに精度を上げたスライスの数を増やす必要があると考える.

3. 筋移動手術改良の試み

症例11では筋移動手術が極めて有効であったが虹彩萎縮という強い副作用を引き起こした. このような

副作用については⁵⁶⁾⁵⁷⁾Hummelsheim法のみならず, 副作用が少ないとされているJensen法ですら発生したという報告がある⁵⁸⁾. この反省から改良点として副作用のないこと, および手術効果の安定をめざした. 種々の方法を試みたが(図33 a, b, c), まず副作用を防ぐ意味で移動筋を附着部からはずさないことにした. 筋附着をはずさない方法としてはJensen法があり, その効果についての評価は高い⁵⁹⁾⁶⁰⁾. しかし, 麻痺筋に移動筋を縫着してこれを利用することは効果の持続を保つことが出来ない例を経験した⁷⁾⁵²⁾. また麻痺筋自身を手術によって作用を強めることはできないので, 麻痺筋には手術を加えないことにした. また麻痺筋に頼りこれを利用することをすべて止めた. このようにして新しく行ってきた方法は次のとおりである.

上下直筋を筋腹で筋の走行に沿って2分し, 附着部から後方10~12 mmの耳側半分を麻痺している外直筋上下縁に移動させ6-0ナイロン糸で強膜に2糸縫着する. なお半切した切面側も強膜に固定して作用点の安定維持をはかった. はりあい筋の内直筋は型どおり後転する(図34).

この方法では副作用は全くなく, 第1眼位は正位となり, 外ひきは30°位は可能となる. 健眼との共同性は

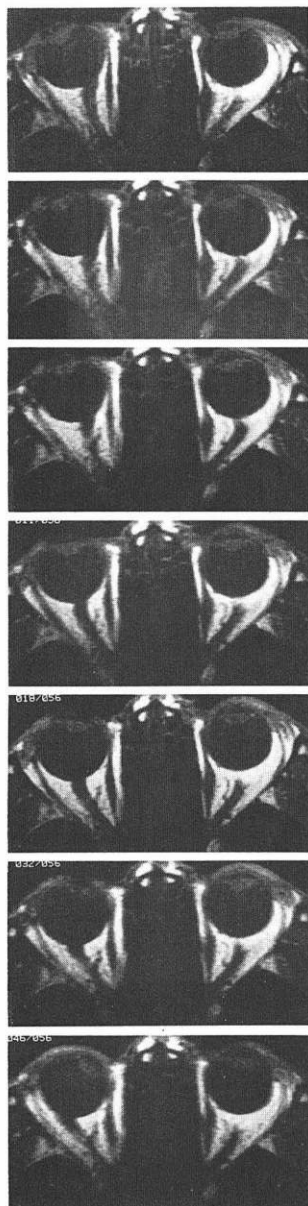


図 32 Cine mode MRI による術後 20 年の所見 (症例 11)。左眼外直筋は非薄、弛緩したままである。内直筋は収縮したまま、弛緩が不十分である。

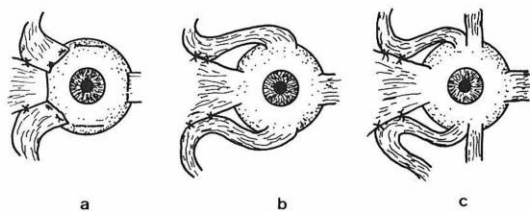


図 33 筋移動術の変遷。

a:隣接筋を付着部からはずして、麻痺筋近くの強膜に固定。効果を強めるために移動筋と麻痺筋の筋腹を縫合。b:移動する筋は付着部からはずさずに麻痺筋の筋腹に縫合。c:移動する筋の筋腹を2分し、麻痺筋の筋腹に縫合。

