

[原 著]

# Time-SLIP法を用いた非造影腎動脈MR AngiographyにおけるCHESS法とSTIR法の検討

## Comparison of CHESS and STIR fat suppression in non-contrast enhanced Time-Spatial Labeling Inversion Pulse (Time-SLIP) renal MR Angiography

池口 裕昭<sup>1)</sup>、高橋 正<sup>1)</sup>、庄内 孝春<sup>2)</sup>、山田 幸二<sup>1)</sup>

Hiroaki Ikeguchi, Tadashi Takahashi, Takaharu Shonai, Kouji Yamada

1) KKR札幌医療センター 放射線科 Department of Radiology, KKR Sapporo Medical Center

2) JR札幌病院 放射線科 Department of Radiology, JR Sapporo Hospital

キーワード：非造影、腎動脈、Time-SLIP、脂肪抑制、STIR

### I. はじめに

従来、MRIによる腎動脈の描出では造影MR Angiography (MRA) が主流であったが、MRI装置およびソフトウェアの進歩によって造影剤を使用しない非造影MRAが撮像可能となってきた。さらに、腎機能障害を有する患者にガドリニウム造影剤が投与されることによりNephrogenic systemic fibrosis (腎性全身性線維症、NSF) という重篤な副作用が生じることが報告され、非造影MRAの必要性が急速に高まってきている。

東芝社製MRI装置ではTime-Spatial Labeling Inversion Pulse (Time-SLIP) 法という非造影MRAの手法が使用できる。任意の領域に空間選択的反転パルスを加し、一定時間待つことで、パルスを照射された領域の外から反転パルスを照射されていない血液が流れ込む。このとき、反転パルスを照射された領域の縦磁化は完全に回復していないため、流入した血液の縦磁化は相対的に大きくなる。この反転パルス照射後の待ち時間はBBTIというパラメーターで表現されている。BBTIの後、血流速度に依存せずスナップショット効果が高いSteady-State Free Precession (SSFP) という撮像シーケンスを呼吸同期下で用いることで、自由呼吸下で背景の信号が良好に抑制された非造影MRAが撮像可能となる。脂肪の縦磁化は回復が早いので、この撮像法には脂肪抑制が必須である。一般に脂肪抑制法として画像の信号雑音比 (SNR) に影響を与えない周波数選択的な脂肪抑制 (CHESS) 法が使われるが、腸管の高信号が腎動脈に重なり、画質を劣化させてし

まうことがある。非選択的な脂肪抑制 (STIR) 法は画像のSNRが低下する欠点があるものの、腸管の高信号を抑制することが可能である。

当院では、このTime-SLIP法による非造影MRAを腎動脈のスクリーニング検査に使用している。しかし、この撮像法では高齢者など血流が遅い患者の場合、BBTIを延長しなければならず、背景信号が上昇し、腎動脈のコントラストが低下してしまう。今回、我々は脂肪抑制法にSTIR法を採用した場合の腎動脈の描出能をCHESS法と対比した。

### II. 使用装置および撮像条件

使用装置：東芝1.5T ExcelART Vantage XGV Ver 8.01

使用コイル：Torso SPEEDER 8ch coil

撮像シーケンス：呼吸同期 True-SSFP (FFE3D2.6\_ssf200k)、TR 5.2 ms、TE 2.6 ms、FA 120°、SPEEDER 2.0倍、セグメント数 2、FOV：32×32cm、Matrix：256×256 (1.25×1.25mm/Px)、2.5mm slice 40枚 (3軸方向にpixel補間を使用)

空間選択的反転パルス照射後に流入した動脈血の信号低下を最小限にするため、STIR法の反転時間 (TI) は十分に脂肪の信号が抑制される範囲で短めの160msとした。

### III. 方法

#### a. シミュレーションによる検証

1. CHESS法とSTIR法における脂肪と腎臓、水の縦磁化の変化

CHESS法は脂肪を選択的に励起するが、STIR法は非選択的にすべての縦磁化を反転するため、空間選択的反転パルス照射後に流入した動脈血の信号にも影響を与える。CHESS法とSTIR法における脂肪と腎臓、水の縦磁化の変化を対比した。空間選択的反転パルス照射後に流入した動脈血の信号変化も比較した。パルス照射前の縦磁化に対する変化率を空間選択的反転パルス照射後の時間でプロットした。それぞれのT1値は以下のように仮定した。脂肪=230ms、腎臓=700ms、水=3600ms、動脈血=1000ms。

