

2005.3.5 第 32 回 Radiology Update

汎用型システムにおける広範囲拡散強調画像 ~概要と展望について~

東海大学医学部 基盤診療学系 画像診断学

高原太郎、今井 裕

東海大学病院放射線技術科

室伊三男

これまでの経緯

拡散強調画像は、急性期脳梗塞などに代表される脳画像診断の新しいコントラストとしてルーチンに用いられ、最近ではMR-tractgraphyを用いた新しい臨床応用にも供されている。一方、躯幹部の拡散強調画像はEPI法を用いることに起因する歪みがひどく、実用的とは言えなかったが、茂木¹⁾、市川²⁾、山下³⁾らの先駆的な研究があり、その潜在的有用性が示されていた。2001年後半~2002年には那須ら⁴⁾により、SENSE法と組み合わせることで歪みが低減することが報告され、実用への大きな一歩がもたらされた。

しかしながら 2 つの理由により、まだ爆発的な普及には至らなかった。一つは S/N が低かった点、もうひとつは脂肪抑制が安定してかからなかったことである。

広範囲躯幹部拡散強調背景抑制(DWIBS)法⁵⁾の確立

拡散強調画像は、プロトンの Brown 運動の多寡 - すなわちきわめて微小な動きに関する現象 - を根拠に画像のコントラストを求めるものである。従って、撮影される対象は厳密に動かない必要があると考えられていた。躯幹部においては呼吸運動が存在するため、拡散強調画像の撮像対象としてはナンセンスな領域であり、もし撮影したいならば少なくともこれを停止させなければならぬと考えられていた(停止させたところで、相当にいい加減な情報だとも考えられていた)。呼吸停止下に撮影するとすると、撮影時間は 30 秒を超えることはできない。このため、その画像の S/N は低く、高い b 値を用いることはできなかった。

筆者らはまず、静止している組織の多い骨盤部における拡散強調画像の撮影を試みた。低い S/N を補償するために加算回数を上げて撮影したところ、静止している組織以外の部分でも特に問題のない画像が得られることに気づいた(呼吸運動による ADC 値への影響がないことは後に室らによる動体ファントム実験⁶⁾で確かめられた)。この後、上腹部や胸部において、思い切って加算回数を増やしてこの方法を試行してみると、若干の画像劣化はあるが、従来想像されていたような「撮影不可能」なことではなく、むしろ臨床上問題の少ない画像が得られることがわかった*1。この知識によって意図的に撮影時間を長くすることが可能になったので、十分な S/N が得られることになり、ひいては高い b 値を用いることができるようになった。高い b 値の利用は「効果的な背景信号抑制」を意味するので、高い病変検出能が期待できる。また十分に薄いスライス厚で撮影できるので、3 次元的な病変分布の把握が可能になった。一旦撮影を行えば任意の方向に画像再構成できるインパクトは、multisliceCT と同じものである。

しかしながら、胸部や頸部まで拡散強調画像が撮影できるようになると、これまではあまり意識することがなかった脂肪抑制不良の問題がクローズアップされてきた。すなわち、これら領域においては、周囲に存在する空気が多量のため、脂肪抑制効果は全く満足のいくものではなかった。特に、本法の目的とする病変の 3 次元的な表現に関して言うと、体の表面に分布する脂肪抑制不良領域は内部構造の観察を困難にするため、解決すべき重要な問題と考えられた。従来から、CHESS 法(周波数選択性 IR pulse を用いた脂肪抑制法)は、磁場の不均一に弱いことは十分に知られていた。また一方で STIR パルスを用いれば、いつかの制約と引き換えにこれを解決できることも十二分に知られていた。従って、STIR をプリパルスとして用いることを考えついた*2。

STIR-EPI シークエンスで撮影をしてみると、画像の S/N は低下するが、脂肪抑制が完全にかけることが確かめられた。これにより、どの部位においても、反復して検査しても安定した画

像が得られる（空間的・時間的安定性の保証）という目標が達成された。これに加え、本法の目的とする病変分布の三次元表示は、FDG-PETの目的とする処に酷似しているため、白黒反転して表示することにより、普及が進むものとする。

- 脚注：

- 1) 呼吸によるアーチファクト

ぼけの問題は回避することができないので、上腹部や肺底部では息止めに比較して病変検出能に劣る可能性がある。この領域で厳密に、かつ S/N を高くするためには、呼吸同期法が必要となろう。呼吸同期法の取得効率は一般に低いが、信頼性の高い呼吸同期なら、この問題もクリアできるかもしれない。本法の重要な点は、息止めではとても実用的な拡散強調画像を得ることができない装置でも、高い b 値まで選択可能になること、またある程度の画質を期待できることを示唆した点にあると考えている。

呼吸による ADC の変化が起こらないことは実験で確かめられている。なおこの事実は、意外にも技術者の間ではあたりまえの事実として認識されていたようである。臨床医の求めるものと、技術者の知識との間に乖離があったことになるが、振り返れば面白いエピソードである。他にもこういった事柄が存在するのかもしれない。

