

磁気共鳴イメージング (MRI)による肥大心の組織 性状について

Tissue characteristics in left ventricular hypertro- phy using magnetic res- onance imaging

吉田 茂
上野 雄二
有田 幹雄
西尾 一郎
増山 善明

Shigeru YOSHIDA
Yuji UENO
Mikio ARITA
Ichiro NISHIO
Yoshiaki MASUYAMA

Summary

For 15 normotensive patients with asymmetric septal hypertrophy (ASH), 10 hypertensive patients with concentric hypertrophy (CH), and five normal subjects (N), we examined changes in myocardial T_1 and T_2 values related to the cardiac cycle. The usefulness of those values in differentiating diseases with left ventricular hypertrophy was evaluated. Left ventricular (LV) short-axis spin echo images and inversion recovery images were obtained at endsystolic and diastolic cardiac phases, and T_1 and T_2 images were calculated. The regional wall thickness (WT) and T_1 and T_2 values were measured in the anterior septum, anterior wall, lateral wall, posterior wall and posterior septum. Myocardial T_1 and T_2 values were significantly decreased in systole (T_1 : 185.6 ± 37.9 msec, T_2 : 24.4 ± 6.3 msec, mean \pm SD) compared to those in diastole (T_1 : 249.2 ± 56.7 msec, T_2 : 31.7 ± 9.4 msec). In both the ASH and CH groups, significant correlations were observed between diastolic T_1 values and WT (ASH: $r=0.80$, $p<0.01$, CH: $r=0.45$, $p<0.01$), and between diastolic T_2 values and WT (ASH: $r=0.58$, $p<0.01$, CH: $r=0.60$, $p<0.01$). In the regions where diastolic WT were more than 17 mm, T_1 values in the ASH group (343.4 ± 40.5 msec) were significantly higher than those of the CH group (247.3 ± 21.4 msec), although the mean wall thickness values were similar in both groups. The T_1 /WT and T_2 /WT were significantly lower in the CH group than those in the ASH and N groups.

In conclusion, myocardial T_1 and T_2 values were related not only to the cardiac cycle, but to wall thickness and to types of hypertrophy. The T_1 and T_2 values may be useful for distinguishing hypertrophic cardiomyopathy from hypertrophy due to hypertension.

Key words

Gated magnetic resonance imaging
Tissue characterization

Hypertrophic cardiomyopathy

Hypertensive heart disease

和歌山県立医科大学 循環器内科
和歌山市7番丁1 (〒640)

Division of Cardiology, Department of Medicine,
Wakayama Medical College, 1, 7-bancho, Wakayama
640

Received for publication June 22, 1987; accepted August 3, 1987 (Ref. No. 34-PS55)

はじめに

磁気共鳴イメージング (MRI) による生体組織性状の評価には、水分子のプロトン核磁気緩和時間(縦緩和 T_1 , 横緩和 T_2) が指標としてしばしば用いられる。 T_1 値はスピン-格子緩和時間とも呼ばれ、原子核固有の性質や、原子核周囲の環境を反映する指標であるとされている。また T_2 値はスピン-スピン緩和時間とも呼ばれるが、これらの値の生理学的な意義や、病態との関連性、あるいは臨床上的有用性などについては、まだ十分な知見に乏しい。しかし MRI により得られた映像の信号強度が、用いたパルスシーケンスによって様々に変化し得る相対的なものであるのに対し、 T_1 , T_2 値は MRI の映像を形成する基本的な指標であり、臓器や組織に比較的特有な値を取ることから、組織性状を表わすひとつの指標として用いられている。

心筋の T_1 , T_2 値は従来十分に検討されておらず、とくに肥大型心筋における T_1 , T_2 値の変化や、肥大型の原因による差異などは明らかにされていない。これには心臓の T_1 , T_2 値の測定にいくつかの問題点のあることがあげられる。その一つは心臓の動きであり、心時相の違いにより心筋組織や心筋血流の差が生じるが、心時相による T_1 , T_2 値の変化を検討した報告はない。また、従来の報告では、 T_1 , T_2 値の計測は主に横断面上でなされてきたが、この断面は左室の長軸や短軸には斜交するため、その壁厚の測定は不正確である。

