

肝臓，直腸，乳腺の diffusion-weighted MR imaging : DWI を癌の診断に導入する目的とは？

那須克宏¹，黒木嘉典¹，風間俊基²，縄野 繁¹

¹国立がんセンター東病院放射線診断部 ²千葉大学医学部放射線科

はじめに

躯幹部悪性腫瘍に対する拡散強調画像 (diffusion-weighted imaging : DWI) の適応が急速にひろがりつつある。確かに DWI では非特異的ながら，悪性腫瘍を含めた躯幹部の様々な病変が高信号に描出される。しかも躯幹部正常組織の大部分は脳に比べ拡散速度が速く， T_2 緩和時間が短い。したがって正常部分の信号は著明に抑制され結果として病変だけが明瞭な高信号になるため非常に印象的な画像が得られる^{1),2)}。しかしながらよく考えてみると病変が描出されているということ自体が悪性腫瘍の診断と治療方針決定に結びつくとは限らない。果たしてその“病変”が本当に癌なのかどうか，癌だとして DWI を用いる意味のある病変なのかどうか，といった事柄を無視して病変が描出されたかどうかのみを論じても無意味である。

本稿では癌の診断と治療方針決定に対して DWI を役立てるための検査法と評価方法について肝，乳腺，直腸の領域で具体例を提示しつつ論じ，DWI で悪性腫瘍が高信号に描出されるメカニズムや躯幹部 DWI を可能にした MR 機器の進歩については他に譲るものとする。

ケンスは motion probing gradient (MPG) パルスを併用した SE 型の single-shot EPI を複数回励起し加算したものである。この撮像法においては k-space 上でデータを加算するのではなく，各励起ごとに再作成した画像を合成する方法で加算画像を作成している。これらは実際の撮像条件を決定する上で極めて重要である。Single-shot 型であるということは TR (というよりそれぞれの励起の間隔) を十分に空ける必要があることを意味し³⁾，完成した画像を合成加算するということは各励起ごとのデータ収集時間が短かろうと撮像している間の生理的動きの制御に配慮しなければいけないということである⁴⁾。

Single-shot 撮影の場合，同じスライスを励起する際に十分な縦緩和が得られるまで次の励起を待たないと著明な信号低下が生じる。これは single-shot EPI でも同じである。したがって TR (正確には励起間隔と呼ぶべきか) を十分に長く (筆者の経験では 4000 ms 程度) 設定する必要がある (Fig. 1)。

生理的動きの制御は特に肝の撮影の際に問題になる。詳細は後述するものとする。

肝悪性腫瘍に対する DWI

1. 肝 DWI における技術的な問題

本邦における肝悪性腫瘍の大部分は肝転移と肝細胞癌 (HCC) である。DWI がもたらす情

多励起加算 single-shot EPI としての 躯幹部 DWI

現在躯幹部 DWI で用いられている撮像シー

キーワード DWI, physiological motion, subcardiac signal loss, double b-factor breast DWI (DBBD)

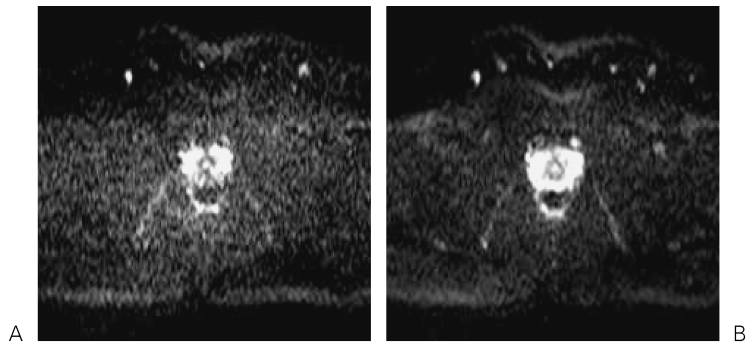


Fig. 1. A and B are the diffusion-weighted images of the normal male pelvis of the same volunteer ($b = 800$, $TE = 65$). Only difference between these images is TR ; TR = 1000 ms in A and TR = 4000 ms in B. The image quality of B is far superior to that of A.

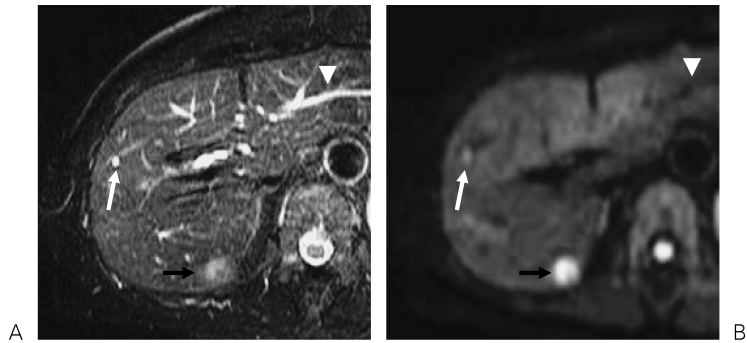


Fig. 2. (A) T₂-TSE and (B) DWI obtained in a 59-year old man with a hepatic metastasis due to colorectal cancer in S7 (black arrow) and a small cyst in S8 (white arrow). The metastatic tumor shows clearly higher signal on SENSE-DWI than on T₂WI. On the other hand, the cyst demonstrates less intense signal on SENSE-DWI as comparison with that on T₂-TSE. The intrahepatic vessels turn dark on SENSE-DWI, differently from those on T₂-TSE (arrowhead).