- 2) STIR 法をプリパルスとして使用する

このようなことを行うには、フレキシブルなシステムが重要である。同社の UI (User Interface) では 10 年以上前から、ユーザーの自由なパラメータ設定を広く許容している。これは、異常なパラメータ入力を行ったときにきちんと警告を出し（壊れない）、コンフリクトしているパラメータのみを抽出してユーザーに表示すること（ユーザーへの繰り返し教育効果）のできる、きわめて高い設計思想に基づくものである。このため、あるシーケンスファイル（たとえば普通の高速 SE 法 T2WI）を持ち出したとしても、全く異なるシーケンス（たとえば SE-EPI 法の DWI）に書き換えることができる。これは、「幹細胞のような全能性を有するシーケンスファイル」ということができるだろう。

このようなシステムによって、シーケンスの改良は Headquarter における「IQ の高い人たち」による開発によるだけでなく、ちょっと気の効いたエンドユーザーにおいても簡単なアイデアの検証を通じて上申できる、言わば「シーケンス開発のアウトソーシング」ができるような構造になっている。このようなことは、「ひょっとすると私もこの装置で何かを生み出せるかもしれない」という夢をユーザーに与えてくれる。私は多くのユーザーが「ぜんぜんアイデアを採用してくれなくて」と言うのを、本当にもったいないことだと思っている。頭脳とアイデアはどこにころがっているかわからないので、ぜひこのシステムは今後広く普及すべきであるとする（ここは英語に訳して各社の本部に送ってもらおうと幸甚である）。

DWIBS 法の定義、推奨事項、用語の使い方

・撮像法の名称

- DWIBS (Diffusion weighted Whole body imaging with Background signal Suppression)
- 全身の (広範囲) 拡散強調背景信号抑制法

・定義

非呼吸停止で可能となる長時間撮影によって得られる高い S/N を利用し、高い b 値 (すなわち効果的な背景信号抑制) および広範囲・高分解能 (薄く多数のスライス) の撮影を可能とする方法。

・推奨事項

- STIR の使用: 安定した脂肪抑制 (とくに頸部・胸部や、反復検査のため)。副次的に大腸内容物信号抑制効果。
- 白黒反転画像の使用: FDG-PET と同じような視覚効果を得て、病変の 3 次元分布を把握 (あるいは比較) しやすいするため。

・用語の使い方の提案

- 「DWIBS 法による拡散強調画像」のように「方法」を示す用語として用いるのが好ましい。
- 「DWIBS 画像」などのように「画像」を示す用語としては適切でない。(本法によって得られる画像は、従来よりも高い b 値を用いることができるので、強い背景信号抑制効果を有する (Background body signal suppression) 点に特長があるが、画像の種類は拡散強調画像 (DWI) に相違ないため。)
- 読影ときの記述のしかた (白黒反転を用いる場合に誤解がない記述法として)
 - ◇ 「**拡散強調画像 (白黒反転)**で [強い、弱い(淡い)] 低信号を呈する」
 - ◇ 「**拡散強調画像**で [強い、弱い(淡い)] **異常信号**を呈する」

読影に関するさまざまな目安

(順不同。信号強度は**白黒反転画像**における記述。方法として**STIRをプリパルスに用いる場合**を標準とした記述。現時点における個人的な感想レベルのevidenceで記載。)