今回我々は、これらの点を明らかにするため、以下の項目について検討を行った。① 心電図同期下に拡張期および収縮期の心筋 T_1 , T_2 値を測定し、収縮期によるこれらの値の変化を検討した。② 心肥大の程度と成因の違いによる T_1 , T_2 値の差異を検討するため、左室短軸断面を用い、局所壁厚と、それに一致する部位の局所心筋 T_1 , T_2 値を正常例も含めて検討した。

対象および方法

対象は非対称性中隔肥大を呈し、高血圧の既往のない肥大型心筋症 15 例 (ASH 群) と、現在ほぼ安定した状態にあり、血圧もほとんどコントロールされている高血圧性求心性肥大の 10 例 (CH 群)、および左室肥大を認めない 5 例 (N 群) の計 30 例である。断層心エコー図にて中隔・後壁壁厚比が 1.3 以上を、非対称性中隔肥大の診断基準とした。虚血性心疾患の合併例、心房細動例、超音波ドップラー上中等度以上の弁逆流のみられる例、心拍数が毎分 90 以上の頻拍例、心室性あるいは心房性不整脈頻発例、S 字状中隔症例など、検討に不相当と思われる症例は除外した。左室肥大を認めない症例の基礎疾患は、軽度の肺線維症、大動脈瘤、軽度の大動脈弁閉鎖不全などであった。年齢は 47 歳から 89 歳である。

NMR-CT 装置は常伝導型 0.15 Tesla (東芝 MRT-15A) を用い、マトリックスは 256×256 、平均加算回数は 2 回とした。画像再構成法は投影復元法によった。左室短軸断面は、従来我々が報告している方法¹⁾を用いて、任意傾斜断面を二重に組み合わせることにより、患者の体位を変換せず、仰臥位のままで描出した。

心電図同期にて、収縮期および拡張期におけるスピンエコー像 (エコー時間 30 msec, 80 msec) と反転回復像を撮影し、スピンエコー像と反転回復像から左室短軸 T_1 画像を、またエコー時間の異なる 2 種類のスピンエコー像から左室短軸 T_2 画像を計算した。収縮期像は、エコー信号の発生を心音図第 2 音の大動脈弁成分 (IIA) に一致させることにより、収縮終期像として求めた。また拡張期像は、次の心電図 R 波の直前にエコー信号の発生を位置させることにより、拡張終期像に近い像を得た。この場合、スピンエコー法、反転回復法とも、収縮期あるいは拡張期の同時相において信号を収集するように、心電図 R 波からの遅延時間を調整し、計算画像を求める場合、元になる 2 枚の像の時相が一致するようにした。 Fig.

