

## Cine MRIによる子宮の評価

富樫 かおり

京都大学大学院医学研究科放射線医学講座

## The uterine contractility evaluated with MRI

Kaori Togashi

Diagnostic Imaging and Nuclear Medicine, Graduate School of Medicine, Kyoto University

## 抄録

平滑筋にて構成される子宮は多様な収縮機能を持ち、近年のMRの発達はこの可視化を可能としている。子宮収縮には大きく分けて数分間持続するsustained contractionと子宮蠕動運動と呼ばれる微細で律動的な秒単位の収縮がある。撮像に長時間を要するMRIではsustained contractionについては報告があるが、子宮蠕動をとらえることは不可能であった。が、近年の高速撮像法の進歩に伴い、短時間に撮像したMRI画像のシネ表示(シネMRI)により子宮蠕動の直接の描出が可能となった。MRIの利点は、非侵襲的であり、かつ生体内の自然な状態のまま、微細な筋層の収縮そのものをT2強調画像における一過性の信号低下として捉えられる点と言える。今後シネMRIは子宮の様々な機能及び病態の解明、さらには種々の機能異常に対する治療法の確立、治療効果の評価法として将来性が期待される。

## Summary

The physiologic contraction of the uterine, which is known as sustained contraction, was initially observed at conventional MRI as transient nodules of low intensity at T2-weighted images, which closely simulate ordinary leiomyomas. The observation of this phenomenon has led us to investigate uterine physiologic function, immediately after cine MRI has become feasible in our institute. The observation of dysmenorrheal patients with cine MR revealed clinical relevance of sustained contraction with pain scale, which was found to be alleviated by the oral contraceptive. These results suggest that cine MR can provide objective data for the analysis of patho-physiological conditions of the uterus.

The uterus has known to have another type of contraction that is called uterine peristalsis, which is defined as rhythmic and subtle stripping movement in the subendometrial myometrium. At cine MRI, we have successfully visualized that the uterine peristalsis is different in its frequency and direction depending on the menstrual cycle. The direction of the peristalsis is cervico-fundal in the periovulatory phase, whereas fundo-cervical in the menstrual phase. The former wave direction will help to carry

別刷請求先：〒606-8507 京都市左京区聖護院川原町54  
 京都大学大学院医学研究科放射線医学講座 富樫 かおり  
 TEL：075-751-3760 FAX：075-771-9709

sperm to the fundus and the fallopian tube, where fertilization occurs, and the latter facilitates discharge of the menstrual hematoma. In the cases where the fertilization is disturbed (i.e. subendometrial myoma, endometriosis, and intrauterine device), normal uterine peristalsis was found to be disturbed by cine MR. It may help to observe what will normalize the peristalsis and contribute to solve the infertility.

**Key words** | MR, Uterus, Function, Contractility

## I. 緒言

MRI画像診断の大きな利点として、被ばく等の侵襲がないため、生理的状态における生体機能を直接的に可視化し繰り返し評価することが可能であるということが挙げられる。このため、中枢神経領域では、早い時期よりfunctional MRI等々の機能画像診断を用いて多彩な機能・代謝情報の画像化が実現され、精神的、情動的な活動を含む脳機能を評価すべく多くの研究が推進されてきた。翻って躯幹部領域においては、呼吸と心・血管系の拍動や臓器固有の自律的収縮といった動きが妨げとなり、心電図同期を用いたMRIによる心臓の動態解析や機能評価を例外とし、臓器特有の機能や動態解析に関する報告は極めて限られたものであるのが現状である。しかしながら、最近の高速MRI技術の発展により時間分解能の高いcine MRIが可能となった現在においては、多様な臓器における動態評価の

