Magnetic resonance imaging による水平外眼筋の体積測定

西田 保裕¹, 林 理¹, 西田 恵理¹, 村田 豊隆¹, 青木 佳子¹ 稲富 昭太¹, 可児 一孝¹, 馬淵 順久², 古谷 義明² 滋賀医科大学眼科学教室¹, 蘇生会総合病院放射線科²

要 約

Magnetic resonance imaging(MRI)装置を用いて 11名の成人正常者と 3名の眼球運動障害患者の水平外眼筋体積を計測した。装置は 1.5 tesla 超電導 MRI である GE 社製 Signa Advantage を用いた。方法は眼窩内 MRI を 3 mm の水平ギャップレススライスで撮像した。得られた画像をオーバーヘッドプロジェクターにてケント紙に拡大投影し,外眼筋の輪郭をトレースした。トレースされた外眼筋像を切り抜き,全スライスの重量を測定し外眼筋体積に換算した。求められた水平外眼筋体積の平均は,内直筋が 690 ± 87 mm³,外直筋が 734 ± 77 mm³であった。また,眼球運動障害患者で末梢神経麻痺の 2 例では麻痺筋の明らかな萎縮が,外眼筋炎の 1 例では罹患筋の明らかな肥大が認められた。今回の計測は眼球運動障害患者の外眼筋を評価する上で,他の検査法と同様に有用な方法と考えられた。(日眼会誌 97:827-833,1993)

キーワード: 外眼筋体積, 外眼筋, 眼球運動, 眼球運動障害, MRI

Volume Measurement of the Horizontal Extraocular Muscles

Using Magnetic Resonance Imaging

Yasuhiro Nishida¹⁾, Osamu Hayashi¹⁾, Eri Nishida¹⁾, Toyotaka Murata¹⁾, Yoshiko Aoki¹⁾, Akihiro Inatomi¹⁾, Kazutaka Kani¹⁾, Norihisa Mabuchi²⁾ and Yoshiaki Furutani²⁾

Department of Ophthalmology, Shiga University of Medical Science¹⁾
Department of Radiology, Soseikai General Hospital²⁾

Abstract

The volume of the horizontal extraocular muscles of 11 normal adults and three patients with ophthalmoplegia was measured using magnetic resonance imaging (MRI). The MRI examinations were carried out with a Signa Advantage, 1.5 tesla superconductive magnetic system manufactured by General Electric. This method employs the spin echo technique with a 3.0 mm gapless slice, a 350 ms. repetition time, and a 17.0 ms. echo time. The MRI films were projected and magnified on Kent paper using an overhead projector. Then the shapes of the horizontal extraocular muscles were traced. The volume of the muscles was measured as the total weight of Kent papers which were cut out from muscle shapes in all the slices. The average volume of the normal medial and lateral rectus muscles was $690\pm87~\mathrm{mm}^3$ and $734\pm77~\mathrm{mm}^3$, respectively. Two cases with peripheral nerve palsy showed typical atrophy of the paretic muscles. A case with orbital myositis showed typical hypertrophy of the inflammed muscles. This measurement may prove useful in the analysis and evaluation of extraocular muscles, especially in ophthalmoplegia. (J Jpn Ophthalmol Soc 97:827-833, 1993)

Key words: Extraocular muscle volume, Extraocular muscle, Eye movement, Ophthalmoplegia, MRI

別刷請求先:520-21 大津市瀬田月輪町 滋賀医科大学眼科学教室 西田 保裕

(平成4年10月30日受付,平成5年3月15日改訂受理)

Reprint requests to: Yasuhiro Nishida, M.D. Department of Ophthalmology, Shiga University of Medical

Science, Tsukinowa-cho, Seta, Otsu 520-21, Japan

(Received October 30, 1992 and accepted in revised form March 15, 1993)

I 緒 言

当初は限られた施設でしか行われなかった MRI (magnetic resonance imaging) も,技術の進歩による画像の質的向上や多くの撮像方法の開発がなされ,今日では多くの施設で導入・普及し,一般画像検査の中核を成しつつある.眼科領域¹⁾⁻³⁾でも眼窩内の腫瘍性病変を中心に画像診断に大きな威力を発揮している.