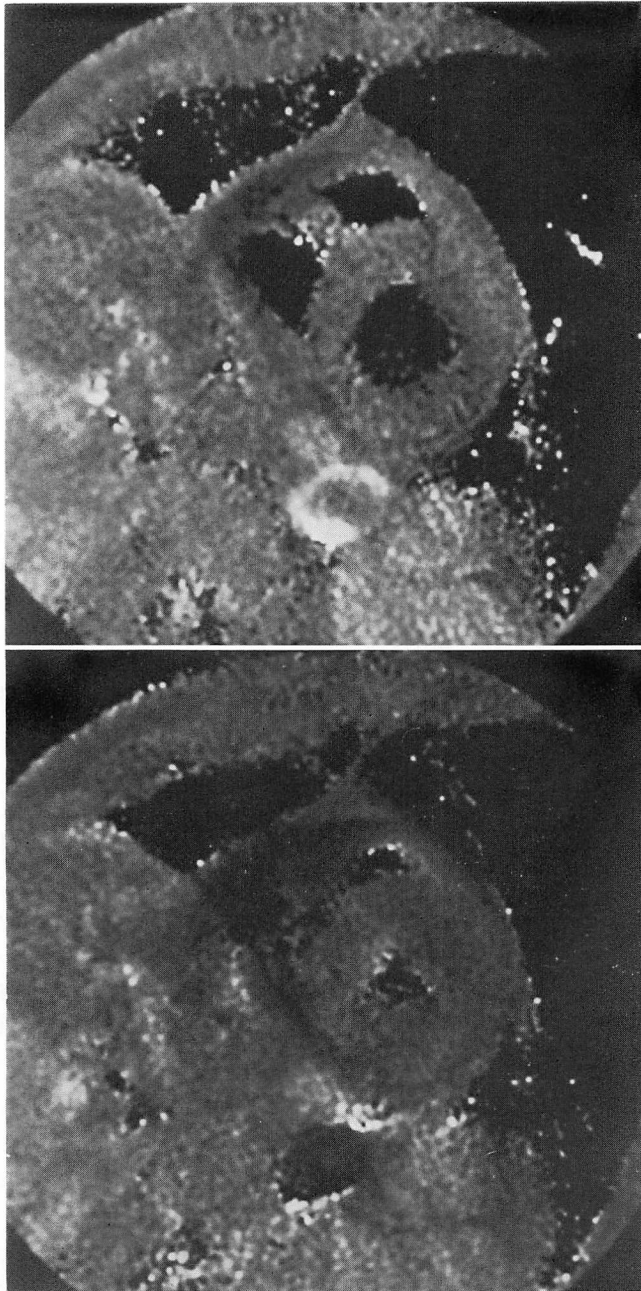


Fig. 1. T_1 images of the left ventricle.
Diastolic (upper) and systolic (lower) short-axis images are shown.

1 に拡張期および収縮期 T_1 画像の実例を示す。なお T_1 , T_2 像の撮影は, 心拍数の変動を最小限に抑えるため, 少なくとも検査開始より15分から20分経過し, 患者が検査に慣れて心拍数が安定したと考えられる時点から開始した。

左室短軸拡張期および収縮期のスピンエコー像, T_1 計算画像, T_2 計算画像を用いて, それぞれ前部中隔, 前壁, 側壁, 後壁, 後部中隔における左室壁厚と局所 T_1 , T_2 値を求めた。局所 T_1 , T_2 値は, 面積が 0.5 cm^2 以上の十分な大きさの関心領域を心筋上に設定し, その領域内の度数分布の最頻値をその部位の代表値とした。この方法により, 単にその領域の平均値を代表値とするよりも, 値が安定して得られる傾向があった。 T_1 , T_2 値の計測については, 計算画像上においてノイズの多くみられる症例や, 度数分布のピークが不明瞭な部位は除外した。そのため, 本来は1症例について5点のデータが得られるが, 実際には T_1 値については, ASH 群15例, CH 群10例, N 群5例の合計30例について124点, 1症例平均4.1点(82.0%)測定した。 T_2 値についても ASH 群7例, CH 群6例, N 群2例の合計15例について62点, 平均4.1点(82.0%)測定した。それにより心筋壁厚と T_1 , T_2 値との関連と特徴, および心筋の収縮による変化など検討し, t 検定によって統計学的に処理した。計測値は $\text{mean} \pm \text{SD}$ で示した。

結 果

全例での拡張期 T_1 値は $249.2 \pm 56.7 \text{ msec}$ ($\text{mean} \pm \text{SD}$), 収縮期 T_1 値は $185.6 \pm 37.9 \text{ msec}$ であった。また T_2 値については, 拡張期 $31.7 \pm 9.4 \text{ msec}$, 収縮期 $24.4 \pm 6.3 \text{ msec}$ で, 両者ともに拡張期に比べ, 収縮期には有意の短縮がみられ, 同じ撮影プロトコルを用いても, 心時相の違いによって T_1 , T_2 値が変化することが示された (Fig. 2)。

壁厚と T_1 , T_2 値との関係を見ると (Fig. 3), ASH 群では拡張期壁厚と T_1 値との間に $r =$

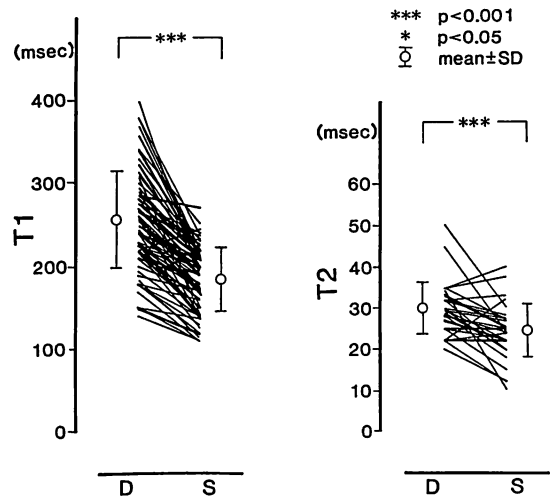


Fig. 2. Changes in the myocardial T_1 and T_2 values in all cases with respect to myocardial contraction.