可能性が現実的となり、臓器固有の機能的な情報が得られる可能性もある。本稿ではシネMRIによる子宮収縮の評価と臨床への応用についてまとめる。

## II. 背景

子宮で最も代表的、一般的な腫瘍性病変である筋腫はMRIにおいて辺縁明瞭な結節として描出され、腺筋症は辺縁不明瞭なびまん性の病変として示される。しかしながら、時にMRIにおいて筋腫と考えられる結節状の低信号域が短時間のうちに変化する現象が認められる(図1)<sup>1,2)</sup>。この現象は子宮筋層の散発性収縮のうち持続的収縮(sustained contraction)と呼ばれる一過性の筋層の収縮運動を見ていると考えると明解に説明されうる<sup>1,2)</sup>。収縮部分がMRIのT2強調画像において低信号を呈するのは、収縮に伴う血管床の縮小に伴う水分含有量の低下によると考えられる。この経験から、子宮の収縮運動

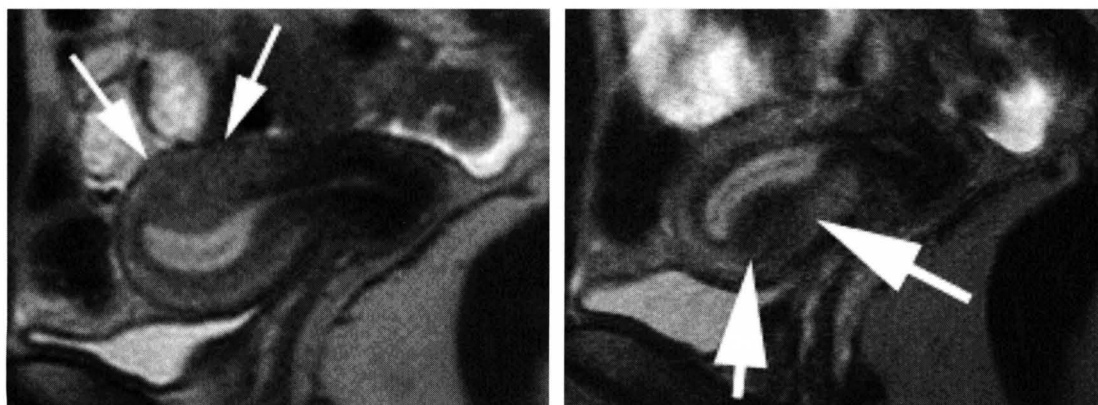


図1. 子宮の持続的収縮

同一被検者における子宮長軸断面のT2強調像。子宮後壁にみられる局所的な肥厚と内腔側への突出(左図矢印)はその15分後に同一断面を撮像した画像では消失し、前壁筋層に低信号を示す局所的な肥厚(右図矢印)が出現している。いずれも子宮の持続的収縮(sustained contraction)による偽像と考えられる。収縮部位は著明な信号低下を示し、一見、筋腫と紛らわしい。

