

脂肪/水分離画像 MRI スキャンによる神経筋疾患の臨床診断法

椿原 彰夫, 岡島 康友*

神経筋疾患の MRI による臨床診断法の確立を目的として、骨格筋の脂肪/水分離画像スキャンによる客観的計測を行った。対象は、臨床症状ならびに電気診断によって、神経筋疾患と診断し得た症例15名および転換型ヒステリー症3名である。健康成人33名を比較の対照とした。緩和時間計算画像スキャンならびに Dixon 法による脂肪/水分離画像スキャンを用いて、両側大腿部骨格筋の MRI 冠状断像を撮影した。

筋ジストロフィー症では、水画像の pixel 値 (PV 1) の著明な減少と脂肪画像の pixel 値 (PV 2) の著明な増加が認められた。PV 2 の増加の程度が PV 1 の減少の程度を相対的に上回ったことに基づいて、T1 緩和時間 (T1 値) の著明な短縮と T2 緩和時間 (T2 値) の軽度延長の所見が得られたものと推察される。多発性筋炎では、PV 1 が増加する点が筋ジストロフィー症と異なる所見であった。疾患の重症度に応じて PV 2 が増加し、それに準じて T1 値が変動した。T2 値の延長は PV 1 の増加に起因するものと考えられる。筋緊張性ジストロフィー症や神経原性疾患では、PV 1 および PV 2 の軽度増加が認められた。神経原性疾患のうち、多発性根神経炎では T1 値および T2 値が延長し、運動ニューロン疾患では T1 値が軽度短縮する傾向が認められた。転換型ヒステリー症は、概ね正常所見を呈した。MRI による客観的指標の計測は、神経筋疾患の臨床診断において有用であると示唆された。

(平成7年9月2日採用)

Clinical Diagnosis of Neuromuscular Diseases Using Fat/Water Suppression Magnetic Resonance Imaging

Akio TSUBAHARA and Yasutomo OKAJIMA*

Pixel values in fat/water suppression MRI, and the T1 and T2 relaxation times of skeletal muscles were measured to establish criteria for the clinical MRI diagnosis of neuromuscular diseases. The subjects were 15 patients with a diagnosis of neuromuscular disease based on clinical symptoms and findings made by electrophysiological methods, and 3 patients with hysterical conversion reactions. Normal values were obtained from 33 healthy volunteers. Transaxial MR images of the bilateral thigh muscles were recorded with T1/T2 relaxation time calculation imaging and fat/water suppression imaging (Dixon's method).

川崎医科大学 リハビリテーション医学教室
〒701-01 倉敷市松島577

Department of Rehabilitation Medicine, Kawasaki
Medical School : 577 Matsushima, Kurashiki,
Okayama, 701-01 Japan

* 慶応義塾大学月が瀬リハビリテーション
センター リハビリテーション科

Department of Rehabilitation Medicine, Keio University
Tsukigase Rehabilitation Center

The patients with muscular dystrophy showed remarkably decreased pixel values in their water images (PV 1) and tremendously increased pixel values in their fat images (PV 2). The finding that T 1 became much shorter and T 2 slightly longer seemed to be related to the fact that the extent of the increase in PV 2 was relatively greater than that of the decrease in PV 1. The patients with polymyositis showed a PV 1 value that was higher than normal. This finding was quite different from that for muscular dystrophy. As this disease grew worse, the PV 2 increased. The length of T 1 seemed to depend on the relationship between PV 1 and PV 2. Prolongation of T 2 appeared to be due to increase in PV 2. Both PV 1 and PV 2 in myotonic dystrophy and neurogenic diseases were slightly higher than normal. The patients with polyradiculoneuropathy showed both T 1 and T 2 relaxation times that were longer than normal. However, the T 1 relaxation time in motor neuron diseases had a tendency to become shorter. The parameters in the patients with hysterical conversion reactions remained approximately within normal range. We concluded that measurements of the objective parameters in MRI are useful for the clinical diagnosis of neuromuscular diseases. (Accepted on September 2, 1995) *Kawasaki Igakkaishi* 21(3): 149-156, 1995

Key Words ① Magnetic resonance imaging ② Muscle diseases
③ Neuropathy ④ Fat ⑤ Water