D=diastole; S=systole.

0.797 の, また T_2 値との間に $r = 0.582$ の相関を認めた。同様に CH 群では, 拡張期壁厚と T_1 値の間に $r = 0.454$, また T_2 値との間に $r = 0.596$ の, いずれも有意な正相関を認めた。 T_1 値の回帰直線は ASH 群の $y = 13.3x + 83.3$ に対し CH 群では $y = 4.2x + 165.6$ であり, 壁厚が正常に近いところでは両群間の差は少なくなったが, 壁厚が大きくなるに従って, その差が大きくなる傾向が認められた。 T_2 値の回帰直線も, ASH 群の $y = 2.37x + 3.21$ に対し, CH 群は $y = 0.80x + 14.32$ と, T_1 値と同様の傾向がみられた。収縮期においては, これらの関係は明らかではなかった。

T_1 値について, 拡張期壁厚が 17 mm 以上の部位のみを取り出して ASH 群と CH 群とを対比した (Fig. 4)。ASH 群の拡張期壁厚は $19.0 \pm 2.5 \text{ mm}$ で, CH 群では $18.8 \pm 1.5 \text{ mm}$ と, ほぼ等しい値を示したが, 拡張期 T_1 値は ASH 群の $343.4 \pm 40.5 \text{ msec}$ に対し, CH 群では $247.3 \pm 21.4 \text{ msec}$ と, 前者で有意に高値を示し, 同程度の肥大でも, ASH 群は CH 群より有意に高い

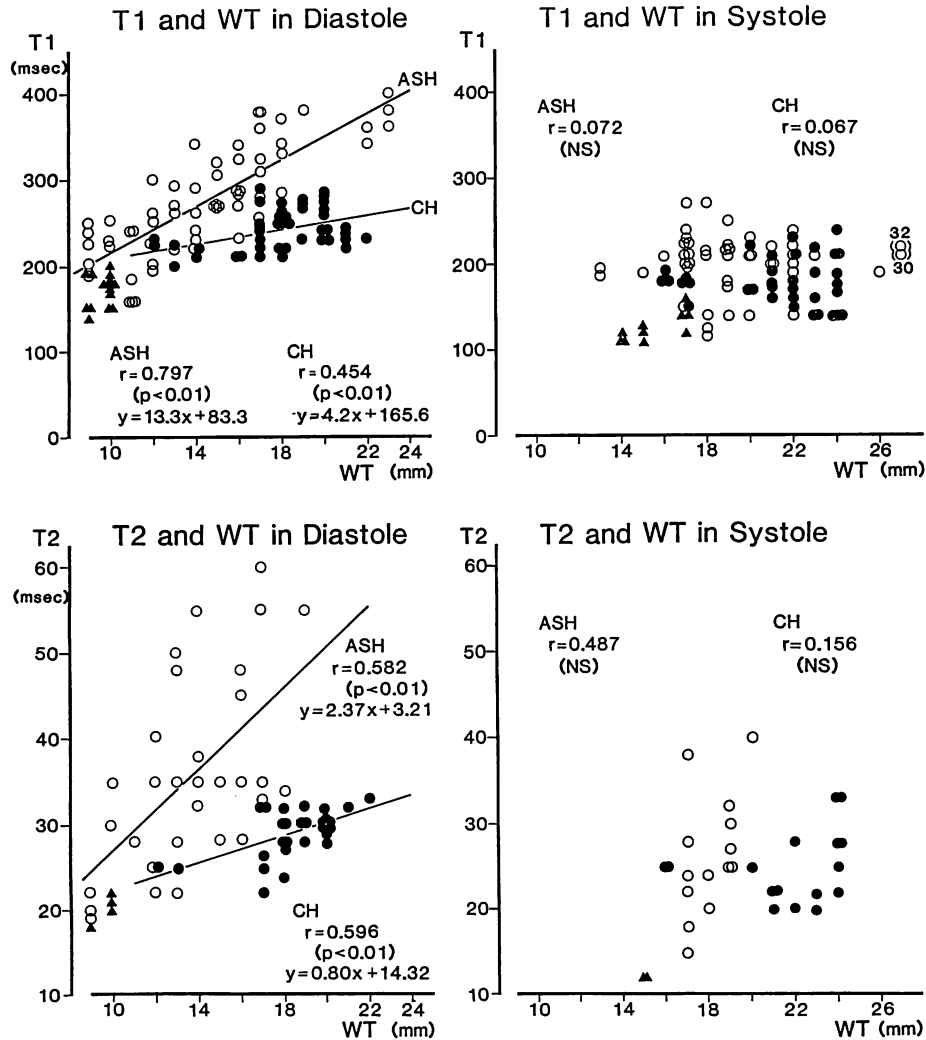


Fig. 3. Relationships between T_1 , T_2 values and wall thickness.