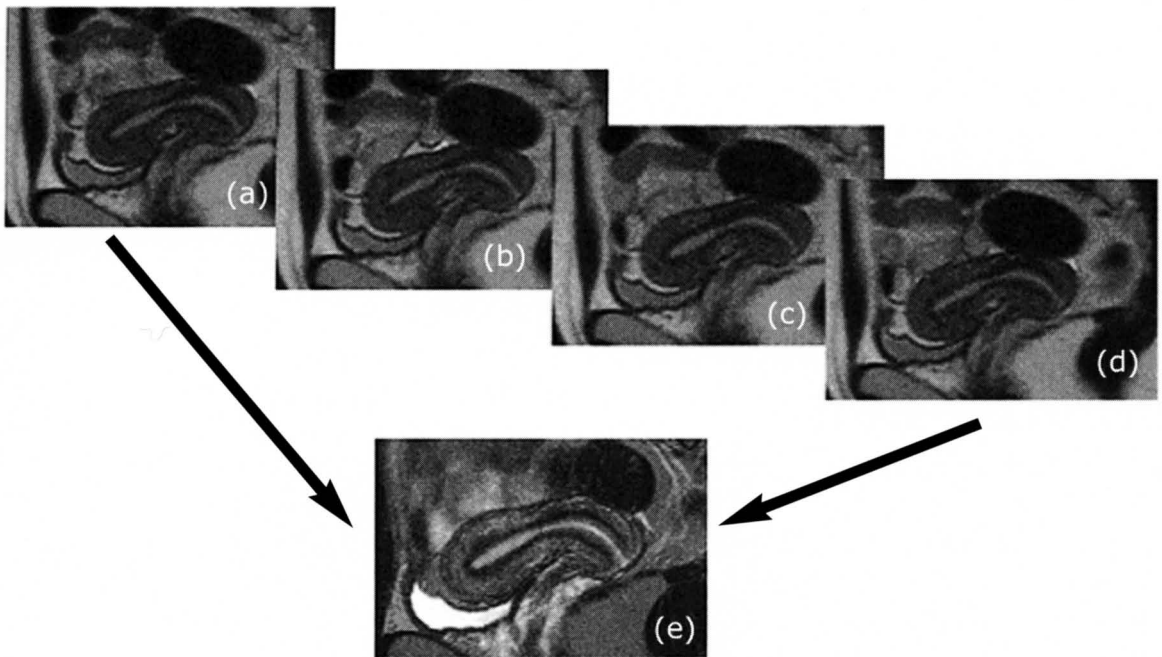


図2. Cine MRI

子宮は平滑筋よりなる臓器であり、自律的収縮能を有し、内膜直下筋層(JZ)に見られる微細でリズムカルな子宮蠕動と呼ばれる波の伝播様の収縮がみられる。この波は絶えず伝播するため、一秒ごとに同一部位を撮像した一連のHASTE画像(a-d)では内膜とJZの輪郭はすべて微妙に異なる。通常の5分程度の撮像時間で得られるfast spin-echo法T2強調画像(e)でみられる層構造は数十枚のHASTE画像の総和であると考えられる。

があたかも病変のような偽像を形成するという事実と同時に、MRIにより子宮の生理的な機能を捉えうる可能性を認識し、シネMRIを開発するに至った<sup>1,2,3)</sup>。

### Ⅲ. 撮像方法

Cine MRIはT2コントラストを表現可能な高速撮像法の一つであるHASTE(half Fourier single-shot turbo spin-echo)法を用いて子宮の長軸断面を繰り返し撮像し100枚近くの画像を得た後、読影端末上でシネモード表示をしたものである(図2)<sup>3)</sup>。従来のfast spin-echo法では撮像におよそ5分を要したが、HASTE法ではT2強調画像に比べコントラストや空間分解能は劣るものの、一枚あたり数百ミリ秒と著しく改善した時間分解能で子宮を撮像することが可能である。撮像スライスの断面を子宮の長軸に合わせ、同一部位を連続して撮像、後で一連の経時的に連続した画像を読影端末上でシネモードを用い撮影時の数倍速で観察することに

より、子宮の蠕動の観察が可能となる。cine MRIの最適な撮像方法についてはいまだコンセンサスがないが、我々はTRを2000-3000msec、TEを81msec、スライス厚を5mm、FOVを300mm、撮像マトリックスを256×192とし撮像時間を2~3分としている<sup>3)</sup>。

SSFP(steady state free precession定常状態自由歳差運動)を利用した高速撮像法であるtrue FISPは最大時間分解能390msと極めて時間分解能に優れた撮像法であるが、空間分解能が低い(128マトリックス)点、磁場の不均一に弱い撮像法のため画像の歪みが生じる点、また子宮のコントラストがHASTEに比べ不良であることが多い点がcine MRIへの適用における問題点となる<sup>3,4)</sup>。

### Ⅳ. 子宮収縮の評価とその臨床的意義

#### (1) 月経困難と子宮収縮

主観的事象である疼痛を客観的に評価することは困難であり、月経困難は無視されがちな事象であった。我々は月経困難症被検者15名においてcine MRI

と通常MRI撮像を行い疼痛の程度とMRI画像所見との相関の評価を試みた。15名の被検者に対し、最も疼痛の強い月経開始1日または2日、および疼痛の軽減する3日目以後に1-2回のMRI撮像を行った。得られた画像を読影端末上で15倍速シネモードにて表示し、子宮収縮に関連があると思われるMRI画像所見 (junctional zoneの厚さ、内膜の変形の程度、子宮体部の体積減少) と、Visual Analogue Scale (VAS) に基づいて記録を行った患者の疼痛の程度に関して評価を行ったところ、それらが有意な相関を持つことが示された<sup>5)</sup>。MRI画像において、疼痛の強い月経開始1日目には子宮は著明な収縮により、体部は小さく全体に低信号を呈し、また内膜は著しい変形を示した。疼痛のみられなくなった3日目には子宮はほぼ正常の層構造を呈し、内膜の変形等も認めなかった(図3)。従来は主観的な主訴でしか捉えられなかった月経困難症の病態がこのように直接可視化され、MRIを用いることで客観的な疼痛の指標を提供しうることは極めて画期的と考えられる。