報もこの2者のマネージメントに影響を及ぼすものでなければ無意味である。特に肝転移に関してはその個数の把握が極めて重要である。例えば膵癌の肝転移は初診時に1個でも存在すれば、たとえ原発巣が切除可能であっても予後は全く期待できないため手術適応にはならない。大腸・直腸癌の肝転移はたとえ多発であ

ても外科的にすべてが切除できれば3割程度の治癒が得られる。いずれの場合もたとえ小病変であっても可能な限り描出することが画像には求められる。DWIのコントラストを作り出す motion probing gradient (MPG) pulse は肝内の血管信号を完全に抑制し、嚢胞や肝実質の信号を抑制することで、腫瘍の信号を相対的に

2005年7月19日受理

別刷請求先 〒277-8577 千葉県柏市柏の葉 6-5-1 国立がんセンター東病院放射線診断部 那須克宏

増強する⁵⁾。このことにより肝転移は血管腫を除けば常に安定して最も高い信号を示す肝内構造物になるため小病変であっても拾い上げが非常に容易になる。この際に肝実質が低信号でかつ肝内の血管が確認できる程度に描出されると読影に最も適しているようである。筆者は経験上、 $b = 500 \text{ s/mm}^2$, $TE = 73$ で設定しているが、今後の機器の進歩で変化していくべきものであろう (Fig. 2)。

さらに細かい撮像条件について考察してみよう。既に述べた検査目的を実現するためには“自由呼吸下撮影”は不向きであり、“息止め”ないしは“呼吸同期撮影”が必須であることを強調しておきたい。自由呼吸下撮影では呼気時の画像の上に吸気時の画像が重なって合成されるため、小病変が見えなくなるという現象がしばしば発生する (Fig. 3A, Fig. 4)。肝が同じ位置で停止した状態ですべての励起を行うことが非常に重要になってくるのである。次に呼吸同期撮影と息止め撮影のどちらが望ましいか、という点を考察してみる。前段で述べたように TR を十分に長く設定すべきということからは、呼吸同期撮影に軍配が挙がるのが理解されよう (Fig. 3B, C)。正直な話、軀幹部 DWI は非常に SNR が低い画像であり加算回数を多くしなければ読影可能な画像を安定して得るのは難しい。息止め撮影では何度かの息止めに分割したとしても、加算回数を多くしたり、TR を十分に長く設定したりするのは難しい。呼吸同期撮影であれば、吸気間の T_1 回復を利用できるため実効 TR を延長させることが可能である。

肝の DWI で技術的に解決できていないのは左葉の信号低下 (筆者はこれを subcardiac signal loss と呼んでいる) である。肝左葉は心臓の収縮期の間、かなり速い速度で揺すられており、これは呼吸のゆっくりとした動きと違い MR 機器にとって実際の拡散現象と区別ができない。そのため収縮期に収集されたデータでは肝左葉の拡散が大幅に上昇したように画像

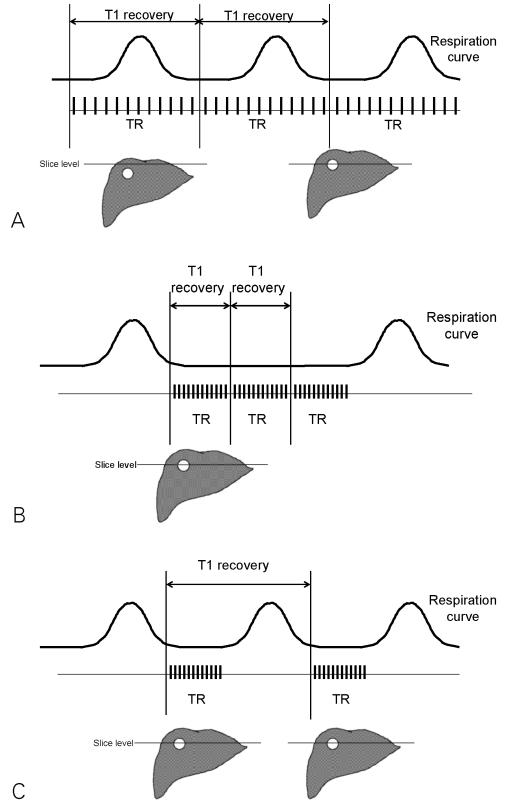


Fig. 3. Schemes of three different hepatic DWI are shown; (A) hepatic DWI under free breathing, (B) hepatic DWI under breath-holding and (C) respiration-triggered hepatic DWI. In A, the trace image is synthesized from the both data obtained at expiration and inspiration. In the result, the completed image is an average of several slice levels. In B, the image acquisition is performed at one slice level; therefore, the averaging phenomenon observed in A does not occur. However, short TR which is necessary for breath-holding image acquisition brings decrease of SNR. In B, each data acquisition is performed at the same slice level. Enough T_1 recovery time is also secured.

上とらえられてしまう (Fig. 5)。この問題の解決のためには心拍・呼吸同期が必要と思われるが⁴⁾、現時点の機器の能力では心拍・呼吸同期を併用し、全肝の DWI を得るためには臨床の現場では受け入れがたいほどの時間がかか

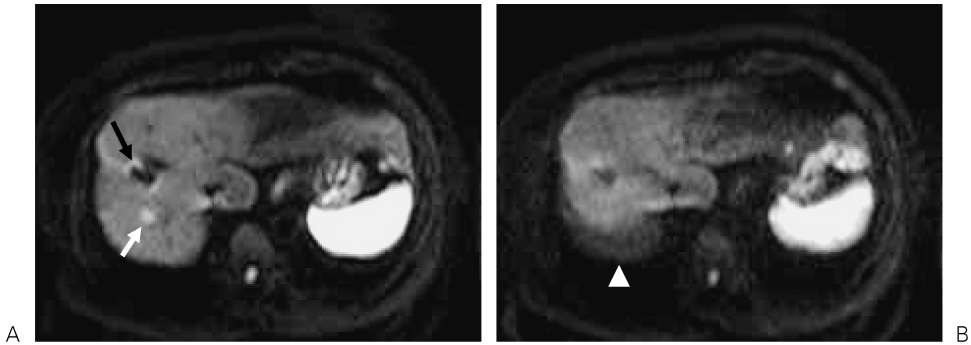


Fig. 4. (A) Respiration-triggered hepatic DWI and (B) hepatic DWI under free breathing of a same patient with hepatocellular carcinoma are shown. On A, a small HCC measuring 1 cm in diameter (white arrow) and a treated lesion (black arrow) measuring more than 2 cm are observed. On the other hand, HCC disappears on B. Additionally, the signal intensity of treated lesion increases and a ghost-like structure appears in the posterior side of the liver (arrowhead). These findings on 4B are typical for averaging phenomenon specific for DWI under free breathing.