はじめに

神経筋疾患の新しい臨床診断法として、骨格筋にMRI (magnetic resonance imaging) を用いる試みは、近年次第に増加しつつある^{1)~14)}。過去の臨床研究においては、筋ジストロフィー症では画像上、脂肪変性が疑われるとの所見^{4),8)}や、多発性筋炎では水分量が増加すること¹¹⁾が報告されている。しかしながら、これらの研究で用いられている方法は、いずれも主観的な診断法であると言わざるを得ない。

これまで、客観的な指標を正常値と比較することによって、臨床診断に用いることが有効であるとした報告は、緩和時間の測定^{1),3),5),9),12),14)}に関して散見される。客観的な指標を確立することは臨床診断を確実にする上で重要であり、さらに障害の重症度の判定にも有用となる。筆者らは、骨格筋のT 1緩和時間(以下、T 1値とする)ならびにT 2緩和時間(以下、T 2値とする)、さらに脂肪/水分離画像スキャンにおける pixel

値の計測が臨床的に役立つかどうかについて検討している。これらの指標の再現性と有効性に関して、既に報告した^{15),16)}。

高齢者の骨格筋や廃用性萎縮筋では、脂肪を抑制した水画像の pixel 値(以下、PV 1とする)および水を抑制した脂肪画像の pixel 値(以下、PV 2とする)が高値を呈し、単位面積当りの水分および脂肪の含量が増加することが示唆された。さらに、T 2値が延長することも知られた^{16),17)}。これらの病態における数値の変動は微量な変化であるが、神経筋疾患の場合にはさらに顕著な数値の変動が認められる可能性が高い。そこで今回、神経筋疾患の骨格筋について、客観的な指標の計測により臨床診断法としての有用性を検討し、若干の知験を得たので報告する。

対象および方法

対象は、臨床症状ならびに電気診断によって、神経筋疾患と診断し得た症例15名である。その内訳は筋ジストロフィー症2名、多発性筋炎3

名、筋緊張性ジストロフィー症1名、多発性根神経炎3名、運動ニューロン疾患4名、灰白脊髄炎（ポリオ）2名である。男性は11名、女性は4名であり、年齢は5～74歳（平均49.5歳）であった。また、下肢筋力低下を有するにもかかわらず、明らかな神経学的異常ならびに異常検査所見が認められない転換型ヒステリー症の女性3名を比較の対照として計測した。正常値としては、既に報告した健康成人33名のデータを基にして、25～40歳、41～60歳、61～77歳の年齢群別に平均値±2SDで表示した。男性は12名、女性は21名であり、平均年齢は47.8歳であった。

室温を25℃に一定となるよう調節したMRI室において20分間の安静臥床の後、両側大腿部（膝蓋骨上15cm）のMRI冠状断像を撮影した。測定に使用したMRIの機種は、横川メディカルシステム社製 RESONA SYSTEM (0.5 T) である。

第1の撮影方法として、計算画像用スキャンを使用して、緩和時間を計測した。すなわち、パルス系列は variable echo 法では TR:1180/TE1:20/TE2:100, inversion recovery 法では TR:1180/TI:400/TE:25とした。撮影範囲は35cm、スライス厚は10mm、計測マトリクスは224×224に設定した。

第2に、脂肪/水分離画像スキャンとして、Dixen 法による¹H化学シフトイメージング¹⁸⁾を行い、水画像と脂肪画像を描出した。使用したパルス系列は TR:500/TE:34の spin-echo 法で、撮影範囲は35cm、スライス厚は10mm、計測マトリクスは256×256。データ収集回数は4回に設定した。また、条件を一定にして、再現性を確実にするために、receive gainを5レベルに固定とした。

検査に用いたコイルは、両撮影法ともに Bird cage type Quadrature coil とした。

客観的な指標の測定は、画像の撮影が終了した後に行った。大腿部の各筋の外縁に沿って、トラックボールを使用してトレース操作を行った。これによって関心領域を囲み、領域内の T1 値、