## (2) 低容量経口避妊薬と月経困難疼痛緩和

低容量経口避妊薬 (oral contraceptive, 以下OC) は、避妊薬としてのみならず月経困難症の疼痛コントロールを目的として広く使用される治療法であるが、有効であるという科学的根拠は未だに実証されていない (子宮内膜症ガイドラインより)。疼痛軽減の機序は、経口避妊薬が月経期内膜におけるプロスタグランジン合成を抑制し、子宮収縮を抑制するためであろうと推測されている。前項と同様、通常MRIおよびcine MRI撮像法を用いて、経口避妊薬の子宮収縮に及ぼす影響の評価を行った。対象は健常性成熟期女性で経口避妊薬服用群21名と非服用の20名の健常成熟期女性として、MRI撮像は、月経もしくは消退出血開始より3日以内に施行。cine MRIにてjunctional zone (JZ) と呼ばれる子宮筋層内側の帯状の低信号域の厚さ、内膜変形の有無を評価し、子宮正中矢状断T2強調像で子宮筋層の面積を計測した。疼痛評価は3段階の質問形式で行い、MRIで得られた所見と対比した。結果は、経口避妊薬服用群で有意にJZが薄く、内膜の変形も少なかった。子宮正中矢状断での子宮筋層の面積は対象群 (16.4 cm<sup>2</sup>) に比べて経口避妊薬服用群 (19.8 cm<sup>2</sup>) で有意に大きかった。

これらのMRI所見は経口避妊薬服用群で子宮収縮が弱いことを示すものといえる。疼痛に関しては、対照群に比べ経口避妊薬服用群で弱い傾向にあり、有意差は認められなかったが、経口避妊薬は子宮収縮を抑制することで月経困難を軽減している可能性が示唆された<sup>6,7)</sup>。

## V. 子宮蠕動について

### (1) 子宮蠕動とは

子宮には妊娠後期にみられるBraxton Hicks収縮、あるいは前述の偽像を呈しうるような散発的かつ持続的な収縮 (sustained contraction) の他にもさまざまなタイプの収縮がある。生殖医学領域では1990年ごろに経腔超音波検査において内膜のさざ波様のリズムカルな輪郭変化が捉えられ子宮蠕動と名づけられ、妊娠能との何らかの関連をもつことが推測されていたが撮像に長時間を要するMRIにおいてはこの現象についての検討は長らくみられなかった<sup>8-10)</sup>。

cine MRIにおいて、上記蠕動運動はJZ (と呼ばれる子宮内層筋層) におけるかすかでリズムカルな波様の低信号域の動きの伝播として観察することが可能である (図3)<sup>3,4,11)</sup>。波様の動きは、子宮長軸方向にそって内膜直下筋層の低信号が移動することにより認識されることもあれば、短軸方向に内膜の輪郭変化として認識されることもあり、伝播する波の頻度、強さ、方向、外層への伝播の有無は多様である。蠕動の方向性は、“子宮の長軸方向のうち頸部から底部に向かう場合を逆行性、逆に底部から頸部に動く場合は順行性とするが、時に順行、逆行両方向の交互に繰り返す動き (to-and-fro) として観察されることもある。子宮蠕動は高倍速でシネ表示することにより動きが強調され、はじめて認識が可能となる<sup>3,4,11)</sup>。

### (2) 副交感神経遮断薬が子宮に及ぼす影響

腹部MRI撮像時に腸管の動き抑制を目的として前投薬が用いられる。副交感神経遮断薬である抗コリン剤が子宮に及ぼす影響を検討すべく、生殖可能年齢の健常女性23名において排卵期前後にcine MRIと通常MRI撮像を施行、蠕動の頻度、強さ、収縮の回数、程度、画質について評価した。抗コリン剤投与にて子宮蠕動の頻度は有意に抑制 (s 4.57 ± 1.62 to 3.52 ± 1.59 waves/minutes、平均