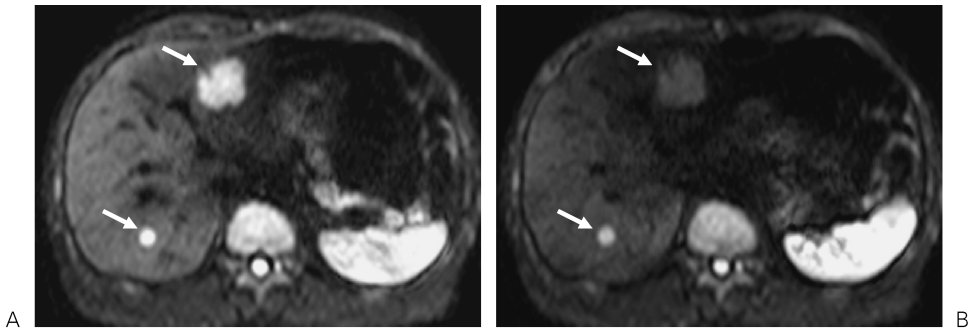


Fig. 5. (A) DWI without butyl-scopolamine and (B) DWI with butyl-scopolamine of a 56-year-old male with multiple liver metastases due to colorectal cancer are shown. Two metastatic tumors (arrows) are noted in the lateral and posterior segments. The subcardiac signal loss in the lateral segment is observed on both images. The outline of the lateral segment can be indicated on A. However, it is hardly seen on B because of the subcardiac signal loss becomes more significant. The metastasis in the lateral segment shows obviously lower signal than the lesion in the posterior segment does on B.

る。そのため筆者は心拍同期併用を断念し、その代わり鎮痙剤の投与を控える、加算回数を増やして拡張期でのデータ収集ができる可能性を確率的に増やす、読影の際に左葉を十分注意して観察する、といった方法で対応している。現実的な対応策ではあるが、当然ながら左葉でのADC測定は全く信頼性がないことを追記して

おきたい。

2. 肝 DWI の読影の実際

さて上記方法で良好な肝 DWI が得られたとして、その読影にはある程度の訓練が必要である。まず、残念ながら DWI で高信号に描出されたものの中には悪性腫瘍だけではなく血管腫や嚢胞が必ず混在している。DWI で見えてい

る高信号領域を同一スライスで撮像した T_2WI と比較することが読影上のキーポイントである。DWIでの信号よりも T_2WI での信号が明瞭に高ければそれは嚢胞ないしは血管腫と考えてよい(もちろん例外はある)。もし T_2WI で充実性の結節がDWIで明瞭に高信号ならばそれは悪性腫瘍の可能性が高い。

問題はDWIと T_2WI の信号に明瞭な差がない場合である。この場合は悪性腫瘍と血管腫の両方の可能性がある。ADC測定は2者の鑑別の一助にはなるが、血管腫のADCは悪性腫瘍(特に壊死の強い腫瘍や粘液産生を伴った腫瘍)との間にオーバーラップがあるし⁶⁾、やはり最

も確実な方法は造影剤を用いることであろう。筆者はガドリニウム造影剤によるダイナミックスタディ(以下, Gd-dynamic)を好んで用いている。かつて肝転移の診断に対する有用性が否定されたGd-dynamicであるが、DWIと併用するとその使い勝手の良さには目を見張るものがある。つまり拾い上げ診断の機能をDWIに任せて、質的診断を行うためのツールとして使うのである。当たり前の話であるが動脈相でのリング状増強効果(Fig. 6)や淡く均一な増強効果(Fig. 7)、腫瘤を要とした扇形の増強効果(Fig. 8)はほとんどの例で転移であり、central dot signや平衡相での造影剤のプーリ