T2 値、PV1、PV2の4つのパラメーターを計測した。本稿では外側広筋を中心として、その計測値の結果に関して報告する。

結 果

1. 筋ジストロフィー症と他の筋疾患との比較

神経筋疾患の症例ならびに健常者における緩和時間計算画像用スキャンと脂肪/水分離画像スキャンの結果は Table 1 に示す通りであった。代表例は、レーダーチャートとして Figure 1 に示した。

発病後24年を経て、介助歩行レベルとなった45歳の肢帯型筋ジストロフィー症の症例1の場合、T1値の著明な短縮とT2値の軽度延長が認められた。さらに、PV1の著明な減少とPV2の増加も認められた。特に、PV2は正常値の約20倍にも達していた (Fig. 2)。5歳の福山型先天性筋ジストロフィー症の女児2の場合にも、T1値とT2値の結果は同様の傾向を示した。

多発性筋炎の場合には、筋ジストロフィー症とは全く異なる様相を呈していた。軽症～中等症の多発性筋炎の症例3および症例4の場合、PV1は筋ジストロフィー症とは逆に正常ないしは軽度増加する傾向が認められた。PV2は筋ジストロフィー症ほどの増加は認められず、正常ないしは軽度増加する程度であった。1年8カ月以上も歩行障害を自覚していたが、未治療であった多発性筋炎の重症例5では、大腿四頭筋にPV2の著明な増加が認められた。しかしながら、PV1は前記2症例と同様に増加が認められ、筋ジストロフィー症との相違点であった。本症例では、膝関節屈筋や股関節内転筋ではPV1は正常範囲内、PV2は軽度の増加に留まっていた (Fig. 3)。

23歳で発病し、現在も自立歩行可能な25歳の筋緊張性ジストロフィー症の症例6の場合には、T2値の軽度遅延ならびに、PV1とPV2の軽度増加が認められた。本所見は、廃用性萎縮筋の所見¹⁷⁾と酷似していた。

2. 神経原性疾患のMRI所見

Table 1. Pixel values and relaxation times in the vastus lateralis

Patients	Sex	Age	Diagnosis	Measured side	PV 1 (water)	PV 2 (fat)	T 1 (msec)	T 2 (msec)
1	man	45	L-G Dystrophy	left	83.4	319.2	250.4	60.2
2	woman	5	Fukuyama Dystrophy	left	—	—	385.3	51.8
3	woman	20	PM; mild*	left	122.9	15.2	537.6	38.9
4	man	65	PM; moderate*	left	157.6	23.5	—	—
5	man	42	PM; severe*	left	151.4	123.5	426.9	72.8
6	man	25	Myotonic Dystrophy	left	147.7	31.7	519.5	48.7
7	man	57	Polyneuropathy	left	161.0	54.9	601.1	81.6
8	man	74	Polyneuropathy	left	147.4	57.2	659.9	96.3
9	woman	70	Polyneuropathy	left	166.9	47.5	622.0	111.5
10	man	53	ALS	left	141.2	72.1	426.9	50.9
11	woman	60	ALS	left	152.4	18.7	569.7	46.1
12	man	69	SPMA	left	146.8	76.5	428.4	45.3
13	man	69	SPMA	left	126.8	42.3	474.9	47.4
14	man	39	Polio	right	145.7	9.9	559.3	36.9
15	man	50	Polio	left	138.8	92.2	354.3	45.8
16	woman	17	Hysteria	left	126.4	14.5	538.7	38.6
17	woman	20	Hysteria	left	128.5	11.3	559.4	40.5
18	woman	47	Hysteria	left	153.5	36.6	552.6	51.1
normal	men & women	25-40		left	122.3±12.6(n=8)	14.1±6.2(n=8)	534.3±29.6(n=11)	37.5±3.5(n=11)
normal	men & women	41-60		left	123.9±18.7(n=5)	14.8±3.8(n=5)	523.8±43.5(n=10)	39.3±5.5(n=10)
normal	men & women	61-80		left	141.0±6.0(n=5)	33.4±3.0(n=5)	539.9±48.8(n=5)	46.9±8.0(n=5)

* mild; a patient who can walk independently without cane.
 moderate; a patient who can walk independently with cane.
 severe; a patient who can not walk without assistance.