22.9% 減少 (95% CI = 8.7-37.2%) (p=0.003) また散発性収縮の程度も有意に抑制された (P=0.001)。この結果より、女性骨盤MRI撮像に際しては、腸管蠕動からの motion artifact 低減を目的として投与される前投薬である抗コリン剤 (ブスコパン) は子宮にも直接影響し収縮の抑制にて画質改善に役立っていることが示された。MRI 画像の画質向上においては、腸管からの motion artifact の低減が重要であるが、子宮蠕動を含む子宮の収縮自体をも抑制し、画質向上に貢献していることが証明された<sup>12)</sup>。本研究は腹部MRI撮像時の前投薬投与を正当化する根拠となる。

### (3) 月経周期に伴う変化、閉経前と閉経後

T2強調像における子宮層構造は月経周期によって大きな変動を示すことはよく知られている。そこで、健常性成熟期女性被検者15人に対してTrue FISPを用いた cine MRI を月経期、排卵期、黄体期に撮像しその変化を観察した。結果、子宮蠕動の方向性、強さ、頻度は月経周期によって著しい変化を示すことを示した<sup>3, 4, 13)</sup>。その後さらにHASTEを用いた cine MRI による検討を重ね健常被検者では排卵期には91-97%において蠕動が捉えられること、月経期は順行性 (fundo-cervical)、排卵期から排卵期にかけては逆行性 (cervico-fundal) で、頻度は徐々に増加し排卵期に最大となること、黄体期には蠕動は

ほぼ消失することを確認した<sup>3, 4, 13)</sup>。排卵期には頸部から底部へと伝搬する波が高頻度に観察され、一方、月経時には底部から頸部へむかう緩徐な波の伝搬が見られ、その方向、頻度、強さは子宮機能にきわめて合目的といえる。すなわち排卵期は精子の輸送をサポートする方向、黄体期は初期妊娠受精卵の保持、月経中は月経血の駆出に役立つ方向、頻度、強さと推測されるが証拠はまだない。

さらに、子宮蠕動は更年期女性にはみられないこと、ただし更年期女性であっても閉経からの期間が短ければ同定され、閉経からの期間と同定の率に有意な差があることも確認し、子宮蠕動が内分泌環境・生殖と強い関連を持つと推測するにいたった (unpublished data)。

### (4) 日内変動と内分泌的影響の評価

子宮蠕動にもし日内変動があるとすれば受精のタイミングを考えるうえで重要と思われ、蠕動の日内変化の有無について検討を加えた。対象は性成熟期女性被検者8名とし、撮影は、月経周期のうち蠕動運動が強い排卵期と月経期、体外受精において重要な黄体期において、各々朝 (8時)、昼 (13時)、夕方 (18時)、就寝前 (23時) の4回、各々2回撮影した。月経周期中の推測は、基礎体温計測に依った。撮像はSiemens社製1.5T装置 (Symphony) phased array coil を用いHASTE法にて、安静呼吸下に