WT=wall thickness.

Open circle=asymmetric septal hypertrophy; closed circle=concentric hypertrophy; closed triangle=normal controls.

T_1 値を示した。

各疾患別の拡張期 T_1 , T_2 , T_1 /壁厚, T_2 /壁厚の比較では (Fig. 5), T_1 , T_2 値は ASH 群で最も大きく (T_1 : 276.3 ± 60.6 msec, T_2 : 35.8 ± 11.3 msec), ついで CH 群 (T_1 : 240.2 ± 24.1 msec, T_2 : 28.9 ± 2.9 msec), N 群 (T_1 : 172.2 ± 18.3 msec, T_2 : 20.6 ± 1.7 msec) の順であった。これに対し

T_1 , T_2 値を壁厚 (WT) で除した値は, ASH 群で最も高値 (T_1 /WT: 19.32 ± 3.49 , T_2 /WT: 2.61 ± 0.64) であり, ついで N 群が高く (T_1 /WT: 17.69 ± 1.89 , T_2 /WT: 2.14 ± 0.17), CH 群は逆に最も低値を示した (T_1 /WT: 13.78 ± 2.00 , T_2 /WT: 1.61 ± 0.19). 特に圧負荷の増大のない ASH 群と N 群には T_1 に有意差がみられなかったの

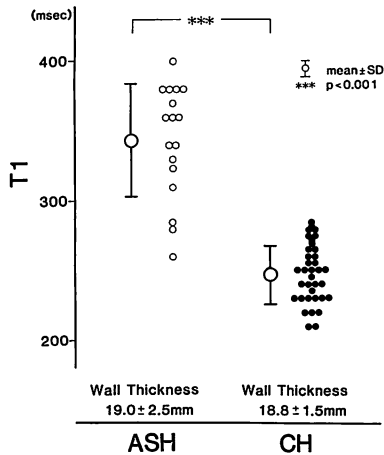


Fig. 4. Diastolic myocardial T_1 values of ASH and CH.

T_1 values in the regions where diastolic wall thicknesses are more than 17 mm.

に対し, 圧負荷による肥大の CH 群は ASH 群, N 群に比較して有意に低値を示した。

考 察

心臓に対する MRI の応用は, 血液が負の造影剤として働き, 無侵襲的に心筋と血液が分離されることから臨床的に広く応用され²⁾, 心電図同期装置の導入によって, 各種心疾患の診断に用いられている。さらに左室長軸断面や短軸断面を撮影することにより, 左室壁厚や容積, 駆出率の測定などにも有用性が示されている³⁻⁵⁾。

一方, MRI により組織性状を評価する試みは, 腫瘍などでは T_1 , T_2 値を用いて検討されている⁶⁾。しかしこれらの値が, どのような組織学的変化を表わしているかはまだ明らかではない。一般的には組織 T_1 値は主に組織内の自由水と結合水の割合に影響され, 自由水が多いと T_1 値は延長するとされている。また一般に代謝の盛んな若年者や組織の悪性化などにより延長するなど, 種類の条件によって変化することが知られている。そのため腫瘍においては, 診断のみならず, 悪性度の鑑別にも用いられている⁶⁾。また心臓では,

心筋梗塞急性期に梗塞部心筋の T_1 , T_2 値が延長するとされている^{7,8)}。

肥大心筋の T_1 , T_2 値については従来からいくつかの報告があるが, 心筋の収縮による変化を報告したものはない。しかし, 心筋は拡張期と収縮期でアクチンやミオシンをはじめ多くの分子状態が変化し, また心筋への血流流入は主に拡張期に起り, 収縮期には減少する⁹⁾など, 心収縮のサイクルの時相により種々の違いがある。したがって, T_1 , T_2 値も拡張期と収縮期では異なる可能性があると考えられる。そのため今回我々は, 左室短軸断面上での収縮終期および拡張期における T_1 , T_2 画像を計算し, 壁厚と対比して検討した。この結果, 同じパルスシーケンスを用いても, 収縮期像では拡張期像に比べ T_1 , T_2 値ともに明らかに低下し, 心時相による変化が観察された。このことから, 心筋 T_1 , T_2 値の検討を行う場合には, 心時相を考慮する必要があると考えられる。