この MRI を用い、外眼筋機能評価における画像診断法4050として、前回我々60は水平外眼筋収縮動態のひとつの指標である眼球運動時の水平外眼筋の厚さ7080 および長さを計測した。また、過去には X線 CT を用いた外眼筋を含む眼窩内組織の計測が Forbes³⁰、中村¹⁰⁰、Nugent¹¹⁰によって行われている。今回我々も病的外眼筋の病態、特に筋萎縮・筋肥大を定量的な画像診断で行うひとつの方法として、MRI にて正常者および眼球運動障害患者の水平外眼筋の体積を計測した。

II 方 法

対象は正常成人 11 名(年齢 25 から 43 歳, 男性 6 名, 女性 5 名) と眼球運動障害患者 3 名 (外転神経麻痺 1 名, 動眼神経麻痺 1 名, 外眼筋炎 1 名) である.

使用した MRI 装置は 1.5 tesla 超電導 MRI である General Electric 社製 Signa Advantage¹³を用いた. 画像は頭部サーフェイスコイルを用いて,繰り返し時間 TR=350 msec,エコー時間 TE=17 msec,撮像領域 130 mm,マトリックス数 256×128 ,スライス厚 3 mm の水平ギャップレススライスとした.体積測定には,被検者をガントリー内の固視標により正面視させた画像を採用した.

図1は、その得られた眼窩像である。この画像フィルムをオーバーヘッドプロジェクターにてケント紙上に拡大投影し、図内の黒の縁どりで示したように各スライスの外眼筋像をトレースした。

水平外眼筋の体積は、各スライスで得られた外眼筋のトレースの面積値にスライス厚を乗じた値の総和に近似した。すなわち、ケント紙にトレースした外眼筋スライスを切り抜いて質量を天秤で測り、その質量を面積値に換算し、得られた面積値にスライス厚 $3 \, \mathrm{mm}$ を乗じた値を全スライスで求め、その総和を水平外眼筋の体積とした。また、今回の MRI でのボクセルの大きさは $130/258 \times 130/126 \times 3 = 1.5 \, \mathrm{mm}^3$ であるため、体積値を $1 \, \mathrm{mm}^3$ の値まで有効数字とした。



図1 正常眼窩内水平断 MRI. オーバーヘッドプロジェクターにて画像をケント紙上 に拡大投影し、水平外眼筋を黒の縁どりのようにト レースした後、切り抜いた。

III 結 果

表 1 および図 2 , 3 は,正常成人 11 名の左右での内外直筋の体積を示した表およびそれをブロットしたグラフである。また,同一被検者の左右外眼筋の値を線で結んでいる。11 名の内直筋の体積の平均は 690 ± 87 mm³,外直筋の体積の平均は 734 ± 77 mm³で,両直筋に値の差はなかった。

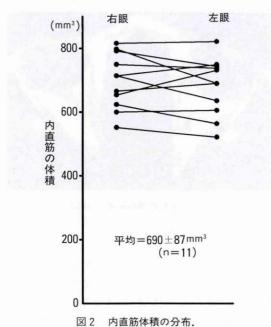
病的水平外眼筋と比較する上で、当初この平均値を正常値設定の基準に用いようと考えていたが、表およびグラフで示すように内外直筋とも体積の個人差が非常に大きく、11名の値のなかで内直筋体積の最小は522 mm³、最大は822 mm³と最大値は最小値の約1.6倍、外直筋では最小が606 mm³、最大が882 mm³と最大値は最小値の約1.5倍となった。このために病的外眼筋を評価するうえで正常者の平均値だけで判断するのは困難と考えた。

しかし、各被検者同志でばらつきのある体積値も同一被検者の左右で比較すると、図2、3に示すようにプロットを結んだ線の傾きが著明でなく、左右差が比

表1 正常水平外眼筋の体積 正常被検者11名の内直筋,外直筋の体積値を表に示す。

-		右内直筋	左内直筋	右外直筋	左外直筋
44 歳	男性	654	732	828	852
27歳	男性	552	522	660	690
32 歳	男性	750	738	798	840
34 歳	女性	798	690	672	696
32 歳	女性	714	750	720	732
22 歳	女性	600	606	606	642
28歳	男性	816	822	810	882
26歳	男性	792	744	714	720
28 歳	女性	666	690	732	798
25 歳	男性	714	636	612	702
26 歳	男性	624	564	720	732

(単位は mm³)



四2 四旦別体領のカ市

正常被検者の内直筋体積値を黒丸でブロットし,同一 被検者の左右眼での値を実線で結んでいる.