多発性根神経炎の症例7は短下肢装具にて歩行可能レベルであり、症例8は車椅子自走可能レベル、症例9は寝たきりであった。症状の差に比較して、MRI所見に大きな差違は認められなかった。3症例に共通する所見は、T1値ならびにT2値に著明な延長が認められたことである。PV1およびPV2に関しても、軽度の増加が認められた。

運動ニューロン疾患の4症例(10~13)については、PV2の軽度ないしは中等度の増加が共通した所見である。T1値はやや短縮する傾向が認められた。症例11は発病後2年で寝たきりとなり、呼吸筋麻痺を伴った末期の筋萎縮性側索硬化症であるが、PV1およびPV2の軽度増加が認められるのみで、廃用性萎縮筋と同程度の

所見¹⁷⁾であった。

灰白脊髄炎の2症例に関しては、一定の所見は得られなかった。症例14は右下肢の不全麻痺を呈し、杖なしで独歩可能な軽症例であった。PV1の軽度増加を除いて、他は正常であった。症例15は左下肢の完全麻痺を認め、歩行に際して長下肢装具を必要とする重症例であった。T1値の短縮とPV2の増加が著明であったが、PV1の増加は認められなかった。

3. 転換型ヒステリー症のMRI所見

転換型ヒステリー症の症例16および症例17は、すべてのパラメーターに異常が認められなかった。症例18は歩行障害を呈してから1年間、転院を繰り返していた右下肢単麻痺の症例であった。右長下肢装具を使用して、平行棒内歩行の

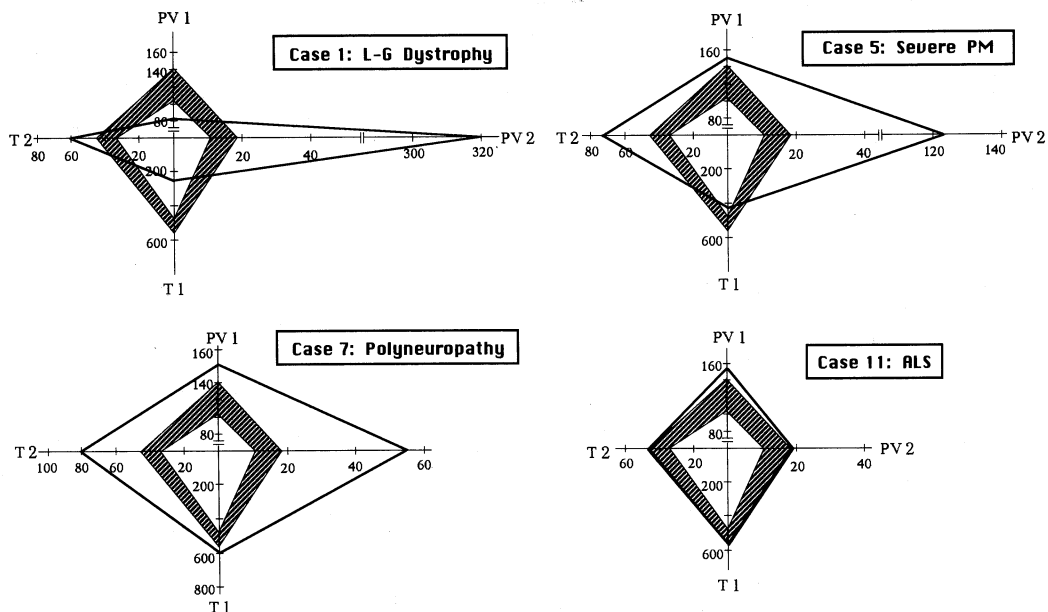


Fig. 1. Radar chart as examples showing T1, T2, PV1, and PV2 in different axes. The hatched area (▨) indicates the normal range of each parameter.



Fig. 2. Transaxial fat suppression images of the bilateral thighs. The upper two figures are images in the case 1 diagnosed as limb-girdle dystrophy. The lower ones are images in a normal subject.