肥大型心筋症についての検討では, Been ら¹⁰⁾ は心電図非同期 MRI において, 肥大型心筋症の中隔の T_1 値は自由壁より高いとしているが, 一方, 差がなかったとの報告¹¹⁾もあり, 一致した見解は得られていない。従来の左室肥大と心筋 T_1 , T_2 値の検討には, 肥大部分と非肥大部分の対比などの方法が主であり, 壁厚と T_1 , T_2 値を定量的に検討した報告はない。これは従来の検討方法が, 主に横断面など, 心臓の軸に斜行する断面を用いているため, 正確な壁厚の測定が難しかったからであると思われる。また横断面を用いると, 肥大の最も高度な前壁中隔や, 逆に肥大の最も少ない下壁が, 特に斜め切りになり易いという問題点もある。

それらの点を克服するため, 今回我々は, 左室短軸断面上での T_1 , T_2 値を求めて, 壁厚との対比を試みた。その結果, 拡張期左室壁厚と T_1 , T_2 値の間に有意の正相関が見られた。更に ASH 群と CH 群は, 壁厚の増加に対して異なった T_1 , T_2 値を示す群として捉えられ, 殊に壁厚が増加すると, T_1 , T_2 値の差が明らかであった。実際

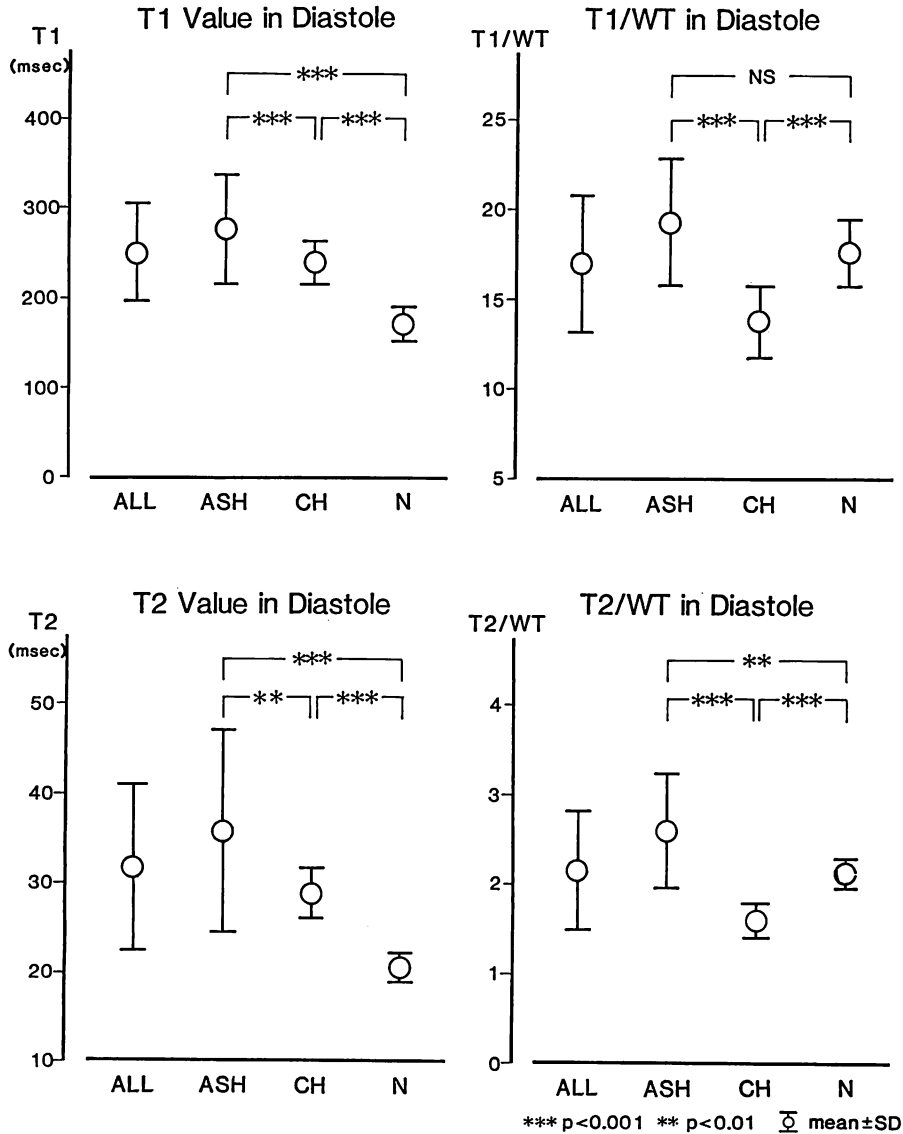


Fig. 5. T_1 , T_2 values, and T_1 , T_2 values per wall thickness (T_1/WT , T_2/WT) in diastole.

壁厚が 17 mm 以上の部位では、 T_1 値は明らかに ASH 群で高値であった。さらに肥大のみられる群は正常壁厚群より高い T_1 , T_2 値を示した。しかし T_1 値, T_2 値を壁厚で除した値は ASH 群, N 群, 更に CH 群の順となり, 特に ASH 群と N 群とは T_1 値で有意差なく, T_2 値で有意差が

みられたのに対し, CH 群では T_1 , T_2 値のいずれも有意に低下し, 壁厚の割に T_1 , T_2 値が低い傾向が示された。

これらの ASH 群と CH 群との差の原因は明かではないが, T_1 , T_2 値は一般に代謝亢進状態では高値を示すとされ, CH 群に比し, ASH 群