## 2. 呼吸の繰り返しによる縦磁化の変化

BBTI=1500ms、呼吸数 20回/minとし、呼吸を3回繰り返した場合の背景組織の縦磁化の変化をCHESS法とSTIR法で比較した。それぞれのT1値は方法a1と同様に仮定し、同様にパルス照射前の縦磁化に対する変化率を最初の空間選択的反転パルス照射後の時間でプロットした。

## 3. 呼吸の繰り返しによる撮像直前の縦磁化の大きさ

BBTI=1500ms、呼吸数 20回/minとし、呼吸の繰り返し回数が0、1、2、10回と増加していった場合の縦磁化の大きさをCHESS法とSTIR法で比較し、T1値の違いでプロットした。

また、CHESS法とSTIR法における縦磁化の大きさの違いを%diffと定義し、以下のように算出した。

$$\%diff = (|STIR| - |CHESS|) / |CHESS|$$

|STIR| : STIR法における縦磁化の大きさの絶対量  
|CHESS| : CHESS法における縦磁化の大きさの絶対量

## 4. BBTIと呼吸数の違いによる%diffの変動

BBTI (1200、1500、1800ms)、呼吸数 (12、15、18、20、22、25回/min) を変化させた場合の%diffの変動を比較した。方法a3と同様にT1値の違いでプロットした。

## b. ファントムによる検証

水ボトルを6本のプラスチック・シリンジで囲みファントムを作成した。シリンジには希釈したガドリニウム造影剤を満たした (T1値 340、650、1150、1590、2160、2750ms)。BBTI (1200、1500、1800ms)、呼吸数 (15、20、25回/min) を変化させ撮像し、シミュレーションの結果と対比するために%diffを以下のように計測し、T1値の違いでプロットした。

$$\%diff = (SNR_{STIR} - SNR_{CHESS}) / SNR_{CHESS}$$

$SNR_{STIR}$  : STIR法で撮影した場合のSNR

$SNR_{CHESS}$  : CHESS法で撮影した場合のSNR

また、空間選択的反転パルスを印加せずにファントムを撮像し、STIR法のCHESS法に対するSNR低下率をそれぞれのシリンジのT1値でプロットすることで、動脈血のSNR低下率を推定した。動脈血のT1値はシミュレーションと同様に1000msと仮定した。

## c. 臨床例および健常ボランティアによるCHESS法とSTIR法の比較

人体における腎動脈および背景組織の描出をCHESS法とSTIR法で視覚的に評価した。

1. 腎動脈主幹部の精査のためにBBTIを2000msと比較的長く設定しなければならなかった2例で、一方はCHESS法で、他方はSTIR法で撮像された。
2. 設定したBBTIと呼吸数の異なる2例を提示する。
3. 呼吸が遅い症例で、BBTIを調節することで、水の描出を変化させることができた1例を提示する。

## IV. 結果

### a. シミュレーションによる検証

#### 1. CHESS法とSTIR法における脂肪と腎臓、水の縦磁化の変化

脂肪のようにT1値の短いものはBBTIのうちに十分に縦磁化が回復するが、T1値の長いものは十分に回復していない。動脈血の縦磁化はSTIR法において約30%減少することがわかった。したがって、STIR法でCHESS法よりも血管のコントラストを向上させるためには、背景信号を30%以上低下させる必要がある (図1)。

#### 2. 呼吸の繰り返しによる縦磁化の変化

3回呼吸が繰り返された場合、T1値の短い脂肪や腎臓は縦磁化の変動はほとんど見られないが、水のようにT1値の長いものは呼吸の繰り返しにより縦磁化の大きさが著明に変動した (図2)。

#### 3. 呼吸の繰り返しによる撮像直前の縦磁化の大きさ

T1値が短いと呼吸を繰り返しても縦磁化の変化はほとんど認められないが、T1値が長いと変動が大きく、呼吸の繰り返しにより定常状態に落ち着いた (図3A, 3B)。%diffはT1値が長いと著明に変化した。今回設定したBBTIと呼吸数では%diffはすべてのT1値に対して-0.272以下に落ち着き、T1値が短いほど低値を示した (図3C)。

4. BBTIと呼吸数の違いによる%diffの変動

T1値が短いとBBTIと呼吸数が変化しても%diffにはほとんど変化が見られなかった。中等度のT1値では、BBTIが同じならば呼吸数が少ない方が%diffは小さく、呼吸数が同じならば短いBBTIを選択した場合に%diff