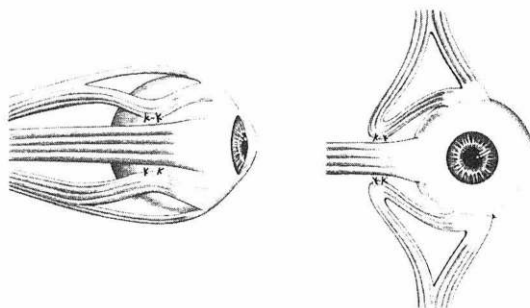


図 34 改良筋移動術(稲富、佐々本、図説眼科手術書、メジカルビュー社より改変)。筋は付着部からはずさない。2分して移動した筋腹は強膜に固定縫合する。

これの応用ということになるが、これらはその症状に応じての筋の移動を行って筋の作用ベクトルを変えればよい。この際には、症状が複雑で障害が強いときには筋の付着部は思いきってははずし、移動量を大きくすることも必要である⁴⁹⁾。また麻痺の固定を待つ間にはりあい筋の拘縮を予防するために運動療法を行うこともすすめられてよい⁶¹⁾。

Duane 症候群では筋組織の形成不全があり、全く筋として作用していないことが多く、この筋が作用しないのみならず伸展しないことによる機能的障害となっているので、まずこれを逆に後転し外転神経麻痺と同様に隣接する筋による筋移動手術を行うと効果的な症例もある。

