

糖尿病足病変に対する SSFP Time-SLIP MRAの応用

河内総合病院 放射線部^{*1} / 同 形成外科^{*2}

前田年彦^{*1} / 向井正弘^{*1} / 伊藤宏治^{*1} / 山田英之^{*1} /
門脇弘一^{*1} / 笹尾卓史^{*2} / 高山沙衣子^{*2} / 森 雄大^{*2}

はじめに

近年、糖尿病患者数の増加・羅病期間の長期化により、糖尿病足病変（diabetic foot）の患者数は増加の一途をたどっている。重症化することによって潰瘍、壊死に陥り、切断を余儀なくされることが、患者のQOLを下げる大きな要因となっている¹⁾。

糖尿病足病変を発症要因から大別すると、神経障害型（neuropathic）と血管障害型（ischemic）とに分けられる。神経障害の診断は問診・視診・触診などによって行われ、血管障害の診断は足関節・上腕血圧比（Ankle Brachial Index：ABI）や皮膚還流圧測定（Skin Perfusion Pressure：SPP）などの生理機能検査で評価される²⁾。そのなかで、症例に応じて造影CTAや造影MRAでの画像診断が行われている。

CT・MRI検査のいずれにおいても、造影剤を使用しないと臨床上有用な結果を得るのはむずかしく、糖尿病足病変を有する患者はその病態より低腎機能を合併することも少なくなく、造影剤を使用するCT・MRI検査の施行がためられるケースも多くある。またガドリニウム造影剤では、重篤な腎性全身性線維症（Nephrogenic Systemic Fibrosis：NSF）を起こす報告もあり、原則禁忌となっている³⁾。そこで当院では、非造影MRA

により足部末梢動脈を描出し、治療に必要な画像診断を試みている。今回は、SSFP Time-SLIP法（Steady State Free Precession Time-Spatial Labeling Inversion Pulse）を用いた足部末梢動脈の撮像方法と臨床的有用性について報告する。

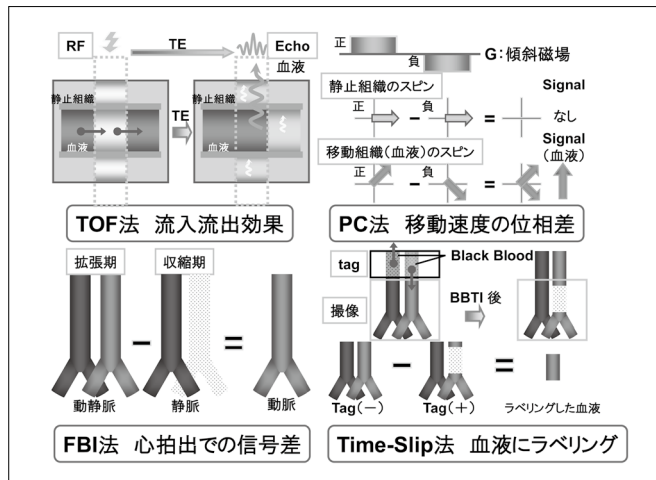
撮像方法

当院の使用MRI装置は『Excelart Vantage powered by Atlas ZGV Ver.9.26』（東芝社製）である。装置のスペックは磁場強度1.5T、スリューレイト200mT/m/msで、コイルは『Atlas SPEEDER Head』と『Atlas SPEEDER Spine』を組み合わせで使用している。ワークステーションは『AZE Virtual Place 風神』（AZE社製）を使用し、画像処理を行っている。

非造影MRAを用いて足部末梢動脈を描出するためにわれわれが選択した撮像方法は、Time-SLIP法である。これまで足部末梢動脈においては、血流速度が遅くin flow効果が弱いこと、壊疽・浮腫により組織のT2値が延長していることなどの理由により、TOF・PC・FBI（Fresh Blood Imaging）を用いたMRAでは描出がむずかしかった。一方Time-SLIP法では、前述の撮像方法と違い、血液そのものにTagパルス当ててlabelingした血液を画像化するため、血流の方向性・血流