較的小さい.よって、病的水平外眼筋の体積変化を評価するためには、その症例の健側の同じ直筋と比較するのが妥当であると考えた.そして、どの程度の左右差までが正常範囲かを設定するために正常者の各直筋の左右差を求めてみた。図4、5は、内直筋および外直筋の左右差を求めたグラフである。内直筋では左右差の平均が44±34 mm³、外直筋の平均が38±27 mm³であった。また、最も左右差のある被検者でも、その差は内直筋では108 mm³、外直筋では90 mm³で、両直

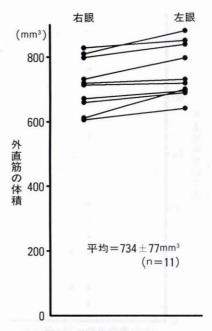


図3 外直筋体積の分布. 正常被検者の外直筋体積値を黒丸でプロットし,同一 被検者の左右眼での値を実線で結んでいる.(720~732 mm³という組合せデータが2つあり重複しているた め線は10本しかありません)

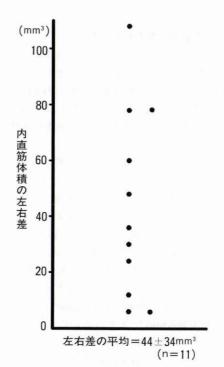


図4 同一被検者での内直筋体積の左右差の分布. 各被検者の左右眼での体積値の差を黒丸でブロットしている.

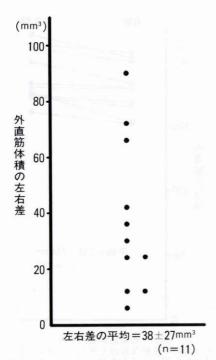


図5 同一被検者での外直筋体積の左右差の分布. 各被検者の左右眼での体積値の差を黒丸でプロットしている.

筋とも実測値の十数%程度であった.

以上のことから病的水平外眼筋の体積評価の目安として、病的外眼筋と健常筋の体積の差が少なくとも両直筋の左右差の平均と標準偏差の和の約2倍、また左右差の最大値の約1.5倍に相当する150 mm³以上の場合は、筋萎縮または筋肥大という外眼筋体積の異常が示唆されるのではないかと考えた。

次に実際に外眼筋体積を求めた代表症例について述べる.

症例1:52 歳女性, 右外転神経麻痺.

三叉神経鞘腫による完全外転神経麻痺で右外ひきが全く不良で正中線を越えず著しい内斜視を示したため、上下直筋を用いた筋移動術を行った。図6は、発症後約8年の水平眼窩内 MRI である。筋移動術により眼位はほぼ正位であるが、右の外直筋は非常に薄くかつ緩んでおり、内直筋が右792 mm³、左798 mm³、左外直筋が906 mm³であるのに対して、右外直筋は264 mm³で,両外直筋の体積差は642 mm³と著しい萎縮を示した。また、cine mode MRI¹²²~¹ァ¹での水平眼球運動でも右外直筋の収縮は全く観察されなかった。

症例 2:21 歳女性,右動眼神経麻痺.

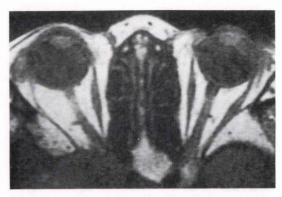


図6 右外転神経麻痺の MRI. 右外直筋は左外直筋に比べて著明に非薄化しており、 かつ緩んでいる。

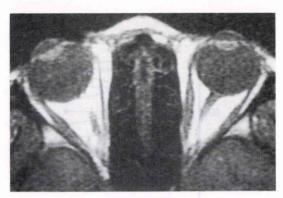


図7 右動眼神経麻痺の MRI. 右眼は外斜し,右内直筋は左眼に比べ菲薄化している.