VII 眼球運動時の眼筋の動態

Cine mode MRI によって眼球運動そのものとその時の外眼筋の動態が画像として極めて鮮明に提供される。いわば一見して状態が分るのである。これをもっ

大体 15°位まで回復し、複視が消失する。

現在のところ外転神経麻痺にはこの方法により極めて有効、かつ安定した良い成績を得ている⁷⁾⁵²⁾⁵⁴⁾。

その他の眼球運動障害、例えば外傷性運動障害では

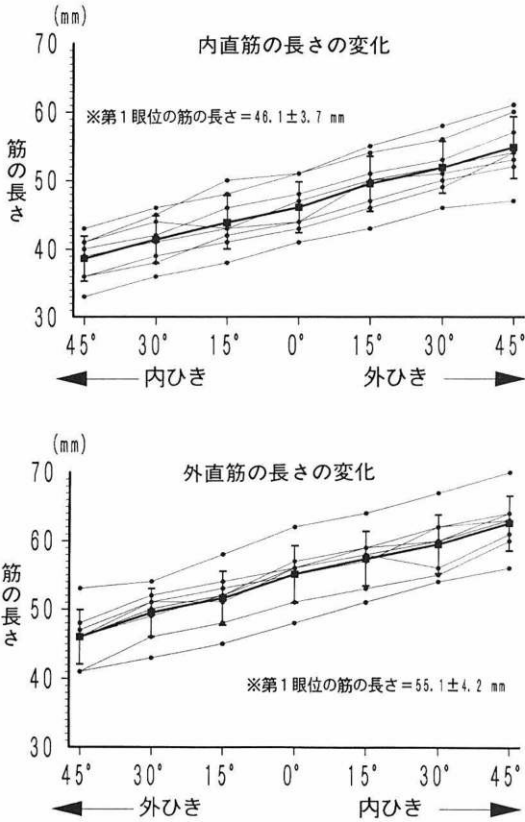


図 35 外眼筋の長さと言位との関係。

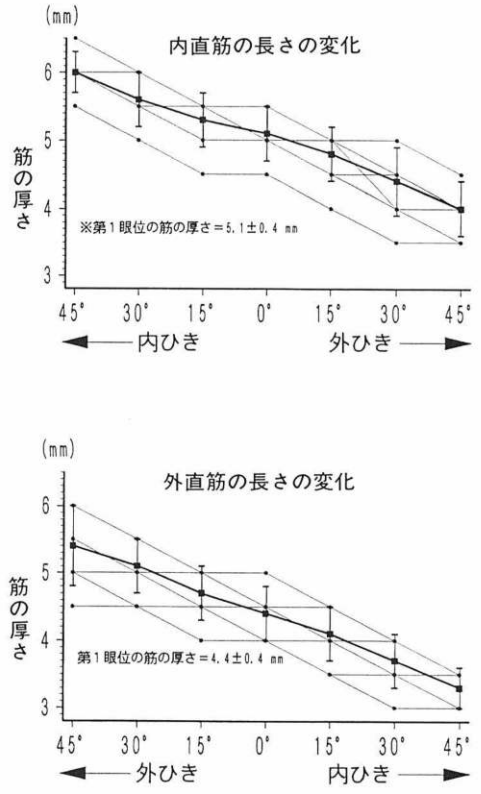


図 36 外眼筋の厚さと眼位との関係。

と確実なものとして定量することは症状の程度、経過、予後の判定また治療法の選択上有用であると考えられる。そこで MRI によってギャップレス 3 mm 厚で得られた静止画像から、眼筋の形態、運動時の形態的变化を判定し、麻痺筋の萎縮、筋の肥大、肥厚の有無を測定した⁶²⁾。

正常者の外眼筋の第 1 眼位における長さの平均は内直筋 46.1±3.7 mm、外直筋は 55.1±4.2 mm である。

厚さは内直筋 5.1±0.4 mm、外直筋 4.4±0.4 mm である。体積は内直筋 690±87 mm³、外直筋 764±7 mm³である。

ひき眼位における筋の長さの変化は図 35 の通りである(図 35)。筋の厚さの変化は図 36 の通りであり、外直筋、内直筋ともに外ひき、内ひきそれぞれ 45°で 1 mm の増減を起こす(図 36)。これらをまとめると表 4、5 となる。このような正常値を基礎にして病的な状態を比較することは実際には少々無理がある、というのはすべての場合に同じ条件、つまり MRI のスライスの条件を同じ位置に設定することは極めて困難で

表 4 外眼筋の長さ(単位:mm)

筋 名	眼 位		
	内ひき 45°	第一眼位	外ひき 45°
内直筋	38.6±3.3	46.1±3.7	54.8±4.5
外直筋	62.6±4.0	55.1±4.2	46.0±3.9

表 5 外眼筋の厚み(単位:mm)

筋 名	眼 位		
	内ひき 45°	第一眼位	外ひき 45°
内直筋	6.0±0.3	5.1±0.4	4.0±0.4
外直筋	3.3±0.3	4.4±0.4	5.4±0.6

あるからである。一応の基礎データとしてこれを参考にし、病的な状態は同一人の健眼との比較によって得る方が良いと考えられる。次に症例によってその成績を示す。

症例 12. 52 歳の女性。

MRI では右眼外直筋は菲薄となり、弛緩している



図 37 52 歳の右眼外直筋麻痺 (体積の比較).
内直筋: 右 792/左 798 mm³=100%, 外直筋: 右 264/
左 966 mm³=29%. 矢印が麻痺筋.

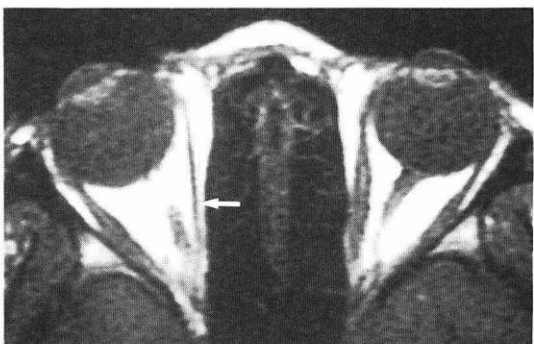


図 38 21 歳の女性, 右眼動眼神経麻痺.
内直筋: 右/左=69%. 矢印が麻痺筋.

(図 37). これの体積を計測してみると右外直筋は左に
比して 29%に減少している.

症例 13, 21 歳の女性.