では現在もなお一部において肥大が進行している可能性も考えられる。逆に検査当時, CH 群は入院患者が多く, 血圧はほとんどコントロールされた状態であったことから, 圧負荷が消失し, 肥大の進行もほぼ停止した状態であることが差の一因である可能性と考えられる。しかし, 両者の肥大におけるメカニズムの違いが, 分子レベルの水の組織状態に影響している可能性や, 心筋血流の違いや繊維化の程度などが影響している可能性もあり, これらは今後の検討課題であると思われる。

ま と め

ASH 群, CH 群, N 群について心筋 T_1 , T_2 値を測定し, 心筋の収縮や肥大の程度による変化および基礎疾患との関連を検討した。

1. 心筋 T_1 , T_2 値はいずれも収縮によって有意に減少し, これらの検討には, 心収縮の影響を考慮する必要があると考えられた。

2. 拡張期 T_1 , T_2 値は, 拡張期壁厚と有意の正相関を示した。

3. ASH 群と CH 群で, 拡張期壁厚が 17 mm 以上の肥大を示した部位を比較すると, 壁厚の平均値は両群間でほぼ等しいが, T_1 値は ASH 群が CH 群に比して有意に高値を示した。

4. T_1 /WT, T_2 /WT を拡張期で比較すると, CH 群は ASH 群や N 群に比べていずれも有意に低値を示した。

以上, MRI において, 心時相を考慮し, 左室短軸断面を用いて T_1 , T_2 値を検討すると, 肥大型心筋症と高血圧性心肥大に差が認められ, MRI による非観血的組織性状診断の可能性が示唆された。

要 約

磁気共鳴イメージング (MRI) による心筋 T_1 , T_2 値の, 原因の異なる肥大型心筋症の鑑別における有用性を検討した。対象は非対称性中隔肥大を示し, 高血圧の既往のない 15 例 (ASH 群), 高血圧を有し, 求心性肥大を示す 10 例 (CH 群), およ

び対照群 5 例 (N 群) である。心電図同期にて拡張期及び収縮期における左室短軸断面をスピニングエコー法および反転回復法にて撮影し, T_1 , T_2 画像を作成した。左室短軸断面上で局所壁厚および局所 T_1 , T_2 値を, 前壁中隔, 前壁, 側壁, 後壁および後壁中隔の 5 点について求めた。