モヤモヤ病のバイパス術後発症した症例で、内ひき、下ひきが全く不良で正中線を越えず著明な外・上斜視を示した。図7は、発症後約3年の眼窩内 MRI である。外直筋は右840 mm³、720 mm³、左内直筋は666 mm³に対して、右内直筋は462 mm³で、両内直筋の体積差は204 mm³と萎縮していた。この症例はその後右外直筋後転術を行ったが効果なく、下直筋も麻痺していたために上直筋のみの筋移動術でも満足な眼位改善が得られなかった。

症例3:71歳男性,左外眼筋炎.

図8で示すように、左内直筋の著明な腫大が認められる。内直筋の体積は右624 mm³、左3,072 mm³、外直筋は右510 mm³、左738 mm³であった。内直筋では左右差が2,448 mm³と左内直筋の著明な腫大がある。また、外直筋も左右差が228 mm³となり、今回の計測で左外直筋にも炎症があり、腫大していることが示唆

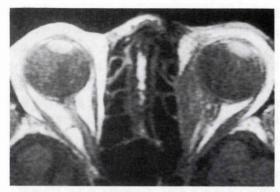


図8 左外眼筋炎 (治療前) の MRI. 左内直筋が右に比べ著明に腫大している。また計測の 結果, 左外直筋も腫大しているのがわかった。

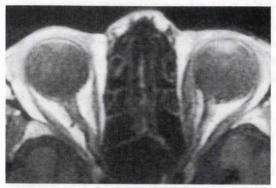


図9 左外眼筋炎 (治療後) の MRI. 治療後の計測の結果, 左内直筋の腫大は約半分に軽減 した. また左外直筋の体積もほぼ正常域に復した.

された。図9は、この症例のステロイド剤投与による軽快後3か月での外眼筋像である。治療後眼球運動は改善し、内直筋の体積は右666、左1,434 mm³、外直筋は右612、左672 mm³であった。左右差が内直筋では768 mm³とまだ腫大が残っているものの、かなり改善している外直筋では60 mm³と正常域に復している。

IV 考 按

一般臨床での MRI の眼窩内での画質は、強力でかつ安定した静磁場と受信効率のよいサーフェイスコイルの開発などにより、ここ数年著しい向上をみせている。このような画質の向上は眼窩内組織の形態観察に非常に有用であり、今回のような外眼筋の詳細な計測が可能となった。

まず、今回の測定方法について考按を述べる. この

撮像方法で得られる最も薄いスライスは3mmで、水 平外眼筋を撮像すると垂直方向の外眼筋の幅(いわゆ る長径) は正常成人では十数ミリであることから、同 一外眼筋で4枚のスライスが得られることになる。そ して, それぞれのスライスでの外眼筋水平断面積を求 め、その断面積にスライス厚3mmを乗じた値の総和 で求めたことになる. これは近似的に外眼筋面積を積 分したことになる。よって、この方法での測定精度を 左右するもののひとつとしてスライス厚がある。この 場合スライス厚が薄ければ薄いほど面積値を積分した 値, すなわち体積値に近づき, より精度が向上するこ とになる。当初測定にあたってより薄いスライスを検 討し、高速撮像法を用いた三次元フーリエ変換法18)に て撮像してみたが、外眼筋の辺縁に化学シフトが生じ ることや眼窩内脂肪の信号強度の低下により相対的に 外眼筋と脂肪の信号強度差が小さくなり、良好なコン トラストが得られず測定には不都合であった。この問 題は MRI の将来の技術的課題となるであろう。また、 スピンエコー法を用いた三次元フーリエ変換法19)では 薄切スライスのかなり良質な画像が得られるが、撮像 時間が数十分と長時間におよび、撮像中の眼球・眼瞼 の運動などのモーションアーテフィファクトの問題も あり、臨床応用が困難と判断した。以上のような理由 により、今回の実験ではスピンエコー法による二次元 フーリエ変換法で最も薄い3mm スライスを採用し た、さらに得られるスライスはスライス間距離をなく してギャップレススライスとしたが、スライス間同志 の信号の干渉はほとんどなく測定には問題なかった. また、外眼筋と強膜の信号強度がほぼ同一なため、眼 球のまつわり部分の外眼筋と眼球壁のコントラストが 不良で、トレースを精密に行うのは困難であった。た だし、まつわり部分の体積は小さく、体積値の大きな 誤差原因にはならないと考えた。実際に以上のような 撮像方法で同一被検者で求められた体積値に再現性が あるかどうかを確かめるために正常者3名に異なる時 期に二度 MRI 撮像を行い、異なる 2 種類の画像で同 一筋の体積を測定したところ、その体積の差は内直筋 では6から23 mm3, 外直筋では17から40 mm3程度 で,同一被検者での異なる画像での体積値の再現性は 良好であると考えられた。