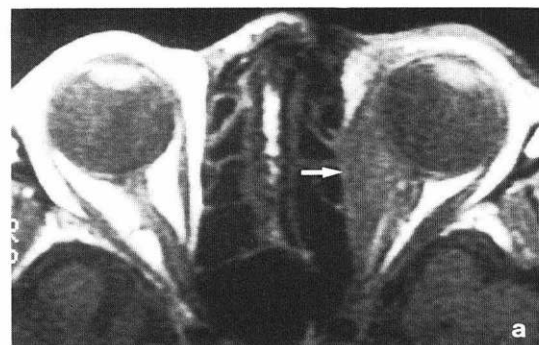


図 39 71 歳の左眼外眼筋炎.

a: 治療前, 内直筋: 左/右=492%, 外直筋左/右=145%. b: 治療後, 内直筋: 左/右=215%, 外
直筋: 左/右=110%. 矢印が麻痺筋.

右眼動眼神経麻痺で内直筋は非薄であるが, 弛緩は
ない (図 38). この体積比は 69%である.

症例 14, 71 歳の男性.

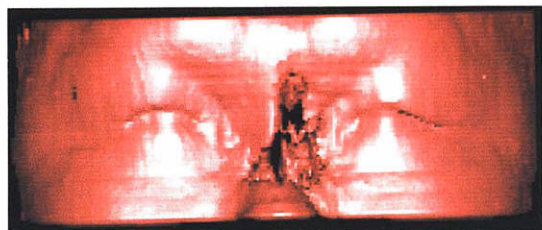
左眼の外眼筋炎で MRI によると左内直筋は眼窩内
で脂肪組織を押し退けて肥大している (図 39 a). 右眼
との比は 492%で大体 5 倍に肥大している. 外直筋も
やや肥大し, 右眼との比は 145%である. 副腎皮質ホル
モン療法で軽快した時の MRI の所見を図 39 b で示す
が, 左眼内直筋の体積は 215%で約 5 倍から 2 倍まで
縮小している. 外直筋は 110%で健眼とほぼ同じに回
復している.

このように体積を計測することによって病態の側面が
分り, 症状の程度を把握することができるように
なった.

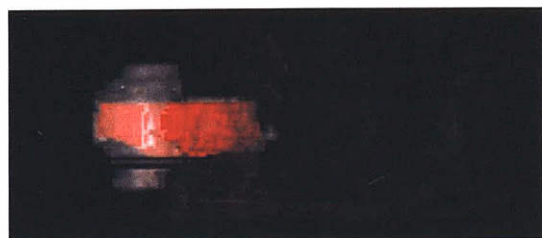
このような画像診断法から外眼筋の動態を測定する
ことを松浦ら⁶³⁾は X 線 CT 像から行っている. これに
よると内直筋の厚さは 3.7 mm, 外直筋の厚さは 3.2
mm であり, 45°のひき運動による収縮率は内直筋で
1.25 倍, 外直筋で 1.5 倍, 伸展率は内直筋 0.6 倍, 外
直筋は 0.7 倍という成績を得ている. われわれの成績
と比べると CT では筋がやや薄く撮像されるようであ
る. また小松⁶⁴⁾⁶⁵⁾, 太根ら⁶⁶⁾は超音波によって生体計測
を多数例によって精密に測定している.

これによると成人 240 眼の平均値は内直筋 3.5±
0.24 mm, 外直筋 3.4±0.26 mm, 上直筋 3.31±0.35
mm, 下直筋 3.4±0.28 mm であった. この成績もわれ
われの MRI による測定値よりやや小さい.