その結果, 心筋 T_1 , T_2 値は収縮期において (T_1 : 185.6 ± 37.9 msec, T_2 : 24.4 ± 6.3 msec, mean \pm SD) で, 拡張期 (T_1 : 249.2 ± 56.7 msec, T_2 : 31.7 ± 9.4 msec) より有意に短縮していた。ASH 群と CH 群では, 拡張期 T_1 値と壁厚との間に有意な相関があり (ASH: $r=0.80$, $p<0.01$, CH: $r=0.45$, $p<0.01$), また拡張期 T_2 と壁厚との間にも有意な相関 (ASH: $r=0.58$, $p<0.01$, CH: $r=0.60$, $p<0.01$) がみられた。拡張期壁厚が 17 mm 以上の肥大部位に限って局所 T_1 値を検討すると, 壁厚は ASH 群, CH 群とも差がないが, T_1 値は ASH 群 343.4 ± 40.5 msec に対して CH 群 247.3 ± 21.4 msec と, 有意に ASH 群で高値を示した。 T_1 値および T_2 値を壁厚で除した T_1 /WT, T_2 /WT は, CH 群では ASH 群や N 群に比して有意に低値を示した。

以上より, 心筋の T_1 , T_2 値は心時相に関連し, これらの値の検討には, 心時相を考慮して行う必要があると考えられた。また拡張期心筋 T_1 , T_2 値は, 左室肥大の程度や基礎疾患により差異が認められたことから, 心電図同期下の左室短軸断面における心筋 T_1 , T_2 値の測定は, 肥大型心筋症と高血圧性心肥大の鑑別に有用であると考えられた。

文 献

- 1) Yoshida S, Ueno Y, Nishio I, Masuyama Y, Maeda C, Mishima T, Yamada R, Morita R, Hori K: Usefulness of oblique projections in ECG-gated cardiac MRI. J NMR Med 5 (1): 64-72, 1985
- 2) Aifidi RJ, Haaga JR, Yousef SJE, Bryan PJ, Fletcher BD, LiPuma JP, Morrison SC, Kaufman B, Richey JB, Hinshaw WS, Kramer DM, Yeung HN, Cohen AM, Butler HE, Ament AE, Lieber-

- man JM: Preliminary experimental results in humans and animals with a super-conducting, whole-body, nuclear magnetic resonance scanner. *Radiology* **143**: 175, 1982
- 3) 吉田 茂, 上野雄二, 藤原節子, 有田幹雄, 濱田昌範, 西尾一郎, 増山善明: 磁気共鳴イメージング (MRI) の心電図同期左室長軸像および短軸像における, 肥大心の形態学的特徴及び左室壁厚の定量的検討. 臨床心臓図学会第 32 回学術集会予稿集 183, 1986
 - 4) 小林史朗, 榊原 誠, 今関安雄, 今井 均, 渡辺 滋, 増田善昭, 稲垣義明, 守田文範, 植松貞夫, 有水 昇, 池平博夫, 福田信男, 館野之男: 心電図同期 MRI による左心機能の検討. *J NMR Med* **7** (Suppl 1): 178, 1987
 - 5) Stratemeier EJ, Thompson R, Brady TJ, Miller SW, Saini S, Wismer GL, Okada RD, Dinsmore RE: Ejection fraction determination by MR imaging: Comparison with left ventricular angiography. *Radiology* **158**: 775-777, 1986
 - 6) Damadian R: Tumor detection by nuclear magnetic resonance. *Science* **171**: 1151-1153, 1971
 - 7) Wesbey G, Higgins CB, Lanzer P, Botvinick E, Lipton MJ: Imaging and characterization of acute myocardial infarction in vivo by gated nuclear magnetic resonance. *Circulation* **69**: 125-130, 1984
 - 8) McNamara MT, Tscholakoff D, Revel D, Soulen R, Schechtmann N, Botvinick E, Higgins CB: Differentiation of reversible and irreversible myocardial injury by MR imaging with and without Gadolinium-DPTA. *Radiology* **158**: 765-769, 1986
 - 9) Gregg DE, Khouri EM, Rayford CR: Systemic and coronary energetics in the resting unanesthetized dog. *Circ Res* **16**: 102-113, 1965
 - 10) Been M, Kean D, Smith MA, Douglas RHB, Best JJK, Muir AL: Nuclear magnetic resonance in hypertrophic cardiomyopathy. *Br Heart J* **54**: 48-52, 1985
 - 11) Nishimura T, Nagata M, Uehara T, Hayashida K, Naito H, Imakita T, Takamiya M, Sakakibara H, Kozuka T: Gated magnetic resonance imaging in hypertrophic cardiomyopathy. *J NMR Med* **5** (2): 21-28, 1985