が小さくなった。T1値が長いと、短いBBTIを選択した場合、呼吸数が減少するにつれて、%diffが著明に大きくなった。ゆえに、呼吸数が少ない症例にSTIR法を使用する場合、BBTIが短いと、水のようなT1値の長いものは信号が上昇してしまう(図4)。

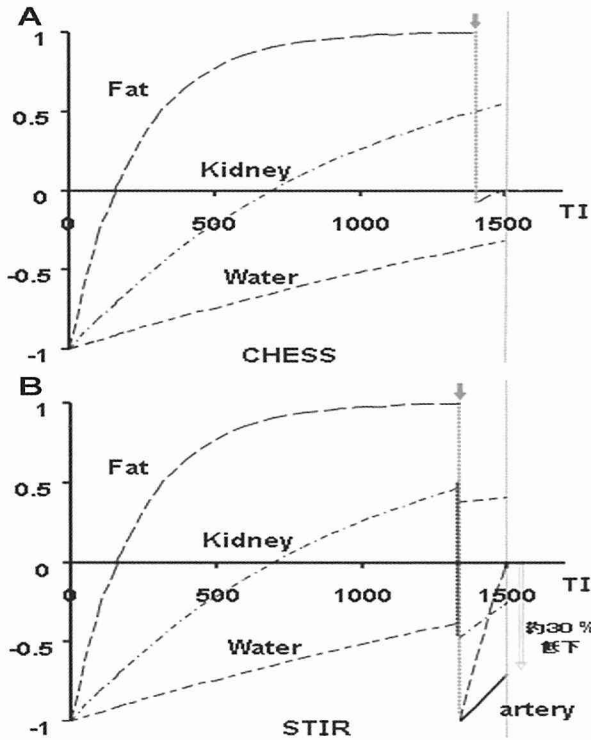


図1 CHESS法とSTIR法における脂肪と腎臓、水の縦磁化の変化  
A: CHESS法、B: STIR法

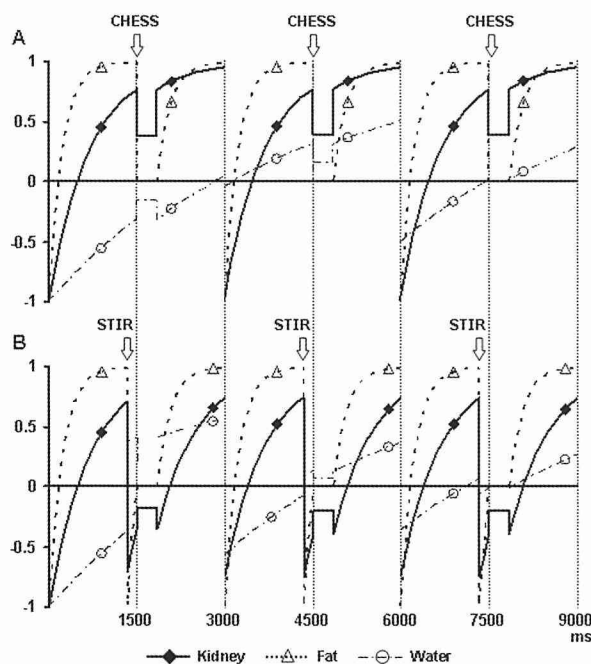


図2 呼吸の繰り返しによる縦磁化の変化  