従来, 筋の計測には種々の困難が伴ってきたが,
MRI では画像がすぐれていることと, 反復撮像が可能
なことで, 外眼筋の厚さの測定と体積の測定は cine



a: 正面からの顔の表面像。鼻部は信号を取っていないために欠如している。



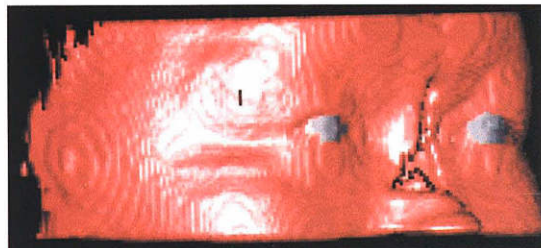
c: 骨部を透明にして左側から左眼と外直筋(赤い部分)を見る。



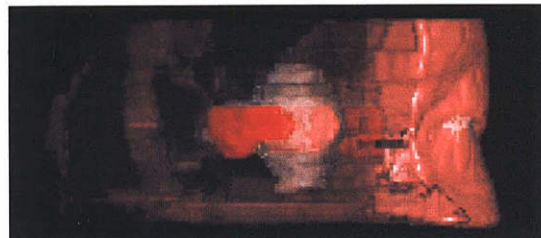
e: 両眼球と視神経, 内外直筋を斜め下方から透見する。



g: 内外直筋を眼球, 視神経から分離している。



b: 左前方からの顔表面像。眼球表面を着色している。



d: 右顔面を透明にして右眼と外直筋を透見している。



f: 斜め下後方から透見する。眼球も半透明にしている。



h: fと同じ方向から透見する。眼球, 視神経, 眼筋とも透明度をなくしている。

図 40 Volume rendering.

断層画像を3次元画像として再構築する。任意の組織臓器を描出、透過率をかえることも、また任意の方向からの画像をつくることも出来る。

modeによる動きを直接みる方法とともに画像診断として臨床上極めて有益なものである。

VIII MRIによる新しい 3次元画像の開発

これについては眼科領域では成瀬⁶⁷⁾が最近のトピックスとして紹介しているが、今回われわれは滋賀医科大学放射線部と共同で研究した、これは volume rendering MRI と呼ばれているものである。

MRIのデータをテープを介してDEC-netによりVAX-8250に転送し、3次元画像専用処理装置TITAN-750またはTITAN-GS-1000に転送して前処理、計算処理をした後3次元表示をした。

眼窩内の外眼筋や眼球は骨部の画像のようにCT値の差が大きいので境界が不鮮明であり、境界決定は自動処理が不可能である。したがって肉眼によりフリーハンドでトレースし、閾値処理をした後に3次元表示処理を行った。

この画像そのものは紙面では表現が不十分であるが、立体画像として、局所の状況をより分りやすく見せてくれる(図40)。また、立体画像を任意の方向から見ることも出来る。眼窩内の眼球、外眼筋、視神経の立体画像のみでなく、眼窩内の腫瘍などはその位置、広がり、視神経との関係などがより分りやすく把握できて有用である。

MRI撮像時間の短縮とスライス数の増加によってさらに精密な立体画像が得られるのも間近である。

IX 研究のまとめ

1. MRIは眼球、外眼筋、視神経の画像診断にすぐれている。
2. 眼球運動時の外眼筋の動態を cine mode により診断することができる。
3. 外眼筋の計測(厚さ、体積)は病態の把握に役立つ。
4. 立体的な画像の再構築により、診断がより精密になる可能性がある。

今回発表した研究は両眼視に関する一連の研究の最も新しい部分であって、1988年から開始したものである。

日進月歩の画像診断であるMRIを眼球運動研究に応用したのであるが、機械の進歩が前提とはいえ、それを使う側のソフトウェアが極めて重要であることをこの研究から感じる。また、眼科医のみではとうてい

不可能な分野であり、特に放射線技師の方々の協力があったはじめて遂行できたものである。

最後に特別講演の機会を与えて戴いた日眼評議員会、お世話頂いた第96回日本眼科学会総会長石川 哲教授、座長の丸尾敏夫教授、それに日眼会員各位に感謝します。

この研究にあたっては表記したように、神戸の甲南病院、京都の蘇生会総合病院、滋賀医科大学放射線部の方々のご協力によって遂行できたものであることに、また貴重な症例をご紹介戴いた先生方に厚くお礼を申し上げます。