図1 非造影MRAの撮像原理

それぞれの非造影MRAの撮像原理を模式図として表している。



速度・心拍の変動などに依存せずに描出することが可能である(図1)⁴⁾。

Time-SLIP法では、撮像シーケンスをFASEとTrue SSFPの双方で使用することができる。糖尿病足病変では、軟部組織の炎症・浮腫により足全体のT2値が延長している。FASE法は静止した水成分を強調するシーケンスのため、実質成分のノイズが残ってしまう。また、撮像原理としてT2値の長いものを撮像すると、位相コンコード方向に特有のボケが生じるために、FASE系の撮像では末梢動脈の描出が困難であった⁵⁾。True SSFP法は、定常状態を利用した水強調画像で、流速の早い血流も高信号に描出される。FASE法と比較してS/Nが高く撮像時間も短いことから、高コントラスト・高分解能での撮像が可能である。そのため末梢動脈の撮像に関して安定した描出が可能となった⁶⁾。

またTime-SLIP法では、描出したい血流速度によってBBTI (Black Blood Inversion Time) を変える必要がある。抹消動脈においては、血流速度が遅いためBBTIを長くとらなければならない、そのために実質成分の信号が回復してくるので、バックグラウンドの信号が高くなってしまふ。そこで、Time-SLIPパルスを入れた像と入れていない像を同時収集するAlternate法を用いて、画像収集を行っている。まず、動脈静脈両方の画像を収集した後に(図2a)、Time-SLIPパルスを与えた

部位の血液信号をblack bloodとして画像収集することにより、静脈だけの画像が得られるので(図2b)、動静脈の画像より静脈の画像をサブトラクションして動脈の画像を撮像している(図2c)。いわゆるReverse move in法を用いて(図2)、末梢動脈が実質成分に埋もれないようにしている⁷⁾。

当院での撮像条件は、TR 4.3 / TE 2.15 / NS 60 / ST 3.0 / MX 256 × 256 / FOV 33 × 33 / FA 120 / BW 781である。撮像断面は、横断像で収集し脂肪抑制パルスを併用している。脂肪抑制パルスは、S/Nを考慮してCHESS法を選択している。足先は、磁化率の影響が強くbanding artifactが目立ったために、最短TR/TE (4.3 / 2.15) とした。また、ECG同期収集を行って拡張期でデータを得ることにより、動脈の信号値ができるだけ高くなるようにしている。

実際の撮像方法に関して

1) 撮像体位

撮像体位を図3に示す。ポイントは、①足背動脈を圧迫しないように足関節は自然位、②下腿からの血液量を多くするためにやや膝を立てた状態、③固定に関しても足部を圧迫しない、以上の3点を工夫している⁸⁾。前処置として検査を行う前に温水枕にて患部を加温することにより、血管