A: CHESS法、B: STIR法

b. ファントムによる検証

シミュレーションの結果と同様の結果が得られた。BBTI=1200msの場合、呼吸数が減少すると、T1値の長いものでは著明に%diffが増大した。BBTIが延長す

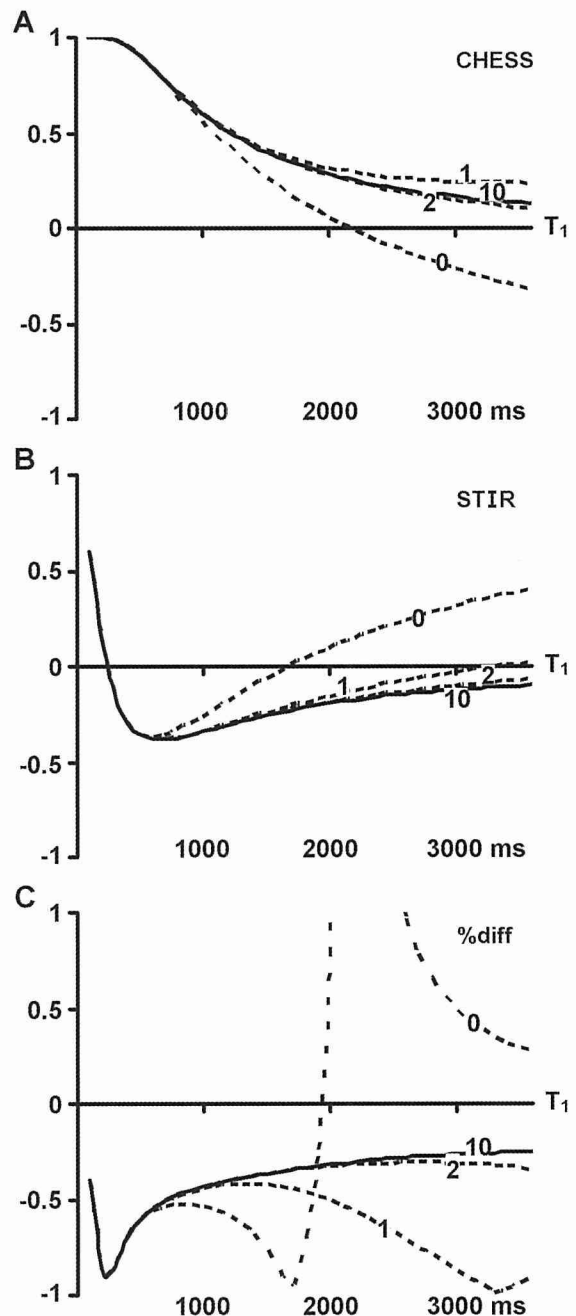


図3 呼吸の繰り返しによる撮像直前の縦磁化の大きさおよび%diff  
A: CHESS法、B: STIR法、C: %diff

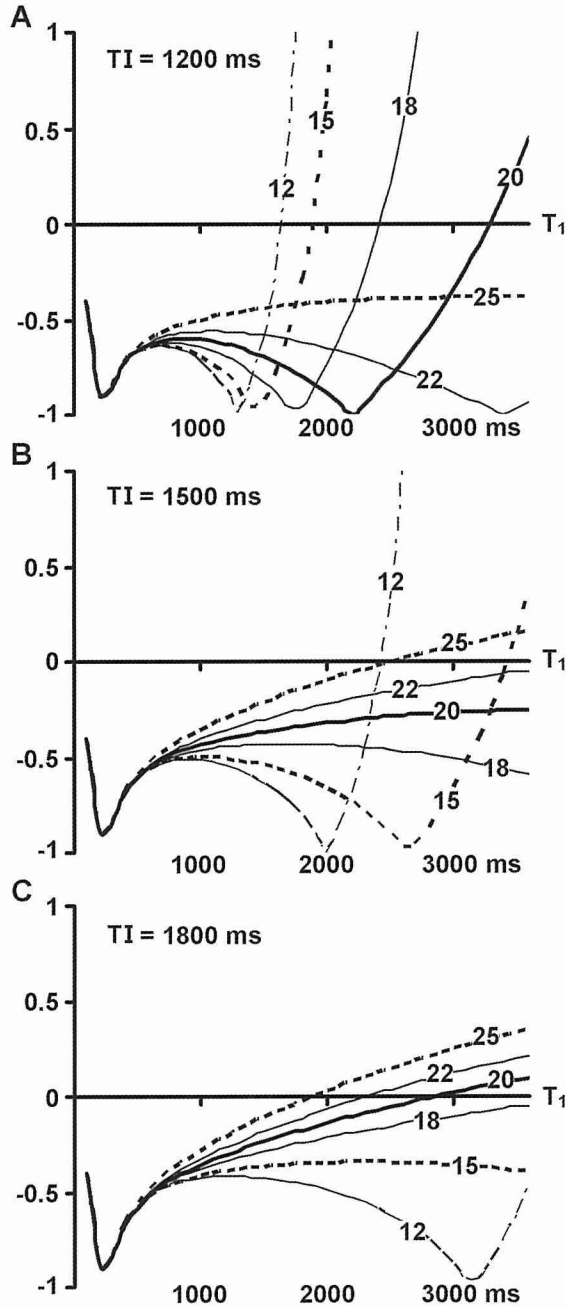


図4 BBTIと呼吸数の違いによる%diffの変動  