本研究は文部省科学研究一般(B) No. 01480415の援助を受けた。

文 献

- 1) Terao N, Inatomi A, Maeda T: Anatomical evidence for the overlapped distribution of ipsilaterally and contralaterally projecting ganglion cells to the lateral geniculate nucleus in the cat retina: Morphologic study with fluorescent tracers. Invest Ophthalmol Vis Sci 23: 796—798, 1982.
- 2) 可児一孝: 視野(2) 視神経の分布と中心視野. 神経眼科 4: 405—412, 1987.
- 3) 稲富昭太, 寺尾直道, 可児一孝, 阿部国臣, 大野隆: 眼底の観察できる新しいハプロスコープ(Fundus Haploscope)について. 臨眼 34: 815—819, 1980.
- 4) 稲富昭昭太, 可児一孝, 佐々木研二, 山出新一, 新井真理, 永田 啓, 他: 回施(まわし)斜視の研究. 日眼会誌 91: 1119—1136, 1987.
- 5) Inatomi A: Retinal correspondence in typical accommodative esotropia. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol 226: 165—167, 1988.
- 6) 佐藤友哉, 井上美奈香, 可児一孝: 新しい眼球運動解析装置について. あたらしい眼科 2: 879—881, 1985.
- 7) 西田保裕, 稲富昭太: 新しい筋移動術. あたらしい眼科 2: 1447—1449, 1985.
- 8) 夢田信平: 画像診断法の比較. 日医会誌 96: 17—18, 1986.
- 9) 湯浅祐二: MRIの原理. 画像診断 10: 18—27, 1990.
- 10) 藤井清文, 島 宏幸: MRI画像の作り方. 画像診断 10: 28—36, 1990.
- 11) 日下部隆則, 福田信男: MRIの原理と応用. 神経眼科 4: 132—138, 1987.
- 12) 岡部 仁, 清沢源弘, 玉井 信: MRIとX線CT, PETとの比較. 神経眼科 4: 142—149, 1987.
- 13) 柿栖米次: MRIの正常画像. 神経眼科 4: 139—141, 1987.
- 14) 柿栖米次, 渡部美博, 豊永直人, 麻羅 薫, 黒田紀子, 安達恵美子, 他: NMR-CTの眼科領域の応