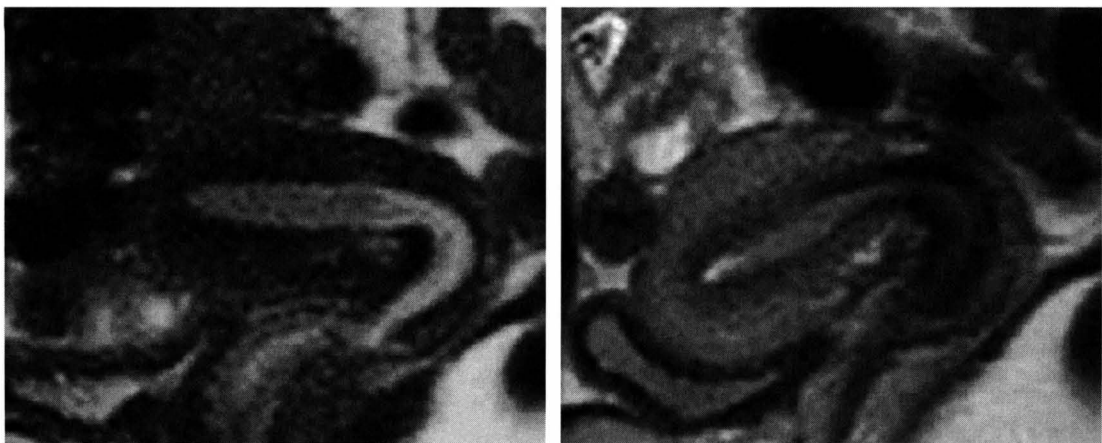


図3. 月経困難症における子宮収縮 (左：月経1日目疼痛時、右：月経3日目無痛時)

月経1日目においては、子宮体部は小さく全体に低信号を呈し、内膜の輪郭は不整である。しかし3日目の無痛時の画像では、子宮体部は大きく外層は高信号を呈し、JZは薄く内膜の変形は消失している。



2分間、2秒ごとに子宮正中部矢状断を60枚連続撮影し10倍速シネモードにて表示。子宮蠕動の有無とその性状について検討し、蠕動頻度は方向が確認できた例についてのみ評価した。

結果、平均蠕動頻度は、朝・昼・夕・夜で排卵期2.3・2.0・2.3・2.1/分、月経期0.4・0.6・0.6・0.5/分、黄体期0.8・1.0・0.9・1.0/分と各時間帯に有意な差を認めず、方向にも時間帯による明らかな変動は認めなかった。ただ、個人については、72.8% (45/59撮影)において時間帯による蠕動頻度の変動が認められ、多くは散発性収縮の出現にともなう蠕動の抑制によるものであった。変動幅の平均は排卵期0.8/分、黄体期0.6/分、月経期0.7/分であり、最大は2.8回であった。蠕動の方向も月経期、黄体期ではやはり軽度の変動がみられたが、排卵期には全くみられず、一定してどの時間帯においても、頸部から底部方向の蠕動のみが認められた<sup>13)</sup>。本検討により、子宮蠕動は平均すると明らかな日内変動はなく、排卵期の蠕動の方向は常に頸部から底部に向かいきわめて合目的と考えられた。

#### (5) IUD、子宮内避妊具の存在と子宮蠕動の関連

子宮内避妊具（以下IUD=intrauterine device）は広く使用されている有効な避妊方法であるが、明らかな作用機序は未だ不明である。本研究ではIUDにより子宮蠕動がどのように変化するかをcine MRIを用い検討した。健常性成熟期女性でIUD装着者10名、非装着者13名を対照とし、前項と同様の方法にてcine MRI撮像を、排卵期（前月経周期より推測、次月経開始前14日前後）に行い、蠕動の有無とその方向、頻度、及び波の伝搬を評価。結果、蠕動はIUD群で6/8例、対照群では全例に確認でき、頻度は、IUD群平均1.3/min、対照群2.2/minとIUD群で有意に少なかった。方向は、対照群は11/13例で頸部底部方向、2/13例でのみ底部頸部方向を示したのに対し、IUD群の2/8例で底部頸部方向の波のみが観察され、4/8例では両方向の波が観察された。収縮波が筋層の半分以上まで達しているものは、底部頸部方向の波では79.2%、頸部底部方向では33.3%であった<sup>14)</sup>。

これらの検討から、IUD装着者では正常排卵期特有の頸部底部方向蠕動波が抑制され、月経期同様の底部頸部方向の強い波を認めることがわかる。IUD装着者の内膜よりプロスタグランジンが分泌

されることが知られており、この作用にて強い子宮収縮が生じていると推測される。この現象は月経血の駆出と同様、異物である避妊具の排出を目的とする動きである可能性が推測される。IUDが妊娠を妨げる原因として、避妊具により精子移送が物理的に阻止される、内膜に炎症が起こる、着床障害がおこるなど諸説あるが、本研究より、月経時同様の逆方向の蠕動による精子の輸送障害も可能性として考えられる<sup>14)</sup>。