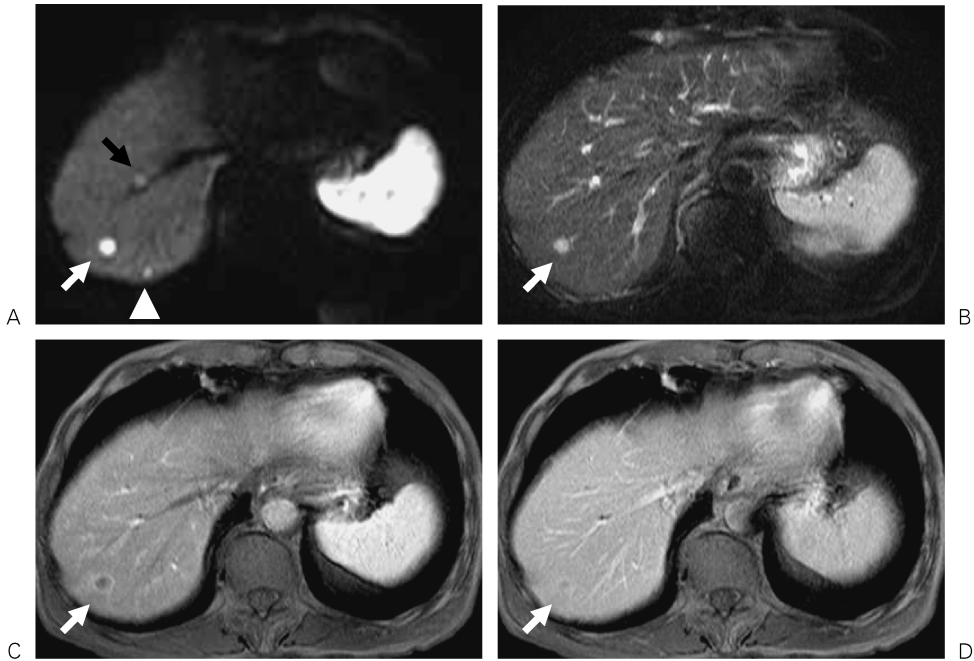


Fig. 6. Hepatic metastases due to pancreatic cancer of a 72-year-old male are shown. The nodule in S7/8 is observed hyperintensely both on DWI (A) and T_2WI (B) (white arrow). However, it shows ring enhancement on arterial phase of dynamic study (C) and slight homogeneous enhancement on delayed phase (D). These findings are consistent with a metastasis due to pancreatic cancer. The small hyperintense nodule in the posterior surface of the liver on A is another metastatic nodule (white arrowhead). It is also depicted on T_2WI and dynamic study of the original version; however, it may not be seen on this page. Another bright spot on DWI is a cyst (black arrow).

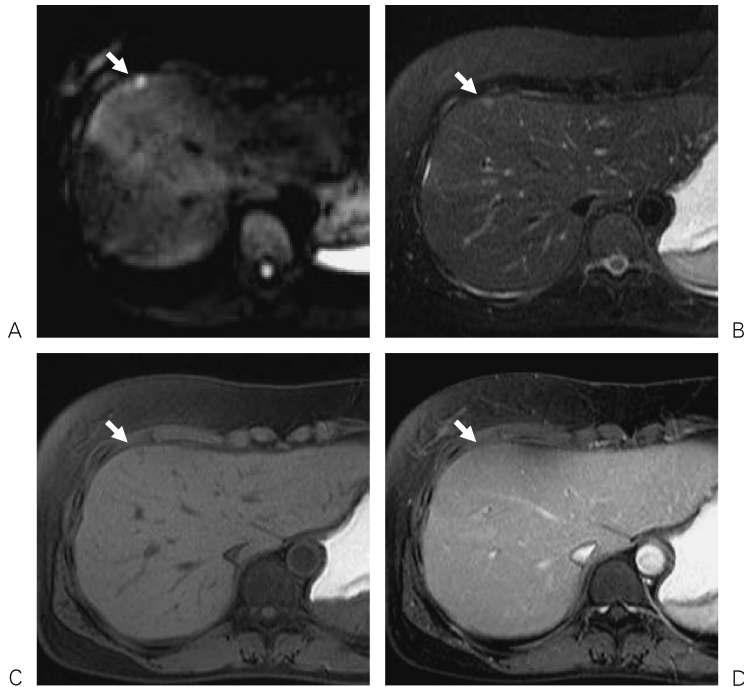


Fig. 7. A hepatic metastasis due to pancreatic cancer of a 35-year-old female is shown. The nodule in S4 is observed hyperintensely both on DWI (A) and T₂WI (B) (arrow). This nodule is observed as a slightly low signal area on precontrast T₁WI (C) and enhances slightly and homogeneously on arterial phase of dynamic study (D). These findings are also typical for a metastasis due to pancreatic cancer.

ング (Fig. 9) が確認できれば血管腫である。かつて Gd-dynamic が肝転移検索における有用性を否定された理由が拾い上げ診断における能力の低さであったことを考えれば⁷⁾, DWI と Gd-dynamic の組み合わせが好相性であるのは当然といえよう。

実際の読影に際しては患者の呼吸のズレによりスライスが上下していることがしばしばである。この際には DWI でも肝内の血管が確認できると有利である。すなわち門脈や静脈との位置関係でスライス面のズレを読影者が補正しながら読影するわけである。無理に b-factor を高くしていたり、TE が長すぎたり、TR や加算回数の設定が不適切なため肝実質と肝内血管の

間にコントラストが得られなくなってしまうと、この補正が難しくなる。

3. DWI は肝腫瘤の質的診断に寄与するか？

DWI は肝腫瘤の拾い上げだけではなく、鑑別にも寄与するであろうか？ 筆者の答えは yes でもあり no でもある。例えば HCC の組織学的悪性度については DWI である程度の予測は可能である (Fig. 10)。つまり高分化型 HCC は DWI での信号が低く、悪性度が高くなるにつれ信号が強くなっていく傾向が見られる⁸⁾。ただしこれはあくまで統計学的傾向であり、個別の結節に対して正確な予測が可能かといわれると、かなり疑問である。また被膜外進展の結果不整形になってしまった HCC と胆管