- 用, 眼臨 79: 701—705, 1985.
- 15) 柿栖米次, 安達恵美子, 麻薙 薫, 渡部美博, 豊永直人, 黒田紀子, 他: NMR-CTの眼科領域への臨床応用. 臨眼 39: 882—886, 1985.
 - 16) 柿栖米次, 麻薙 薫, 渡部美博, 安達恵美子, 守田文範, 上松貞夫: 超伝導核磁気共鳴画像(MRI)による眼窩内腫瘍性疾患の撮影条件の検討. 日眼会誌 90: 998—1006, 1986.
 - 17) 麻薙 薫: 眼窩内疾患とMRI. 神経眼科 4: 150—156, 1987.
 - 18) 畑 雄一, 多田信平: 眼科領域におけるMRI. 神経眼科 4: 157—162, 1987.
 - 19) 中尾雄三: MRIと神経眼科. 正常な眼窩・視路・脳幹のMRI像. 神経眼科 6: 53—56, 1989.
 - 20) 中尾雄三: MRIと神経眼科. 眼球・眼窩疾患のMRI像. 神経眼科 6: 378—381, 1989.
 - 21) 中尾雄三: MRIと神経眼科. 視路疾患のMRI像. 神経眼科 7: 58—61, 1990.
 - 22) 中尾雄三: MRIと神経眼科. 脳幹疾患, その他のMRI像. 神経眼科 7: 316—319, 1990.
 - 23) Doxanas MT, Anderson RL: Clinical Orbital Anatomy. Williams & Wilkins, Baltimore, 1984.
 - 24) Zide BM, Jelsk GW: Surgical Anatomy of the Orbit. Raven Press, New York, 1985.
 - 25) 筒井 純: 眼球運動検査法のプログラム. 湖崎克, 松井瑞夫, 丸尾敏夫(編): 眼科検査法ハンドブック. 医学書院, 東京, 273—292, 1985.
 - 26) 佐藤友哉, 小島ともゑ, 可児一孝: Fundus Haploscopeと新しい眼球運動記録解析装置による潜伏眼振の解析. 臨眼 40: 768—769, 1986.
 - 27) Sato T, Inatomi A: Measurement of cyclo-rotatory optokinetic nystagmus using the Fundus Haploscope. Neuro-Ophthalmol Jpn 3: 482—487, 1986.
 - 28) 佐藤友哉, 可児一孝, 福富昭太: 温度眼振検査における眼球運動の解析. 神経眼科 3: 169—175, 1986.
 - 29) 佐藤友哉: 自己眼底像固視時の眼球運動. 第1報. 測定回路および静止網膜像の作製. 神経眼科 9: 62—66, 1992.
 - 30) Leigh RJ, Dell'Osso LF, Yaniglos SS, Thurston SE: Oscillopsia, retinal image stabilization and congenital nystagmus. Invest Ophthalmol Vis Sci 29: 279—282, 1988.
 - 31) Ditchburn RW, Foley-Fisher JA: Information concerning colour derived from a single boundary. Ophthalmic Physiol Opt 3: 233—238, 1983.
 - 32) Cushman WB, Tangney JF, Steinman RM, Ferguson JL: Characteristics of smooth eye movement with stabilized targets. Vision Res 24: 1003—1009, 1984.
 - 33) Bradley A, Schor C: The role of eye movements and masking in monocular rivalry. Vision Res 28: 1129—1137, 1988.
 - 34) Sechtem U, Pflugfelder PW, White PD, Gould RG, Holt W, Lipton MJ, et al: Cine MR imaging potential for the evaluation of cardiovascular function. Am J Roentgenol 148: 239—246, 1987.
 - 35) 似島俊明, 蜂屋順一, 高木 一, 是永建雄, 宮坂康夫, 関 恒明: Cine MRI. 画像診断 9: 927—935, 1989.
 - 36) Burnett KR, Davis CL: Dynamic display of the temporomandibular joint meniscus by using "fast-scan" MR imaging. Am J Roentgenol 149: 959—962, 1987.
 - 37) 西田保裕, 可児一孝, 絵野尚子, 原田 康, 竹内和行: MRIを用いた眼球運動の研究—cine mode MRIによる眼球運動動態の観察—. 神経眼科 6: 416—421, 1988.
 - 38) 可児一孝, 西田保裕, 中村二郎, 絵野尚子, 曾谷治之, 原田 康, 他: Cine Mode MRIによる眼球運動の観察—眼窩内側壁骨折による眼球運動障害—. 眼紀 40: 2553—2557, 1989.
 - 39) Nishida Y, Nishida E, Kani K, Inatomi A: The observation of eye movement using magnetic resonance imaging. In: Campos EC (Ed): Strabismus and Ocular motility Disorders, Macmillan Press, London, 137—142, 1990.
 - 40) Nukina K, Nishida Y, Hayashi O, Mekada A, Inatomi A, Kani K: The observation of eye movement within the orbit using cine mode MRI. In: Tillson G (Ed): Advances in Amblyopia and Strabismus, Fahner Verlag, Germany, 318—321, 1991.
 - 41) 西田保裕: MRIによる眼球運動の画像診断. あたらしい眼科 8: 1857—1866, 1991.
 - 42) Bloom JN, Graviss ER, Mardelli PG: A magnetic resonance imaging study of the upshoot-downshoot phenomenon of Duane's retraction syndrome. Am J Ophthalmol 111: 548—554, 1991.
 - 43) 井上洋一: 甲状腺と眼. 概論. 神経眼科 6: 142—149, 1989.
 - 44) 向野和雄: 内分泌性眼球運動障害. 神経眼科 6: 167—178, 1989.
 - 45) Dyer JA: Atlas of Extraocular Muscle Surgery. Saunders, Philadelphia, 104—125, 1970.
 - 46) 丸尾敏夫: 眼筋麻痺手術の定量. 眼臨 72: 1402—1407, 1978.
 - 47) 丸尾敏夫: 外眼筋. 2) 麻痺. 眼科 21: 1251—1254, 1979.
 - 48) Parks MM: Atlas of Strabismus Surgery.