 A: BBTI=1200、B: BBTI=1500、C: BBTI=1800

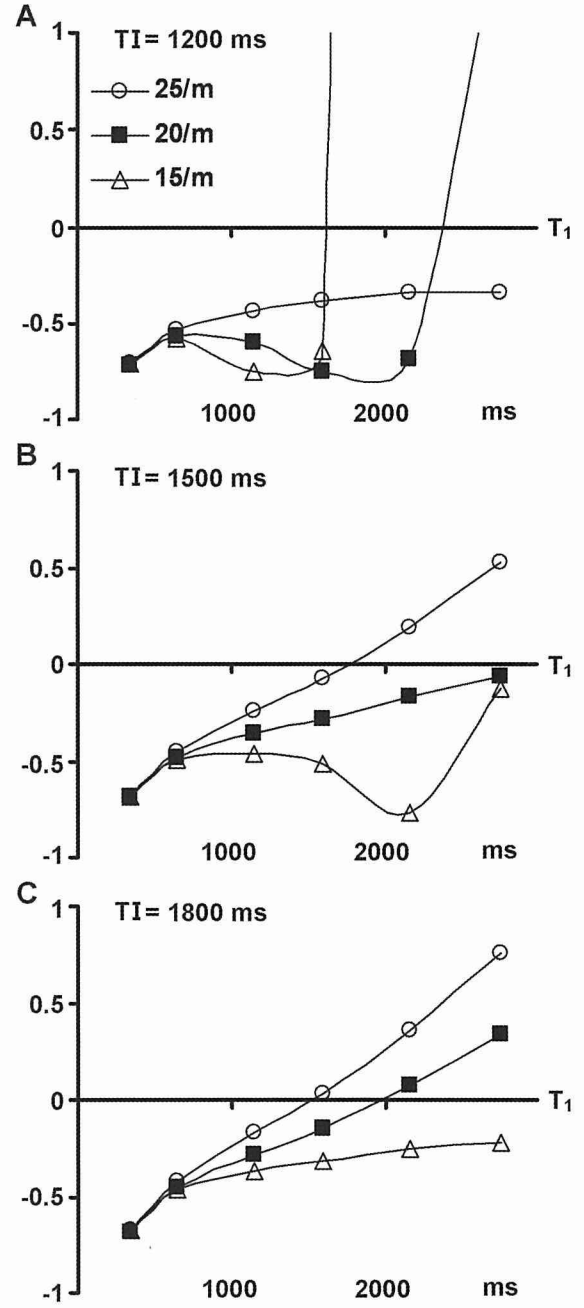


図5 ファントムによる検証  
 A: BBTI=1200、B: BBTI=1500、C: BBTI=1800

るにつれて、呼吸数による変化は単調になり、T1値の長いものは呼吸数の増加とともに%diffが上昇した(図5)。よって、STIR法を用いる場合、BBTIを短く設定できる症例では、呼吸が速くないと水のようなT1値の長いものは著名に信号が上昇してしまうことがわかった。