#### (6) 内膜症、妊孕能、蠕動との関連

内膜症は不妊の原因として知られる。近年、初経の早期化、出産年齢の高齢化、少子化などにて内膜症は増加しており、大きな問題となりつつある。しかしながら内膜症が妊孕能を妨げる機序については癒着が卵管の運動を妨げる、内膜症に伴う炎症が悪影響を及ぼす、免疫の異常をきたす等々さまざまな仮説が提出されているが、いまだ解明されていない。TVUSにて増殖期、黄体期に散発性かつ不規則な収縮が増加するという少数の報告が見られるがそれ以外には、子宮収縮と内膜症の関連に言及した報告はない。

未治療内膜症例26名（排卵期10、黄体期13、月経期3）と健常性成熟期被検者12名を対象とし、前項同様にcine MRIを施行。排卵期、黄体期、月経期各々において内膜症群では3/10、3/13、3/3、正常群では11/12、3/12、5/12に蠕動が観察され、内膜症群において排卵期特有の頸部底部方向の蠕動出現頻度が有意に低い（ $P<0.05$ ）ことが示された。散発性収縮は内膜症で少し多いものの有意差は認めなかった<sup>15)</sup>。

内膜症群における、排卵期頸部底部方向の蠕動抑制は不妊との関連性を推測させるものである。内膜症例において散発性収縮が正常に比べて少し多く認められた点については、超音波にて指摘された異常な収縮に相当するの否か、さらにこれら異常な収縮運動が内膜症の結果なのか発生自体に寄与しているか否か、今後の研究課題と考えている。

#### (7) 粘膜下筋腫、早期流産、蠕動との関連

粘膜下筋腫も着床障害、あるいは早期流産の原因として知られているものの、この機序はまだ十分に解明されていない。26名の未治療筋腫（粘膜下筋腫16名、しょう膜下筋腫10名）を伴う性成熟期女性を

対象としてcine MRIを施行、粘膜下筋腫としょう膜下筋腫における子宮蠕動の方向、頻度、強さの違い、異常な収縮の有無を評価した。結果、粘膜下筋腫例12/16、しょう膜下筋腫では10/10に蠕動を認め、粘膜下筋腫にて蠕動の抑制が見られた。又、粘膜下筋腫例では蠕動が見られる例においても筋腫近くにて蠕動が消失、9/16例において異常な収縮が認められた<sup>16)</sup>。この結果から、粘膜下筋腫例では排卵期の頸部底部方向の蠕動が抑制され、IUD装着時同様、子宮内腔にとっての異物である筋腫を押し出す方向に異常な波が生じていることを示し、この動きが妊娠を妨げる原因の一つである可能性が示唆された<sup>16)</sup>。

## VI. 結び

MRIは急速な技術革新により、形態診断からの領域のみでなく、動態、機能、代謝を評価、可視化することのできる画像診断方法として適用が拡大している。今後cine MRIを含む機能MRIは、基礎から臨床への架け橋となるべく努力を重ね、生体画像科学(Biomedical Imaging Science)としての発展をめざしている。