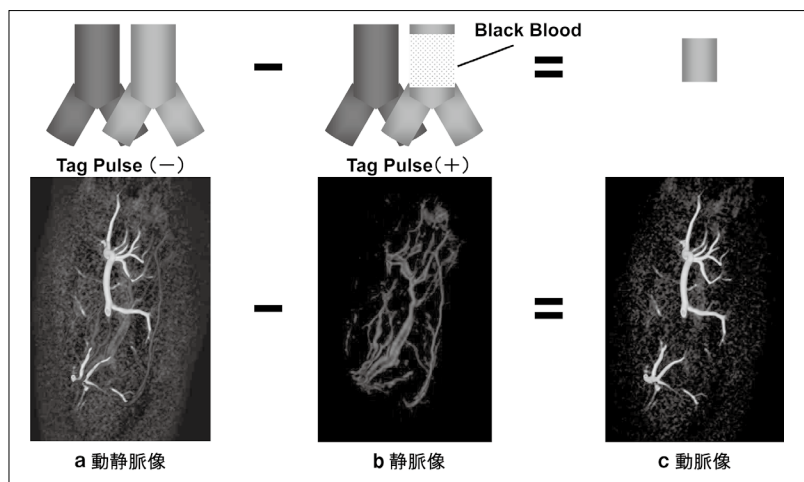


図2 Reverse move in 法

動静脈像より静脈像をサブトラクションして動脈像を得ている。

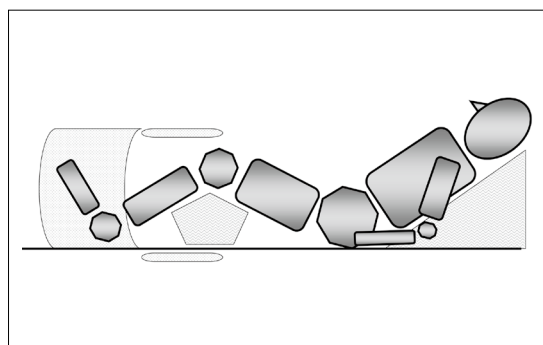


図3 実際の撮像体位

図に示すような体位で撮像を行っている。

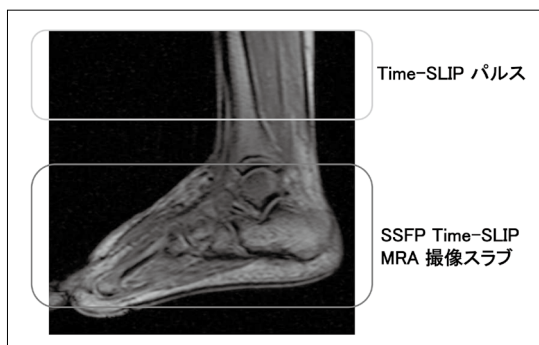


図4 Time-SLIPパルスと撮像スラブの位置関係

Time-SLIPパルスは実際の範囲より2割増しでかかるので、撮像スラブとの間をあけている。

拡張効果も期待している。検査中も固定を兼ねて、下腿部に温水枕を当てて検査を行っている。

2) 撮像範囲などの設定

SSFPシーケンスの特徴として、bandingアーチファクトが発生しやすいことがある。対策として磁場不均一性を低くしないといけないため、shimmingを必ず撮像している。このshimmingの良否が血管描出のカギを握っている。撮像範囲は、くるぶしより下で足部がすべて入るようにし、Time-SLIPパルスは実際の範囲より約2割増しでかかるため、図4に示すように、パルスの干渉を

受けないような間隔をあけて設定をしている。

3) BBTIの設定

最初にBBTI 800msで撮像を行う。サブトラクションされた元画像を観察して、血管の走行と考えられる部位にblack bloodで信号が抜けていれば、Time-SLIPパルスの信号がまだ届いていないということなので再度BBTIを延長させて撮像を行っている(図5)。われわれの経験上では、延長するBBTIの最大値は2,000ms程度で、それ以上の値では実質成分の信号回復によりノイズ成分が多くなり、末梢動脈は描出されにくくなる。

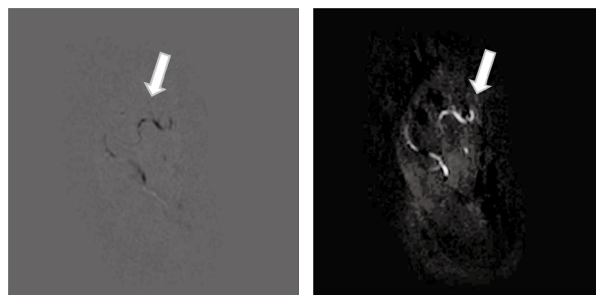


図5 BBTIの設定による元画像の差

図5a | 図5b

a : BBTI 800ms b : BBTI 1,500ms

矢印の部位を比べると、800msではblack blood、1,500msでは高信号となっている。



図6 神経障害型糖尿病性潰瘍

図6a | 図6b | 図6c

a : SSFP Time-slip MRA b : T2W 脂肪抑制 c : T1W

足背・足底動脈ともに描出されている。軟部組織に炎症(矢印)を認めるが、骨髓炎などの合併は認められない。

臨床症例

【症例1】63歳男性、右足の潰瘍にて来院、20年
来の糖尿病でインシュリン治療を行っていた。

視診上、足底および踵部に潰瘍形成を認める。
入院時の検査所見は、血糖値304mg/dL、白血球
7,200/ μ L、CRP 4.73mg/dL、CK 58 IU/L、クレ
アチニン 0.83mg/dLとやや炎症傾向。生理機能
検査では、ABIが右0.79、左0.87、SPPは右76、
左76mmHgと、動脈硬化性の病変を疑わせる所
見であった。足部レントゲンでは骨融解像などは
認められない。SSFP Time-SLIP MRAでは、足背・
足底動脈ともに描出良好で、足底動脈弓からの末
梢動脈も描出されている。T2WI脂肪抑制像では、
足底軟部組織の高信号を認め、炎症所見であると

考えられた。T1WI像でも骨内の脂肪信号の低下
を認めず、骨髓炎の合併も認められない(図6)。

以上の所見より、神経障害型の糖尿病性潰瘍と
診断、感染・血糖のコントロールと同時に自己多
血小板血漿注入療法(Platelet Rich Plasma: PRP)
や遺伝子組み換え製剤の褥瘡、皮膚潰瘍治療用ス
プレー(フィブラストスプレー)などでの治療を
開始した。肉芽も順調に発達しており、良好な経
過となっている。