次に今回得られた値を過去の報告と比較してみたい.外眼筋のこのような計測は古くから行われており, 実際屍体眼で外眼筋の重さを測定したものが国内・国外²⁰で報告されている.1863年の Bischoff の報告では 内直筋は 0.5 g, 外直筋は 0.7 g, 1869 年の Volkmann の報告では内直筋は 0.747 g, 外直筋は 0.715 g, 1898 年の足立の報告では内直筋は0.57g, 外直筋は0.56 g. 1917年の越智²¹⁾の報告では内直筋は 0.732 g, 外直 筋は0.742gである。屍体での外眼筋の比重をほぼ1 と仮定すると、重さをそのままの数値で体積に近似的 に換算することができ、今回求めた水平直筋の体積と 比較が可能となる. 過去の報告当時の成人の体格や人 種差, さらには屍体眼と生体眼などを考慮すると, 今 回の値すなわち内直筋 690 mm³, 外直筋 734 mm³を直 接比較するのにはいささか無理があるが、少なくとも 大きな差はないようである。そして、内・外直筋の重 さは Bischoff の報告を除き、他の3つの報告とも両直 筋の値に差はなく、今回の報告と一致するものである. また、今回の測定のための予備実験として、ホルマリ ン固定された屍体の外眼筋を眼窩内から分離し重さを 測定してみたが、外眼筋分離に長時間を要するため組 織の乾燥が起こり、各個人間や同一屍体眼での内・外 直筋に大きな差が生じて測定には問題があると考え た、これに対し今回の MRI での外眼筋の体積測定は, 無侵襲で生体眼に対して行えるという点で意義深い方 法と考えている.

次に今回求めた水平外眼筋の体積値の個人差につい て述べる.前述のように正常被検者11名の最小値と最 大値の比が各水平直筋とも約1.5倍と、個人間でばら つきが非常に大きなものとなった. 前回発表した正常 水平外眼筋の厚さは各個人間で大きな差はなかった が、これは長さという値が一次元的であったためであ る. これに対して体積という三次元的な値では,成人 の身長よりも体重に大きな個人差があるように外眼筋 体積にもこのように比較的大きな個人差が生じたと考 える. 外眼筋の体積の個人差は測定誤差以外に年齢や 体格などに大きく左右されるものであると推測され る. よって、病的な外眼筋の体積変化、すなわち外眼 筋の肥大・萎縮を論ずるのには、ある正常母集団の平 均値だけを参考にするのは無理がある.しかし、同一 被検者での左右の同名外眼筋の差はかなり小さく, 正 常被検者のなかで最も左右差のあったものでもその差 は実測値の十数%であった。今回の結果から、片眼の 外眼筋体積異常を論ずるのには健側の同名筋の体積値 が最も参考になると考える.

次にこの測定法による臨床応用として外眼筋体積が 病的に変化する代表3症例を紹介したが,症例1・2 のように末梢性外眼筋麻痺,特に完全麻痺の場合の外 眼筋の病態評価として筋電図・眼球運動図やcine mode MRI^{12)~17)}といった機能的評価のみならず,萎縮 という形態変化を定量的に捕えられるという点で外眼 筋の体積の測定は前回発表した厚さの測定6とともに 意義深いものと考える。 さらに外眼筋麻痺患者の眼位 改善目的での外眼筋手術のなかで, 大きく分けて前後 転法と筋移動術があるが、両者の選択をする際にもこ の値は大きな参考となるであろう。症例3は炎症によ る外眼筋の肥大を評価したものであるが, 外眼筋炎の 場合の眼球運動障害は肥大筋の伸展障害による機械的 制限によるものとされ,この症例も消炎による筋肥大 の軽減とともに眼球運動も改善しており、治療効果を 定量的に判定するひとつの方法として有用である。ま た, 同様に筋肥大を示す代表的な疾患として甲状腺眼 症があるが、CTでの眼窩内組織の計測が中村10)に よって行われている。 さらには海外でも CT での眼窩 内組織の計測⁹⁾が行われている。今後 MRI での軟部組 織の優れた描出性を活かし、これらの眼窩内組織の計 測によりバセドー病における眼窩内組織の解析11)に威 力を発揮すると考える。また、外眼筋は他の骨格筋以 上にガドリニウムの造影効果が良いとされ22),外眼筋 炎やバセドー病など炎症が関与しているものでは造影 効果を外眼筋体積とともに病態の指標とすれば, より 多くの情報が得られるものと考えられる.