- ・ 拡散強調画像は高い背景信号抑制能力を有するため、かならず解剖学的構造がよくわかる画像(とくに T2 に関する情報が得られる、T2 強調画像)と比較して読影する。
- ・ T2 shine-through を意識して読影する必要がある。
- ・ 白黒反転画像は背景が透明なため、フィルムベースで読影する場合、通常の画像(T2WI など)の上に重ねると「Fusion」して観察できる。
- ・ Computer Display 上で fusion すると、病変位置の把握がきわめて容易になる。
- ・ 病変の拾い上げを行う際に、リンパ節と脊髄神経がはっきりとした低信号を示すに調整して行う必要がある(コイル感度の差により、中央スライスと端のスライスで調整をしない場合がある場合があるので注意)。
- ・ 扁桃など低信号正常構造物は、歪んだ後の正常構造物の形状を覚えておくことが必要である。
- ・ 一般的な炎症は異常(低)信号の程度は弱い(淡い)。ただし脾はこの限りではない。
- ・ 著明な異常(低)信号を示す病変を見たとき、腫瘍だけでなく、膿瘍も考える。
- ・ 膿瘍だけでなく、粘稠度の高い液体は著明な異常(低)信号を呈することが多い。
- ・ Short T1 lesion は非特異的に抑制される。このような病変は、脂肪抑制 T1 強調画像において検出することとする。
- ・ あらかじめ血腫の描出を目的とする場合には、CHESS 法を選択する。
- ・ ヘモジデロシスなどの過剰鉄沈着状態では、肝脾は描出されなくなる。
- ・ 前立腺、精巣は著明な低信号を示す。このため、内部の病変を把握するのに wide window が必要である。
- ・ 前立腺癌で、拡散強調画像で病変を検出不能であるが ADC 画像で検出できる場合があることが多数報告されている。
- ・ 脾臓など強い低信号を示す構造物に生じた病変は、相対的高信号(画像のヌケ)領域として描出されることがある。
- ・ 骨は 50 歳以下で明瞭(低信号)に描出され、高齢者では不明瞭になる。
- ・ 50 歳以下であっても、化学療法により骨の描出は不明瞭になる。
- ・ M 因子の検出は良好であることが期待される。
- ・ ただし中枢神経は著明な低信号を示すので、中枢神経への転移の診断能は低い。
- ・ N 因子の検出は良好であることが期待される。ただし特異度は低い。リンパ節が描出されないとき、転移リンパ節がない可能性が高いが、リンパ節が描出されているとき、そのリンパ転移の有無を判断するのは困難である。
- ・ ただし 3 次元的に観察することにより、従来のクライテリアのうち、形状(扁平かどうか)は把握しやすくなる。
- ・ 大腸内容物が信号を出すことは少ない(低信号をだすことは少ない) = STIR による。
- ・ 小腸内容物のうち、T2 強調画像で高信号を示す部分が信号を出すことは少ない。
- ・ 小腸内容物のうち、T2 強調画像で中等度信号を示す部分は強い低信号を示すことが多い。
- ・ 脾臓や腎臓周囲の脂肪織(水分を含有する場合)に起因するゴーストアーチファクトが生じる場合がある。
- ・ 血流が描出されることはない。
- ・ 正常の血管壁は描出されない。
- ・ 帯状の構造物が見えるとき、血管でなく神経の可能性をまず考える。
- ・ 腕神経叢の描出において、太くよく認められるのは C5 以下である。

臨床応用と今後の展望

1. Localizer としての利用
2. 膿瘍の描出
3. 血栓の描出（とくに CHESS 法とのコンビネーションによる）
4. 末梢神経の描出⁷⁾
5. SPIO との併用
6. 化学療法施行後の効果判定、経過観察
7. るいそう患者への積極的利用
8. 造影剤アレルギー患者への利用
9. 3次元的なデータ取得とその応用⁸⁾
10. Whole body coil を用いた画像の取得
11. 全身スクリーニング
12. Small FOVを用いた高分解能DWI⁹⁾
13. Single & thick slice DWI¹⁰⁾
14. USPIO を用いた転移リンパ節診断の特異性向上
15. PET との比較
16. Fusion 観察の一般化
17. 多施設共同研究

参考文献

1. Moteki T, Ishizaka H, Horikoshi H, Matsumoto M. Differentiation between hemangiomas and hepatocellular carcinomas with the apparent diffusion coefficient calculated from turboFLASH MR images. J Magn Reson Imaging. 1995 Mar-Apr; 5(2): 187-91.
2. Ichikawa T, Haradome H, Hachiya J, Nitatori T, Araki T. Diffusion-weighted MR imaging with a single-shot echoplanar sequence: detection and characterization of focal hepatic lesions. AJR Am J Roentgenol. 1998 Feb; 170(2): 397-402.
3. Yamashita Y, Namimoto T, Mitsuzaki K, Urata J, Tsuchigame T, Takahashi M, Ogawa M. Mucin-producing tumor of the pancreas: diagnostic value of diffusion-weighted echo-planar MR imaging. Radiology. 1998 Sep; 208(3): 605-9.
4. 那須克宏、黒木嘉典ほか：パラレルイメージングを併用した大腸・直腸癌の拡散強調画像。日医放学会雑誌、62(3):161, 2002
5. Takahara T, Imai Y, Yamashita T, Yasuda S, Nasu S, Van Cauteren M. Diffusion weighted whole body imaging with background body signal suppression (DWIBS): technical improvement using free breathing, STIR and high resolution 3D display. Radiat Med. 2004 Jul-Aug; 22(4): 275-82. [\[PDF\]](#)
6. 室伊三男、ほか：Diffusionにおける intravoxel coherent と incoherent (IVIM) について（動態ファントム実験）（日技放学会発表, 2005）[4/10(日) 304室 9:10]
7. Takahara T, Yamashita T, et al. Imaging of peripheral nerve disease pathology using diffusion weighted neurography (DWN). RSNA2004
8. 山下詠子、ほか：DWIBS を用いた子宮内膜の非侵襲的三次元表示の有用性（日医放学会発表, 2005）[4/10(日) 302室 11:00]
9. 又吉 隆、ほか：80mm 径 Flex S コイル対抗装置による高分解能乳腺 MRI の有用性。第 14 回日本乳癌画像研究会抄録 (2005) p.43
10. 高原太郎、ほか：Single & thick slice を用いた Screening Diffusion Weighted Mammography の試み（日医放学会発表, 2005）[4/9 (土) 展示 A-1 11:02]