【症例2】57歳女性、右第2・3趾の疼痛にて来院、
今回の受診で糖尿病であったことが判明した。

視診上、第2趾はIP関節末梢にて黒色壊死、第
3趾にも壊死組織を認めた。入院時の検査所見は、
血糖値415mg/dL、白血球9,170/ μ L、CRP 2.45mg/
dL、CK 180IU/L、クレアチニン 0.68mg/dLと、

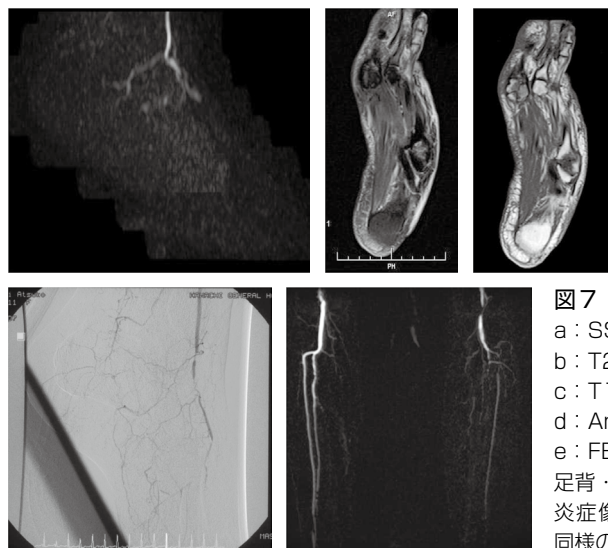


図7a | 図7b | 図7c
図7d | 図7e

図7 神経障害・血管障害混合型糖尿病性壊疽

a : SSFP Time-slip MRA

b : T2W 脂肪抑制

c : T1W

d : Angio

e : FBI

足背・足底動脈ともに描出不良である。軟部組織・骨ともに炎症像を認める。Angio像でもSSFP Time-SLIP MRAと同様の所見であった。

壊死を反映する結果であった。生理機能検査では、ABIは右1.08、左0.56、SPPは右61、左46mmHgと大きく左右差を認め、ASOを疑わせる所見であった。足部レントゲンでは、第2趾はIP関節末梢にてやや骨融解している印象であるが、明らかな変化は認められなかった。SSFP Time-SLIP MRAでは、足背動脈はかろうじて描出されるも末梢までは描出されず、足底動脈はまったく描出されていない。T2WI脂肪抑制像では足底軟部組織の高信号を認め、炎症所見であると考えられた。T1WI像では第2趾IP関節末梢に信号低下を認め、骨髓炎の所見であると考えられた(図7)。

以上の所見より、神経障害・血管障害混合型の糖尿病性壊疽と診断された。下肢切断のリスクと切断範囲を最小限にするために血行再建術が必要であると考え、FBI法による非造影下肢動脈MRAを施行。左膝窩動脈は50%狭窄、膝下3分岐では右50%、左では完全狭窄と側副血行路を認めた。循環器科により、下肢動脈に対する経皮的血管形成術(Percutaneous Transluminal Angioplasty: PTA)を施行後に足趾切断術を施行する、というような治療計画を立てた。

神経障害・血管障害混合型であり、治療に難渋する症例であると考えられた。実際に急激な炎症

反応の増加を認め、PTAの治療にも難渋した症例であった。

糖尿病足病変に対するMRI診断の役割

糖尿病足病変は、血糖の慢性的な上昇によって合併する神経障害(末梢神経障害・感覚神経障害)と血管障害がさまざまな割合で混ざり合い、多彩な症状と画像所見を呈する。図8に糖尿病に伴う足部の合併症と障害部位を、画像診断での分類と組み合わせて表した。神経障害性足病変は、糖尿病神経障害の結果として発生する骨・筋肉の病変である⁹⁾。また虚血性足病変は、血管・リンパ管など脈管系障害の結果として発生する血管・軟部組織の病変である。これらの病態は、それぞれ単独に進展するのではなく、少しずつからみ合って病状が進行していくものと考えられている。

MRI検査では、その多彩な撮像方法を駆使することにより、それぞれの障害部位の変化を画像化することが可能である。症例で示したように、骨病変の有無や軟部組織の炎症の程度などの評価は、以前からも行われていた。今回、われわれが試みたSSFP Time-SLIP MRAでは、さらに末梢動脈の情報も得られるようになった。これにより末