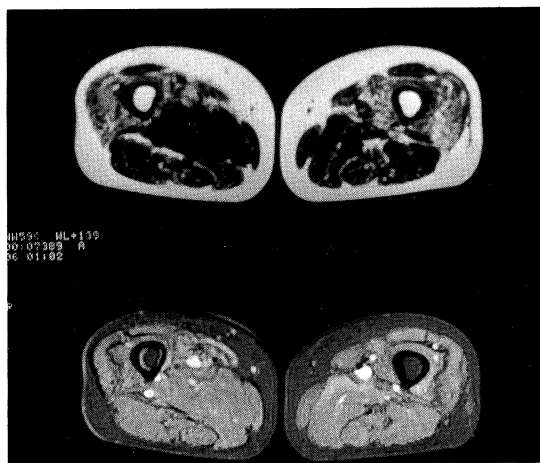


Fig. 3. Transaxial fat/water suppression images of the left thigh in the case 5 diagnosed as severe polymyositis. The upper two figures are water suppression images, and lower ones are fat suppression images.

み可能であった。T2値の軽度延長および、PV1とPV2の軽度増加は、廃用性萎縮筋とよく一

致する所見¹⁷⁾であった。

考 察

骨格筋のMRIを神経筋疾患の診断に応用するための臨床研究は1980年代前半に始まり、納ら¹⁾や、Shabasら²⁾、Fisherら³⁾、Murphyら⁴⁾、松村ら⁵⁾によって初期の報告がなされている。その後、数々の研究が追試されている^{6)~14)}。一般に、筋ジストロフィー症の骨格筋はその脂肪変性のために、T1強調画像およびT2強調画像において高信号強度を呈すると結論づけられている^{4),8)}。また、炎症性筋炎¹¹⁾や脱神経筋^{2),6)}ではT2強調画像において高信号強度となり、水分含量の増加を意味すると報告されている。しかし、これらの所見は数値では示されず、主観的であることから、障害の重症度を評価するには十分とは言えない。そこで、われわれは客観的な指標を確立するために、2つのプログラムを用いて計測を行い、その有用性を確認した。

1. 客観的な指標としての緩和時間の計測

近年、客観的な指標の一つとして、緩和時間の計測を神経筋疾患に対して遂行した研究が散見される^{1),3),5),9),12),14)}。今回の研究では、筋ジストロフィー症の場合、T1値の短縮とT2値の延長が認められることが知られた。これらの結果は過去の報告とよく一致する所見であり、松村ら⁵⁾や長尾ら⁹⁾は疾患の進行に伴ってT1値が徐々に短縮することが脂肪変性を示唆する所見であると報告している。

多発性筋炎や皮膚筋炎に関しては、これまでの報告では、T1値およびT2値が活動期に正常値と比較して延長すると言われている^{12),14)}。しかし、今回の結果ではT2値の延長は認められたが、T1値は必ずしも延長していなかった。

神経原性疾患の緩和時間に関する報告は、筆者らの知る限りでは認められない。今回の研究では多発性根神経炎においては、T1値ならびにT2値の著明な延長が確認された。しかしながら、運動ニューロン疾患については、T1値が軽度短縮する傾向が示された。

緩和時間は客観的指標ではあるが、短縮や延

長が生じる要因は一元的に説明することが容易ではない。一般的に、組織内の水分含量が増加するとT1値・T2値ともに延長し、脂肪含量が増加するとT1値は短縮し、T2値は延長すると言われる¹⁴⁾。したがって、水分含量と脂肪含量の増減の割合によって、T1値ならびにT2値は変動を生じる。水分含量も脂肪含量も増加している場合、T2値は延長するが、T1値は各々の増加の比率によって延長する場合も短縮する場合も有り得ると考えられる。すなわち、単にT1値とT2値の計測のみでは、その意味する内容は明瞭でないと云わざるを得ない。この観点において、脂肪/水分離画像スキャンにおけるpixel値の計測は、より直接的な方法であると考えられる。

2. 脂肪/水分離画像スキャンの有用性

脂肪/水分離画像スキャンを用いた骨格筋の研究としては、宇辰ら⁷⁾や仁井田¹⁰⁾による筋ジストロフィー症の脂肪値に関する報告が認められる。今回の研究においても、筋ジストロフィー症におけるPV2が著明に増加する所見が得られ、単位面積当りの脂肪含量の増加が直接的に証明された。さらに、PV1が減少する所見からこれまで報告されていなかった水分含量の減少も明らかとなった。前項に述べたT1値の短縮は、水分含量の減少と脂肪含量の増加に対応するものと考えられる。また、脂肪含量増加の程度が水分含量低下の程度を相対的に上回ったことがT2値の延長に結びついたものと推察される。