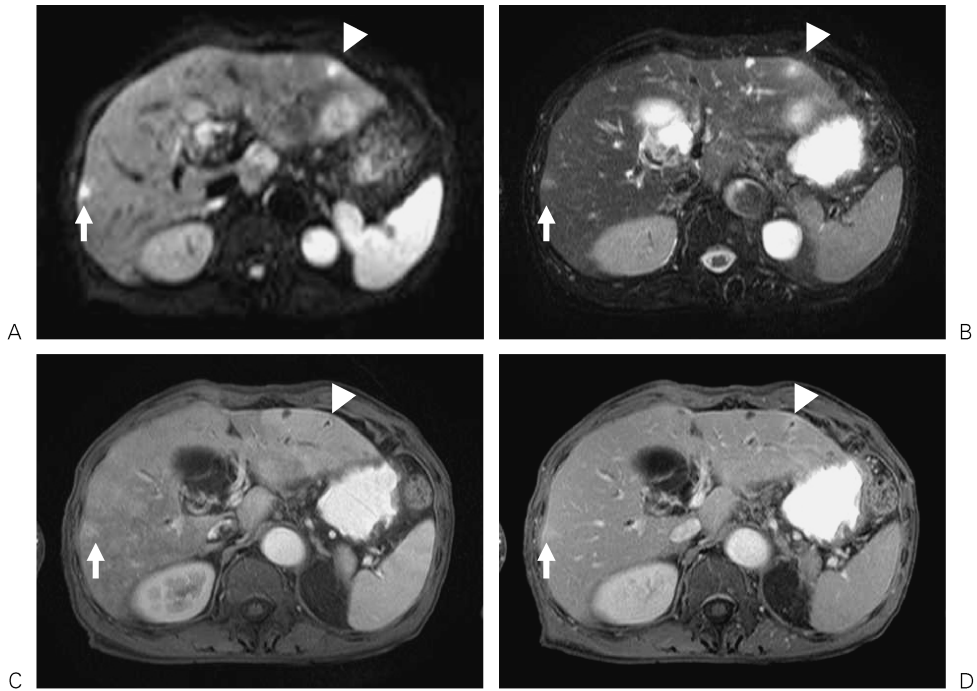


Fig. 8. Multiple hepatic metastases due to pancreatic cancer of an 83-year-old male is shown. The both nodules in S5/6 (arrow) and the ventral side of the lateral segment (arrowhead) are observed hyperintensely both on DWI (A) and T₂WI (B) (arrow). The former nodule shows wedge-shaped enhancement around itself on both arterial phase (C) and delayed phase of dynamic study (D). This lesion is a metastasis due to pancreatic cancer. On the other hand, the postcontrast images reveal that the latter nodule has a cylindrical structure which is consistent with a dilated intrahepatic bile duct. These findings are also typical for a localized cholangitis. The ill-defined high signal area on DWI and T₂WI in the dorsal aspect of the lateral segment is the partial volume of another inflammatory process in the liver.

細胞癌や混合型 HCC などを DWI だけで鑑別できる可能性は皆無である。

それだけではなく、限局性胆管炎 (Fig. 8) や肝膿瘍 (Fig. 11) も DWI 上明瞭な高信号を示すため、DWI のみでは腫瘍と炎症の区別もできない。しかし胆管炎は結節の中心を胆管が貫いているのを T₂WI で確認できれば鑑別は可能であるし、肝膿瘍においては ADC map を用いて内部の液体成分が壊死ではなく膿であることを証明するのは容易である。要するに肝腫瘍の質的診断については大部分の症例において DWI の直接の仕事ではなくその他の画像に任

せたほうが賢明だと少なくとも筆者は考えているのである。

乳癌に対する DWI

1. なぜ乳癌の診断に対して DWI を導入するのか？

乳癌の診断に MRI が果たす役割は何であろうか？ かつては乳腺腫瘍の鑑別にダイナミック MRI が有用と考えられてきた。しかしながらダイナミック MRI 自体が乳癌と線維腺腫 (fibroadenoma ; FA) と確実に鑑別できるわけ

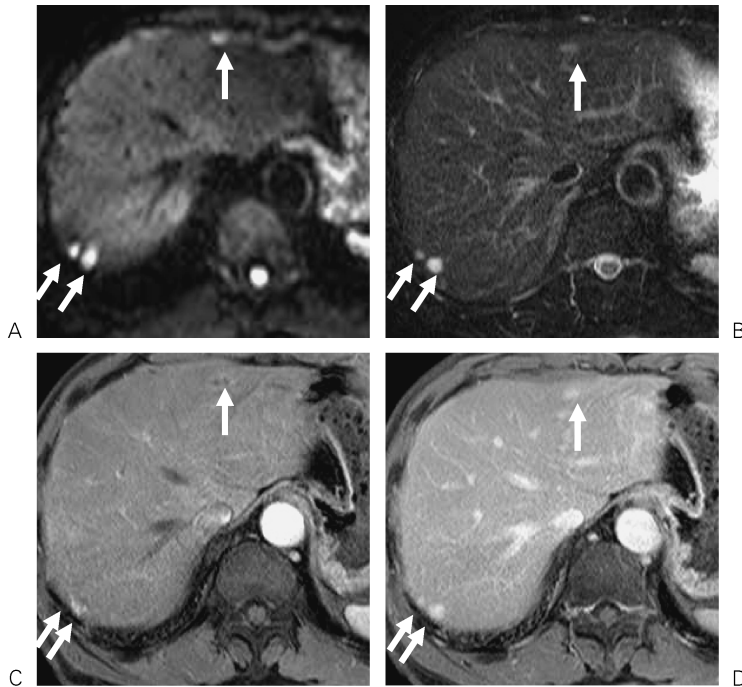


Fig. 9. Multiple hemangiomas of a 72-year-old male are shown. Each nodule in S7 and S3/4 (arrows) are observed hyperintensely both on DWI (A) and T2WI (B) (arrow). They show various contrast uptake on arterial phase of dynamic study (C); however, they demonstrate characteristic homogeneous enhancement on delayed phase of dynamic study.