## 参考文献

1. Togashi K, Kawakami S, Kimura I, et al. Uterine contractions: possible diagnostic pitfall at MR imaging. *J Magn Reson Imaging* 1993; 3:889-893.
2. Togashi K, Kawakami S, Kimura I, et al. Sustained uterine contractions: a cause of hypointense myometrial bulging. *Radiology* 1993; 187:707-710.
3. Nakai A, Togashi K, Yamaoka T, et al. Uterine peristalsis shown on cine MR imaging using ultrafast sequence. *J Magn Reson Imaging* 2003; 18:726-733.
4. Nakai A, Togashi K, Kosaka K, et al. Uterine peristalsis: comparison of transvaginal ultrasound and two different sequences of cine MR imaging. *J Magn Reson Imaging* 2004; 20:463-469.
5. Kataoka M, Togashi K, Kido A, et al. Dysmenorrhea: evaluation with cine-mode-display MR imaging-initial experience. *Radiology* 2005; 235:124-131.
6. Kido A, Togashi K, Kataoka M, et al. The effect of oral contraceptives on uterine contractility and menstrual pain: an assessment with cine MR imaging. *Hum Reprod* 2007; 22:2066-2071.
7. Kido A, Togashi K, Nakai A, Kataoka ML, Koyama T, Fujii S. Oral contraceptives and uterine peristalsis: evaluation with MRI. *J Magn Reson Imaging* 2005; 22:265-270.
8. de Vries K, Lyons EA, Ballard G, Levi CS, Lindsay DJ. Contractions of the inner third of the myometrium. *Am J Obstet Gynecol* 1990; 162:679-682.
9. Lyons EA, Taylor PJ, Zheng XH, Ballard G, Levi CS, Kredentser JV. Characterization of subendometrial myometrial contractions throughout the menstrual cycle in normal fertile women. *Fertil Steril* 1991; 55:771-774.
10. Kunz G, Beil D, Deininger H, Wildt L, Leyendecker G. The dynamics of rapid sperm transport through the female genital tract: evidence from vaginal sonography of uterine peristalsis and hysterosalpingoscintigraphy. *Hum Reprod* 1996; 11:627-632.
11. Kido A, Nishiura M, Togashi K, et al. A semiautomated technique for evaluation of uterine peristalsis. *J Magn Reson Imaging* 2005; 21:249-257.
12. Nakai A, Togashi K, Kosaka K, et al. Anticholinergic Agents Suppress Uterine

- Peristalsis and Sporadic Myometrial Contractions on Cine MRI. *J Magn Reson Imaging* 2008; 24:489-496.
13. Kido A, Togashi K, Nakai A, et al. Investigation of uterine peristalsis diurnal variation. *Magn Reson Imaging* 2006; 24:1149-1155.
  14. Kido A, Togashi K, Nakai A, et al. Intrauterine devices and uterine peristalsis: evaluation with MRI. *J Magn Reson Imaging* 2008; 26:54-58.
  15. Kido A, Togashi K, Nishino M, et al. Cine MR imaging of uterine peristalsis in patients with endometriosis. *Eur Radiol* 2007; 17:1813-1819.
  16. Nishino M, Togashi K, Nakai A, et al. Uterine contractions evaluated on cine MR imaging in patients with uterine leiomyomas. *Eur J Radiol* 2005; 53:142-146.



ダウンロードされた論文は私的利用のみが許諾されています。公衆への再配布については下記をご覧ください。

### 複写をご希望の方へ

断層映像研究会は、本誌掲載著作物の複写に関する権利を一般社団法人学術著作権協会に委託しております。

本誌に掲載された著作物の複写をご希望の方は、(社)学術著作権協会より許諾を受けて下さい。但し、企業等法人による社内利用目的の複写については、当該企業等法人が社団法人日本複写権センター（(社)学術著作権協会が社内利用目的複写に関する権利を再委託している団体）と包括複写許諾契約を締結している場合にあっては、その必要はございません（社外頒布目的の複写については、許諾が必要です）。

権利委託先 一般社団法人学術著作権協会  
〒107-0052 東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル 3F FAX：03-3475-5619 E-mail：info@jaacc.jp

複写以外の許諾（著作物の引用、転載、翻訳等）に関しては、(社)学術著作権協会に委託致しておりません。

直接、断層映像研究会へお問い合わせください

Reprographic Reproduction outside Japan

One of the following procedures is required to copy this work.

1. If you apply for license for copying in a country or region in which JAACC has concluded a bilateral agreement with an RRO (Reproduction Rights Organisation), please apply for the license to the RRO.

Please visit the following URL for the countries and regions in which JAACC has concluded bilateral agreements.

<http://www.jaacc.org/>

2. If you apply for license for copying in a country or region in which JAACC has no bilateral agreement, please apply for the license to JAACC.

For the license for citation, reprint, and/or translation, etc., please contact the right holder directly.

JAACC (Japan Academic Association for Copyright Clearance) is an official member RRO of the IFRRO (International Federation of Reproduction Rights Organisations).

Japan Academic Association for Copyright Clearance (JAACC)

Address 9-6-41 Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107-0052 Japan

E-mail info@jaacc.jp Fax: +81-33475-5619