- Harper & Row, Philadelphia, 1983.
- 49) 村田 靖, 稲富昭太: 眼筋移動法の手術適応. 臨眼 37: 368—369, 1983.
- 50) Helveston EM: Atlas of strabismus surgery (3rd ed), CV Mosby, St. Louis, 241—259, 1985.
- 51) 丸尾敏夫, 久保田伸枝: 斜視・弱視診療アトラス, 第2版. 金原出版, 東京, 258—259, 1986.
- 52) 西田保裕, 稲富昭太: 新しい筋移動術の検討. 臨眼 42: 823—826, 1988.
- 53) Wright KW: Muscle transposition for rectus palsy. In: Wright KW, et al (Eds): Color Atlas of Ophthalmic Surgery. Strabismus, Lippincott, Philadelphia, 135—143, 1991.
- 54) 稲富昭太, 佐々本研二: 麻痺性斜視の手術術式. 水野勝義, 永田 誠(編): 改訂版図説眼科手術書上巻. メジカルビュー社, 東京, 170—180, 1991.
- 55) 藤本房子: 外直筋麻痺に対する Jensen 手術の経験. 近畿中央病院年報, 1980, 125—135, 1981.
- 56) Forbes SB: Muscle transplantation for external rectus paralysis. —Report of case with unusual complications—. Am J Ophthalmol 48: 248—251, 1959.
- 57) 長谷川一郎, 相沢美束: 外眼筋麻痺に対する筋移植後合併症を起こした2症例. 臨眼 26: 1321—1328, 1972.
- 58) von Norden GK: Anterior segment ischemia following the Jensen procedure. Arch Ophthalmol 94: 845—847, 1976.
- 59) 粟屋 忍, 小澤哲磨: 麻痺性斜視に対する Rectus Muscle Union 法の評価. 日眼会誌 85: 238—241, 1976.
- 60) 白土城照, 小澤哲磨: 麻痺性斜視に対する Rectus Muscle Union 法の評価. 日眼会誌 85: 238—241, 1976.
- 61) 稲富昭太, 根来良夫, 町田照代, 森 佳子: 外眼筋麻痺に対する眼球運動療法について. 臨眼 17: 37—39, 1963.
- 62) 西田保裕, 林 理, 西田恵理, 稲富昭太, 可児一孝: MRI を用いた眼球運動の研究—MRI による水平外眼筋収縮動態の計測—. 神経眼科 9(印刷中).
- 63) 松浦雅史, 筒井 純, 市橋宏亮: 正常水平直筋の動的 X 線 CT 像における収縮と伸展. 眼臨 81: 2220—2221, 1987.
- 64) 小松 章: 外眼筋の形態学的研究(第1報). 正常眼外眼筋厚度の超音波生体計測. 臨眼 36: 469—474, 1982.
- 65) 小松 章: 外眼筋の形態学的研究(第2報). 内分泌性眼球突出など2—3の眼窩疾患における外眼筋厚度の超音波生体計測について. 眼紀 33: 1987—1993, 1982.
- 66) 太根節直, 清水春一, 小松 章, 井口登紀子, 大庭久貴, 阪本寿美, 他: 外眼筋計測に関する研究(第1報). 正常, 並びに病的眼の外眼筋厚度の超音波計測. 日眼会誌 84: 1686—1690, 1980.
- 67) 成瀬昭二: 磁気共鳴イメージング(MRI)とスペクトロスコピー(MRS). 神経眼科 7: 279—290, 1990.