ではなく、また生検が安全かつ容易な乳腺腫瘍の質的診断に関して生検を省略して画像だけで治療方針を決定する乳腺外科医がいるとは思えない。このような状況であってもこれほど盛んに乳腺のMRIが行われている理由はただ一つ、すなわち温存療法の適応を決定するための乳癌の広がり診断である。

乳癌には浸潤癌成分と乳管内進展成分が様々な比率で混在していることは広く知られている。このうち乳管内進展の範囲の把握こそが温存療法の適応決定に最も重要な因子であることは議論の余地がないであろう。DWIを乳腺MRIに導入する場合も、この点に何らかの貢献がない限り無意味であると思われる。ところが乳管内進展の把握のためにはX, Y, Z軸のそ

れぞれの方向で2 mm以下の空間分解能が必要であり⁹⁾、EPIを用いた現在の躯幹部DWIが実現可能な条件ではない。いよいよもってDWIを乳腺MRIに導入する意味がわからなくなる。

実際の乳腺画像診断で最も苦慮するのは乳腺症と癌の乳管内進展との鑑別である。一部の乳腺症はガドリニウム造影剤投与により造影効果を示し(特に月経前後には顕著である)、癌の乳管内成分は浸潤部分ほど明瞭には造影効果を示さない。したがってこの2者の鑑別はかなり難しい。DWIはこの二つの鑑別において有用である可能性が高いのである。ここにこそ乳腺MRIにDWIを導入する意義があると筆者は考えている。考察がここに及んで始めて乳腺

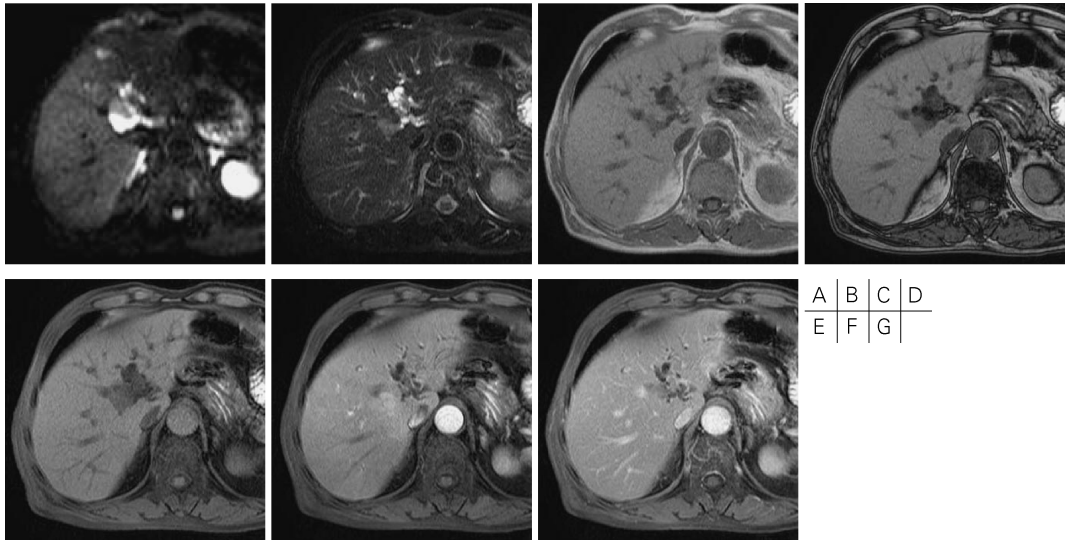


Fig. 10. Solitary hepatocellular carcinoma in the porta hepatica of a 72-year-old male is shown. The mass consists of two components. The ventral part is slightly hyperintense on DWI (A), isointense to the surrounding liver parenchyma on T₂WI (B) and in-phase T₁WI (C), hypointense on opposed-phase T₁WI (D) and does not show overt arterial enhancement on dynamic study (E-G). These findings are consistent with well-differentiated HCC. On the other hand, the dorsal part is obviously hyperintense both on DWI and T₂WI, does not contain fat, enhances strongly on arterial phase of dynamic study and becomes relatively hypointense to the surrounding liver parenchyma on delayed phase. These findings strongly suggest dedifferentiating component of HCC which arises from the ventral part. The pathological examination on the surgically resected specimen reveals that the preoperative radiological diagnosis is completely correct. The ventral part of the mass is consistent with well-differentiated HCC and the dorsal part of the mass is poorly differentiated HCC.

の DWI で最も留意しなければならない条件が明らかになる。それはすなわち“乳腺症を含めた正常乳腺からの信号を抑制し、癌との間にコントラストを得る”ことである。

2. 背景乳腺の信号を抑制するための撮像条件とは？

乳腺組織と乳癌との間に十分なコントラストを得るにはどの程度の b-factor が適切であろうか？ 意外にも 250 s/mm² で十分である (Fig. 12)。それ以上 b-factor を強くしても b=1500 程度までは癌と乳腺組織との間のコントラストには大きな変化が見られず、さらに b-factor を大きくすると腫瘍の信号も明瞭に低下していく¹⁰⁾。では b=250 の DWI (?) で十分なのかというと、実はこの画像は全く臨床的に

役立たない。なぜなら正常乳腺内に怪しげな高信号領域が高頻度に出現し、読影者を疑心暗鬼にさせるだけである (Fig. 13)。

一方、b-factor をだんだん大きくしていくと乳腺組織の信号が背景の雑音に紛れ込んでいく。大部分の乳腺は b=750 までに雑音化し、乳腺症の強い症例でも b=1500 ではほぼ全例が雑音化する。ただし b=1500 の画像はかなり汚い。このように乳腺組織を背景の雑音レベルまで抑制してやると、乳癌の視認性が格段に向上する。この知見を元に現在筆者の施設では比較的画質の良好な b=750 と乳癌の視認性に優れた b=1500 の二つの b-factor を同時に用いた DWI を撮像している (double b-factor breast DWI ; DBBD と命名した) (Fig. 14)。筆者が