また、STIR法における空間選択的反転パルス照射後に流入した動脈血のSNR低下率は、シミュレーションの結果と同様に30%弱となった(図6)。

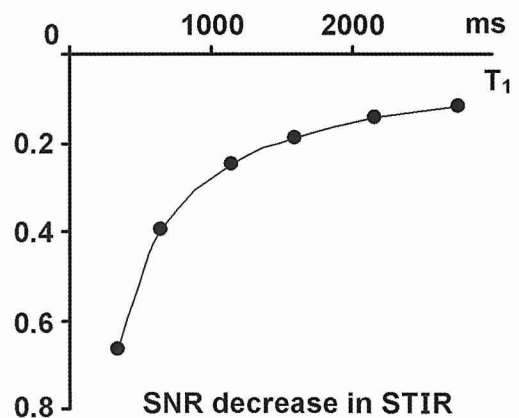


図6 STIR法における動脈血のSNR低下率

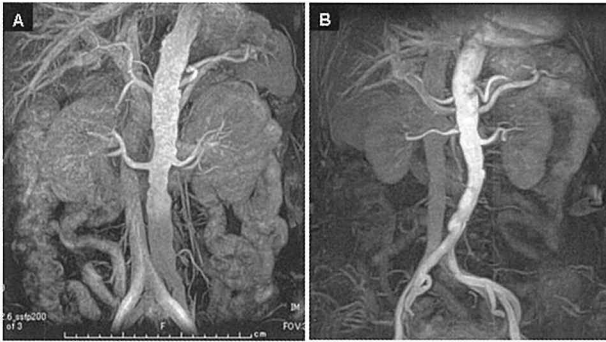


図7 BBTIを2000msに設定した2例  
A: CHESST法 (MIP像)、B: STIR法 (MIP像)  
呼吸数はともに18回/minであった。

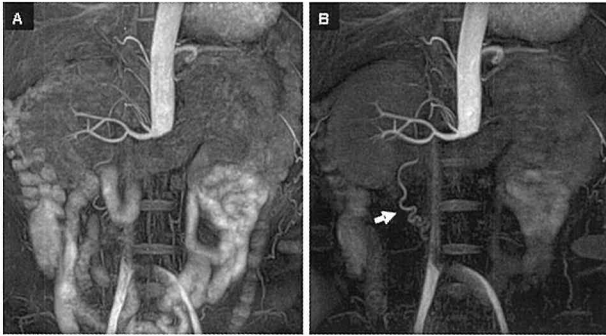


図8 大動脈閉塞の症例  
A: CHESST法 (MIP像)、B: STIR法 (MIP像)  
49歳、男性。BBTI1700ms、呼吸数 19回/min。

### c. 臨床例および健常ボランティアによるCHESST法とSTIR法の比較

#### 1. BBTIを2000msに設定した2例。

呼吸数はともに18回/minであった。CHESST法では腸管の高信号が目立つ。腸管以外の背景の信号もSTIR法の方が良好に抑制されている (図7)。

#### 2 (1). 49歳、男性。大動脈閉塞。

BBTI 1700ms、呼吸数 19回/min。

CHESST法では腸管の高信号のため、右腎動脈から分岐し、後腹膜を走行する側副血行路 (小矢印) は評価困難だが、STIR法では腸管の高信号が抑制され、明瞭となっている。また、腎実質の信号も低下したため、腎実質内の動脈の分枝も良好に描出されている (図8)。

#### 2 (2). 37歳、男性。健常ボランティア。

BBTI 1300ms、呼吸数 13回/min。

BBTIが短い場合、CHESST法でも背景信号の抑制は良好で、腎動脈は良好に描出されている。STIR法では実質臓器や腸管の信号はさらに良好に抑制されているが、CHESST法では認められなかった十二指腸内の水 (小矢印) や脳脊髄液 (大矢印)、尿 (矢頭) などが目立ってしまっている (図9)。シミュレーションおよび

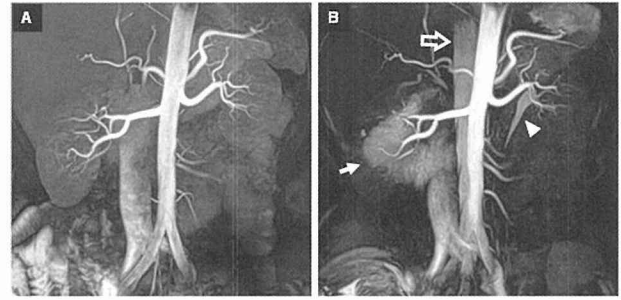


図9 STIR法で水の信号が上昇してしまった例  
A: CHESST法 (MIP像)、B: STIR法 (MIP像)  
37歳、男性健常ボランティア。  
BBTI 1300ms、呼吸数 13回/min。

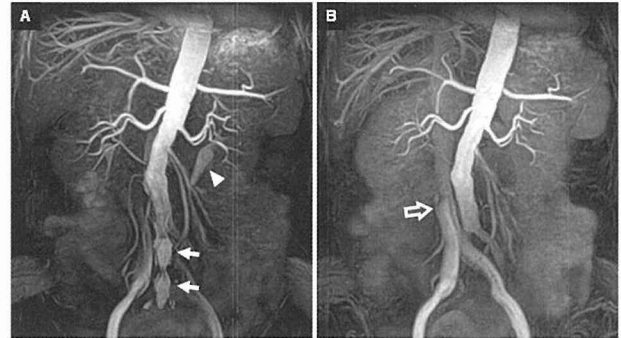


図10 BBTIの調節によりSTIR法における水の信号上昇を解消できた例  
A: BBTI 1400ms、B: BBTI 1800ms  
86歳、男性。呼吸数 12回/min。