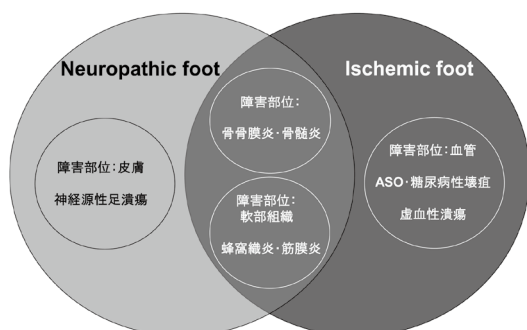


図8 障害部位よりみた画像診断の分類

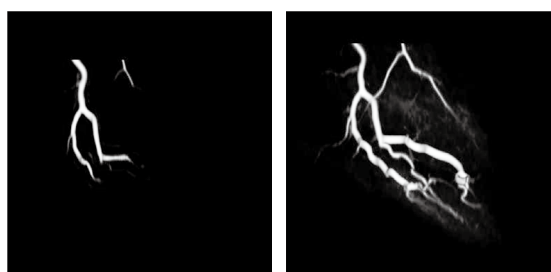


図9 BBTIの設定による末梢描出の差

図9a | 図9b

a : BBTI 800ms b : BBTI 1,500ms

BBTIを変化させることにより動態機能評価も可能となっている。足底動脈が末梢に発達している。

稍動脈閉塞性疾患（Peripheral Arterial occlusive Disease : PAD）合併の有無を診断することが可能であると考えられ、その意義は非常に大きい¹⁰⁾。

SSFP Time-SLIP MRA法は、形態的評価をするだけの撮像方法ではなく、動態機能評価も可能である優れた撮像方法である。今回は検討項目とはしなかったが、BBTIの設定を変化させることにより、血流の灌流（perfusion）も評価できると考えられる。図9に示すように、BBTIを変化させることにより、血管の描出される領域が大きく変化している。現在、PADの診断に関してはSPPで行われており、その得られた数値によって治療方針も決定されている¹¹⁾。今後は、SSFP

Time-SLIP MRAで得られた画像を定量評価することにより、SPPの結果と合わせて、PADに対する重症度の評価についても検討していきたい。

まとめ

近年、糖尿病足病変に関してはさまざまな診療科がかかわり、集学的な治療が行われている。そのなかでMRI検査による画像診断は重要な役割をはたしていくであろう¹²⁾。非造影MRAの技術を駆使することにより、MRI検査が糖尿病足病変におけるone stop shoppingとなっていくであろうと考える。

参考文献

- 1) 末木博彦: 糖尿病性壊疽. 診断と治療 95(9): 1381-1386, 2007
- 2) 辻隆治ほか: 糖尿病性潰瘍の診断と治療. 形成外科 49(2): 159-169, 2206
- 3) 松本一宏ほか: 重症虚血枝の画像診断最前線. Diabetes Frontier 19(3): 313-316, 2008
- 4) 黒瀬哲也ほか: Time-SLIPの臨床応用. 映像情報メディカル増刊号Routine clinical MRI 2007 Book 38(14): 107-110, 2006
- 5) 山本見義: 非造影MRAの種類と特徴総論. Rad Fan 4(5): 25-30, 2006
- 6) 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. 映像情報メディカル増刊号Routine clinical MRI 2007 Book 38(14): 72-77, 2006
- 7) 川上光一: Time SLIPを併用した非造影MR portography; 肝外門脈系の評価. 映像情報メディカル増刊号Routine clinical MRI 2008 Book 39(14): 100-108, 2007
- 8) Isogai J et al: Non-contrast MRA of the toes using time-spatial Labeling Inversion Pulse (time-SLIP) and Optimization of Flow-spoiled Gradient Pulse for Assessment of foot Arteries in Flow-spoiled Fresh Blood Imaging (FBI) Prou. Intl Soc Mag Reson Med 16, 2008
- 9) 小橋由枝子ほか: 糖尿病の足. 画像診断 28(2): 203-211, 2008
- 10) 田中嘉雄ほか: 慢性創傷. 形成外科51増刊号: S142-S148, 2008
- 11) 重松邦広ほか: 皮膚組織灌流圧. 脈管学 45(5): 294-298, 2005
- 12) 向井正弘ほか: 非造影MRAによる重症虚血性下肢病変の画像描出. Rad Fan 7(5): 36-38, 2009