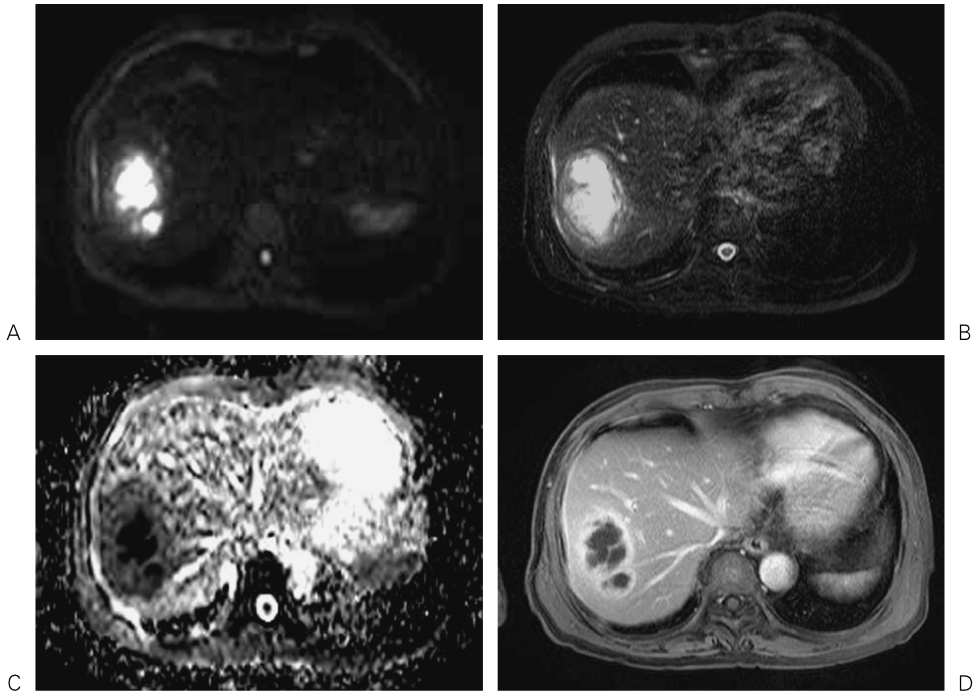


Fig. 11. Liver abscess in a 72-year-old male with gastric cancer is shown. The abscess in S8 is hyperintensely depicted on DWI (A) and is hardly differentiated from hepatic metastasis. However, the central part of the lesion which is observed as hyperintense area both on DWI and T2WI (B), is shown as hypointense on ADC-map (C). ADC measurement reveals that this contrast part has extremely low ADC ($0.75 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$). The post-contrast image shows characteristic trabeculation in the central part. These findings are typical for a liver abscess containing viscous fluid inside.

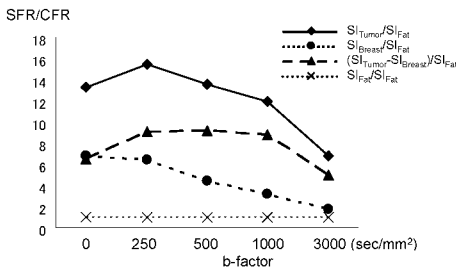


Fig. 12. Mean signal-to-fat ratios (SFRs) of breast cancer and breast gland, and mean contrast-to-fat ratio (CFR) between breast cancer and breast gland of 18 patients are shown. The CFR is constant between $b = 250$ to around $b = 1000$. However, the extremely high b-factor brings decrease of CFR. The suppression for breast gland is insufficient when b-factor is less than 1000.

この方法を採用してからまだ日が浅いので確定的なことを述べるには時期尚早であるが、乳腺組織の中から乳癌を拾い上げる方法として非常に有効と考えている。もし単一の b-factor を用いるのであれば $b = 1000$ 程度が適切であろう。

3. STIR? それとも CHES?, 片側? それとも両側?

DWI において脂肪抑制法の併用が必須であることは疑問の余地がない。しかしいずれの脂肪抑制方法を選択すべきか、ということになると結論は出ていないと思われる。脂肪抑制の均一性では間違いなく STIR に軍配が上がる。しかし SNR は CHES, SPIR といった周波数選択的脂肪抑制法のほうがはるかに優れている。

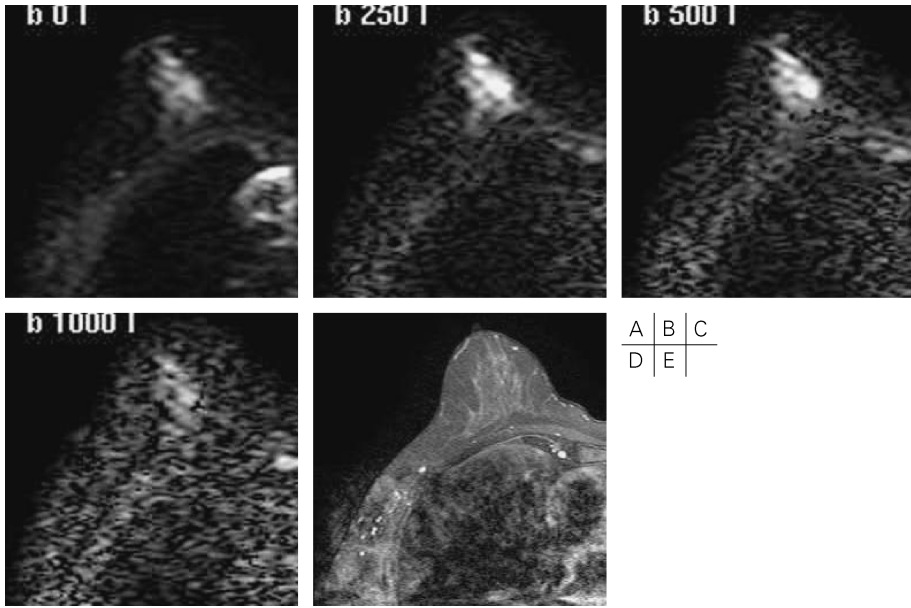


Fig. 13. The normal breast gland of a 60-year-old female is shown. A mass-like high signal area is observed on the image with $b=250$ (B) and the image with $b=500$ (C). This finding can not be pointed out on the T2-EPI ($b=0$) (A), the image with $b=1000$ and postcontrast T1-TSE with fat suppression (E). The lesion depicted on B and C is a pseudo-finding.