ファントムによる検証結果の通り、BBTIを短く設定できる症例では、呼吸が遅いと、STIR法において水のようなT1値の長いものの信号が上昇してしまうことが示された。

#### 3. 86歳、男性。腎血管性高血圧の疑い。呼吸数 12回/min。

BBTI 1400msで描出されていた脳脊髄液 (小矢印) や尿の信号 (矢頭) が、BBTIを1800msに延長することで消失した。BBTI 1800msでも腎動脈のコントラストは十分に良好だが、1400msと比べると背景信号は上昇し、IVCの流れ込みが増加している (大矢印) (図10)。

## V. 考察

Time-SLIP法を併用したSSFPによる腎動脈MRAは、造影剤を必要とせず腎動脈のスクリーニングに有用である。特に腎血管疾患を有する症例では腎機能障害を併発していることが多く、造影剤が不要であるということは非常に有益である。しかし、この撮像法は動脈の流速に依存しているため、高齢の患者や狭窄などの疾患をもつ患者において、腎動脈主幹部を十分に描出するためには、BBTIを延長しなければならない。その結果、背景信号が上昇してしまい、良好に腎動脈を描

出することが困難であった。今回の検討により、通常、脂肪抑制法として使われるCHESS法をSTIR法に置き換えることで、BBTIを延長しても背景信号の上昇を抑え、良好な腎動脈の描出が可能となった。また、CHESS法では抑制不可能な腸管の高信号も抑制することが可能であり、腸管の高信号によって腎動脈の評価が阻害されることがなくなった。STIR法では空間選択的的反転パルス照射後に流入してきた動脈血の信号も低下してしまうことが欠点だが、腎動脈の描出に影響を与える比較的T1値の短い背景組織からの信号ほど、STIR法において抑制効果が高く、腎動脈と背景信号とのコントラストは上昇することが示された。

しかし、STIR法を用いる場合の注意点もわかった。腎動脈主幹部を必要十分に描出する際、BBTIを短く設定できてしまう動脈の流速が十分に速い患者で、呼吸が極端に遅い場合、水のようなT1値の長いものの信号が目立ってしまう。呼吸数とBBTIの組み合わせによってCHESS法とSTIR法を使い分ける必要がある。ひとつの目安として、STIR法を用いる場合、BBTI 1500ms、呼吸数 15回/min以上であれば水などの信号は目立たず、背景信号の抑制効果はCHESS法より高く、腎動脈の良好な描出が可能である。本検査は呼吸同期下の検査であり、呼吸が遅いと検査時間が延長してしまう。特に検査中に睡眠してしまい、極端に呼吸数が少なくなってしまう患者では検査時間の延長は深刻である。このため、当院では呼吸数が15回/minとなるように呼吸の指示を録音したCDを作成し、検査中に使用している。これにより、患者ごとの呼吸数のばらつきがなくなり、検査時間は一定となり、設定するBBTIにかかわらず、STIR法を使用できるようになった。また、不安定な呼吸間隔による動きのアーチファクトも解消されるようになった。ただし、本来この検査が持っていた「自由呼吸下」という特徴はメリットでもあり、15回/minという呼吸回数がすべての患者にとって快適かどうかは検査前に練習させて確認する必要がある。

## VI. 結語

- 1) STIR法により消化管の高信号や実質臓器の信号が良好に抑制され、BBTIが延長した場合でもCHESS法より良好な腎動脈のコントラストが得られた。
- 2) BBTIが短くなるほど、早い呼吸が必要であり、呼吸数とBBTIの組み合わせによってCHESS法とSTIR法を使い分ける必要がある。当院では呼吸数が15回/min

となるように連続した指示を出すことで、全例にSTIR法を使用できるようにしている。

## 文献

1. HashemiHR, BradleyWG, LisantiCJ., 荒木 力 監訳. MRIの基本 パワーテキスト 第2版 基礎理論から最新撮像法まで. メディカルサイエンス・インターナショナル. 2004, p264
2. ElsterAD, BurdetteJH, 荒木 力 監訳. MRI「超」講義 第2版 Q&Aで学ぶ原理と臨床応用. メディカルサイエンス・インターナショナル. 2006, p247
3. 蜂谷 順一 監修、高原 太郎 編修. MRI応用自在 第2版. メディカルビュー社. 2001, p26
4. 高橋 順士. 非造影MRAの新たな展開 Time-SLIP法を使った腎動脈の描出. 画像情報Medical MRI増刊号. 2007, p72-77