多発性筋炎ではPV1が増加する所見が得られ、炎症に伴う水分含量の増加を示していると考えられる。脂肪変性に加わった重症例においてもPV1の増加が認められたことは筋ジストロフィー症との鑑別上、重要な所見といえる。本症例においてT1値が延長せず、かえって短縮したことは、脂肪含量の増加が水分含量の増加を相対的に上回ったことによるものと推察される。

筋緊張性ジストロフィー症では、廃用性萎縮筋の所見とほぼ同一であった。本疾患は筋ジストロフィー症とは異なり、進行が緩徐であり、筋

線維全体に広がるような壊死線維はほとんど見られないと言われる¹⁹⁾。したがって、病初期には筋核の異常と筋線維の大小不同の所見に留まり、MRI上は水分含量と脂肪含量の軽度増加の所見を呈するものと推測される。しかし、進行例では結合組織の増加が生じるため、水分含量と脂肪含量には異なった変化が加わるものと考えられるが、症例を重ねて検討する必要がある。

神経原性疾患である多発性根神経炎、運動ニューロン疾患の場合にも、PV1およびPV2の軽度の増加が認められた。脂肪/水分離画像スキャンによる所見単独では、廃用性萎縮筋との鑑別が困難であるが、緩和時間の計測所見と合わせることによって、脂肪含量増加と水分含量増加の比率を考慮することで診断可能となる場合が少なくないと予想される。

転換型ヒステリー症に関しては、PV1およびPV2はほとんど正常の所見を呈し、神経筋疾患との鑑別は可能と考えられる。また、長期間の安静が強いられた場合には、廃用性萎縮筋の所見と同一である。

既に報告したように¹⁷⁾、廃用性萎縮筋におけるPV1ならびPV2の増加の機序に関しては、萎縮せずに残存した細胞膜の脂肪および水分に基づくものと推論される。すなわち、廃用性萎縮筋では単位面積当りの脂肪および水分の含量が増加しているにもかかわらず、一筋全体の含量は増加していなかったからである¹⁷⁾。筋蛋白量が減少しているにもかかわらず、脂肪および水分を多く含む細胞膜が萎縮せずに残存しているこ

とが考えられる。しかしながら、筋ジストロフィー症におけるPV2の増加は、廃用性萎縮筋の場合とは比較にならない莫大な量である。このことから、筋ジストロフィー症に認められる脂肪含量の増加は、脂肪変性に基づくものと推察される。但し、本研究において測定したPV1ならびPV2がどの程度、骨格筋中の水分と脂肪の含量を正確に反映しているのかは明らかにされていないため、これらの含量の計測が今後の課題であろう。

以上、典型的な神経筋疾患の骨格筋MRIの結果を示し、客観的指標の有用性について考察した。筆者らは、検査結果を視覚的に捉えることによって診断を容易にするために、レーダーチャートを使用して表示している(Fig. 1)。T1値および、T2値、PV1、PV2の4つの指標をグラフ化し、正常値との隔たりを判別しやすくする方法である。今後、さらに症例数を増やし、神経筋疾患における診断的価値や重症度判定のための有用性を検討する必要がある。

今回、脂肪/水分離画像スキャンとして使用したDixon法は決して最適の方法でなく、静磁場の不均一性や生体内磁化率効果などから生じる多くの問題点が指摘されている²⁰⁾。今後、より適切で新しいプログラムに関しても、その利用を検討する余地があると考えられる。