MRI の臨床的な応用範囲は年々拡大し、眼科領域においても眼窩内および視交叉近傍の画像診断に大きな威力を発揮している。この検索対象は現在腫瘍性病変が中心となっている。しかし今後外眼筋の画像診断、すなわち今回の報告のように眼球運動障害に伴う外眼筋の形態的変化を捕える手段としても MRI は大きな威力を発揮するものと考える。

本研究は文部省科学研究費一般研究(B)課題番号01480415の援助をうけた。

文 献

- 1) 林 理, 西田保裕, 西田恵理, 貫名香枝, 目加田 篤, 可児一孝, 他:General Electric 社製 1.5 Tesla 超電導 MRI "SIGNA Advantage"の使用経験. あ たらしい眼科 9:1261—1264, 1992.
- Walter MJ: Advances in magnetic resonance imaging. Am J Ophthalmol 108: 592—596, 1989.
- 柿栖米次,安達恵美子,麻薙 薫,渡辺美博,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.
- 4) 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.
- Miller JM: Functional anatomy of normal human rectus muscles. Vision Res 29: 223—240, 1989.
- 6) 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—. 神眼 9:309—315, 1992.
- 7) 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.
- 8) **小松 章**:外眼筋肥厚をきたす二,三の眼窩疾患 における外眼筋厚度の超音波生体計測と CT-scan 計測との比較, 臨眼 37:366-367,1983.
- Forbes G, Gehring DG, Gorman CA, Brennan MD, Jackson IT: Volume measurements of normal orbital structures by computed tomographic analysis. Am J Neuroradiol 6: 419 -424, 1985.
- 10) 中村泰久: 眼球突出, 神眼 6:157-161,1989.
- 11) Nugent RA, Belkin RI, Neigel JM, Rootman J, Robertson WD, Spinelli J, et al: Graves orbitopathy: Correlation of CT and clinical findings. 177: 675—682, 1990.
- 12) 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—. 神眼 6:416 -421, 1989.
- 13) 可児一孝, 西田保裕, 中村二郎, 絵野尚子, 曽谷治 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

- 一. 眼紀 40:2553-2557,1989.
- 14) 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. The Macmillan Press, London, 137—142, 1990.
- 15) 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.
- 16) 西田保裕: Cine mode MRI を用いた眼筋麻痺の 診断, 日本弱視斜視学会報 28:32-38,1991.
- 17) Nukina K, Nishida Y, Nishida E, Hayashi O, Mekada A, Inatomi A: The observation of eye movement within the orbit using cine mode MRI. In: Tilson G (Ed): Advances in Amblyopia and Strabismus. Fahner Verlag, Germany, 318—324, 1991.
- 18) 成瀬昭二: 3D-FT 法, 画像診断 9: 901-910, 1989.
- 19) 西田保裕, 西田恵理, 原田 康, 絵野尚子, 可児一孝: MRI を用いた眼球運動の研究 3 次元フーリエ変換法を用いた眼窩内組織の観察. 神眼 8:412-416, 1991.
- 20) 生井 浩:日本眼科全書。第11巻,眼筋,第1冊, 眼位,斜視及び眼球振盪。金原出版,東京,4-5, 1953.
- 21) 越智貞見:日本人眼球ノ解剖学的調査附眼筋.日 眼会誌 21:252-295,724-752,940-952,1263 -1287,1917.
- 22) Kaissar G, Kim JH, Bravo S, Sze G: Histologic basis for increased extraocular muscle enhancement in gadolinium-enhanced MR imaging. Radiology 179: 541—542, 1991.