稿を終えるにあたり、ご校閲を賜りました川崎医科大学リハビリテーション科 明石 謙教授に深謝いたします。

文 献

- 1) 納 光弘, 岡田明彦, 杜若陽祐, 山元國光, 藤元登四郎, 朝倉哲彦, 福永秀敏, 音瀬廣章, 井形昭弘: Duchenne型筋ジストロフィー症(DMD)の骨格筋の超音波, X線-CT, NMR(MRI)画像に関する研究, ならびにそのcarrier detectionへの応用. 厚生省神経疾患研究(筋ジストロフィー症の臨床・病態と成因に関する研究)昭和59年度報告書: 74-78, 1984
- 2) Shabas D, Gerard G: Magnetic resonance in neuromuscular disorders. *Semin Neurol* 6: 94-99, 1986
- 3) Fisher MR, Dooms GC, Hricak H, Reinhold C, Higgins CB: Magnetic resonance imaging of the normal and pathologic muscular system. *Magn Reson Imaging* 4: 491-496, 1986
- 4) Murphy WA, Totty WG, Carroll JE: MRI of normal and pathologic skeletal muscle. *Am J*

- Roentgenol 146 : 565—574, 1986
- 5) 松村喜一郎, 中野今治, 池平博夫, 福田信男, 館野之男: 筋肉疾患のNMR-CT—正常人ならびに Duchenne 型進行性筋ジストロフィー症における筋肉 T1 時間について—。臨床神経学 26 : 733—741, 1986
 - 6) Shabas D, Gerard G, Rossi D : Magnetic resonance imaging examination of denervated muscle. Comput Radiol 11 : 9—13, 1987
 - 7) 宇辰保彦, 岡田明彦, 藤元登四郎, 納 光弘 : 超伝導 MRI による骨格筋の水と脂肪の分離描出。神経内科 31 : 113—115, 1989
 - 8) Lamminen AE : Magnetic resonance imaging of primary skeletal muscle diseases : patterns of distribution and severity of involvement. Br J Radiol 63 : 946—950, 1990
 - 9) 長尾秀夫, 森本武彦, 佐野のぞみ, 高橋 貢, 永井宏尚, 田和律子, 吉松 誠, 禹泳王宗, 松田 博 : Duchenne 型筋ジストロフィー症の骨格筋 MRI—とくに軸断面, 矢状断面の連続記録による検討—。脳と発達 23 : 39—43, 1991
 - 10) 仁井田明 : 化学シフトイメージング法による脂肪量の定量的評価。日本磁気共鳴医学会雑誌 11 : 89—102, 1991
 - 11) Fraser DD, Frank JA, Dalakas MC : Inflammatory myopathies : MR imaging and spectroscopy. Radiology 179 : 341—344, 1991
 - 12) Fujino H, Kobayashi T, Goto I, Onitsuka H : Magnetic resonance imaging of the muscles in patients with polymyositis and dermatomyositis. Muscle Nerve 14 : 716—720, 1991
 - 13) Lamminen AE, Tantt JI, Sepponen RE, Pihko H, Korhola A : T1 ρ dispersion imaging of diseased muscle tissue. Br J Radiol 66 : 783—787, 1993
 - 14) Park JH, Olsen NJ, King L, Terri V, Buse R, Kari S, Hernanz-Schulman M, Price R : Use of magnetic resonance imaging and P-31 magnetic resonance spectroscopy to detect and quantify muscle dysfunction in the amyopathic and myopathic variants of dermatomyositis. Arthritis Rheum 38 : 68—77, 1995
 - 15) Tsubahara A, Chino N, Ishii H, Akaboshi K, Takahashi H, Saitoh M : Objective parameters in MRI for neuromuscular diagnosis : preliminary findings. Disabil Rehabil 14 : 163—167, 1992
 - 16) Tsubahara A, Chino N, Akaboshi K, Okajima Y, Takahashi H : Age-related changes estimated by magnetic resonance (MR) imaging. Disabil Rehabil 17 : 298—304, 1995
 - 17) Tsubahara A, Chino N, Okajima Y, Akaboshi K : Fat/water suppression magnetic resonance (MR) imaging in disuse muscular atrophy. Neuro-Orthopaedics 17/18 : 67—74, 1995
 - 18) Dixon WT : Simple proton spectroscopic imaging. Radiology 153 : 189—194, 1984
 - 19) 壘中征哉 : 臨床のための筋病理入門。東京, 日本医事新報社。1987
 - 20) Yeung HN, Kormas DW : Separation of true fat and water images by correcting magnetic field inhomogeneity in situ¹. Radiology 159 : 783—786, 1986