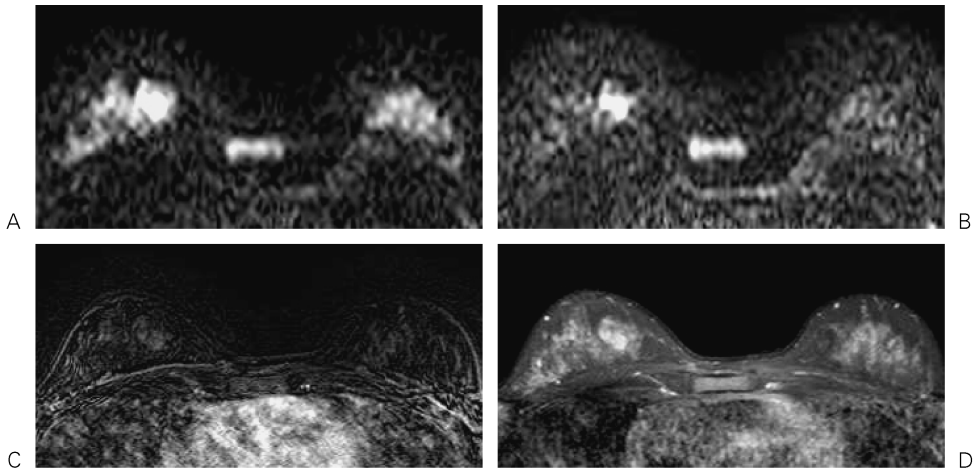


Fig. 14. A 46-year-old female with non-invasive lobular carcinoma derived from sclerosing adenosis in the right breast and bilateral fibrocystic disease is shown. The mass in the upper medial area of the right breast is depicted both on DWI with $b=750$ (A) and DWI with $b=1500$ (B). However, the surrounding breast gland is more effectively suppressed on B as compared with A. Therefore, the tumor can be more easily pointed out on B. On subtracted dynamic study (C) and post-contrast T1-TSE with fat suppression (D), differentiation between the tumor and breast gland is difficult.

DWI としての妥当性という観点からはどちらの方法を採用しても問題はないらしく、乳腺腫瘍 33 結節において STIR 型 DWI と CHES 型 DWI の両方で腫瘍の ADC を計測したところ両者の間で有意な差異は認められなかった (Fig. 15)¹⁰。ただし信号の強さに由来する視認性の高さでは当然ながら CHES 型の方が優れていた。現在筆者の施設では SNR に問題のある $b = 1500$ を用いていることもあり、CHES 型を採用している。STIR 型と異なり乳房下面にアーチファクトが高頻度に発生するが、現時点では読影の際に注意するというだけで対応している。

乳腺 MRI では片方の乳腺だけを小さな表面コイルを用いて高分解画像で撮影するのが良いという意見は根強いが、筆者は両側を撮影すべきだと確信している。その理由は、乳腺はいかなるモダリティにおいても常に両側を比較する形式で読影するべきものであること、両側乳腺に癌が発生する症例は決して稀ではないこと、乳管内進展を把握するための空間分解能は両側撮影用のコイルでも十分に得られているという 3 点からである。

4. 乳腺 DWI の読影方法の実際

既に肝 DWI の項目でも記載したように DWI 読影の基本は T_2WI との比較である。乳腺 DWI でも同様である。例えば乳腺の嚢胞は肝や腎のそれと異なり、内部に粘調な液体が貯留している。そのため DWI で信号が十分に抑制されないことが多い。また FA の多くは DWI での信号は多様であるが、 T_2WI で辺縁整、わずかなくびれをもった球形で明瞭な高信号を示す結節として観察されることが多く、ADC 計測や造影を行うまでもなく診断可能なことが多い。

さて最大の問題である乳腺症と乳管内進展の鑑別である。 $b = 1500$ であれば乳腺症の大部分は信号が抑制されると考えられるが、一方癌の乳管内進展も高い b -factor による信号低下に加えて浸潤癌ほど腫瘍の容積がないので部分体積

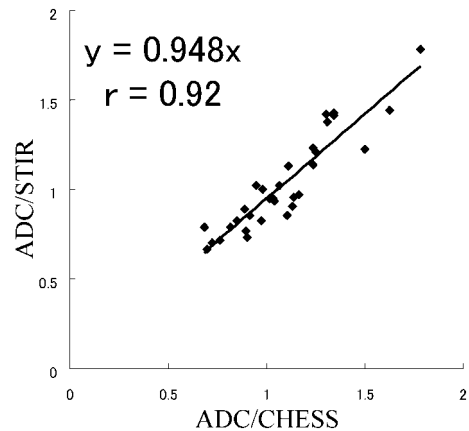


Fig. 15. Correlation between ADCs of breast cancer acquired with STIR-DWI and CHES-DWI is shown. No statistically significant difference can be noted between these two methods.

効果による信号低下が避けられない。明らかな高信号領域だけに注目していると病変を見落とすことがありえる。したがって乳腺の左右差に注目する必要がある。乳腺症は基本的に左右対称性であり、 $b = 1500$ の画像での左右非対称の微細な高信号領域には十分注意する必要がある (Fig. 16)。同じ部分に左右非対称の造影効果が認められていた場合は乳管内進展ないしは非浸潤癌を積極的に疑うべきである。外科医にとって最も知りたい情報である乳管内進展の範囲については DWI の所見を十分に考慮した上で多方向断面 (最低でも 3 方向) からの観察を行うことが必要である。この目的のために筆者の施設では患側乳腺に対して各辺 1 mm の等方向ボクセル化した balanced TFE (筆者は isotropic BTFE と呼んでいる) を用いて MPR を作成しているがこれについては本稿の目的からはずれるため詳述は行わない。

5. 乳癌の亜型診断における DWI の役割?

DWI で乳癌の亜型診断を行う可能性に興味をもたれる方々もおられると思うが、これに関しての筆者の見解は“可能不可能の問題ではな

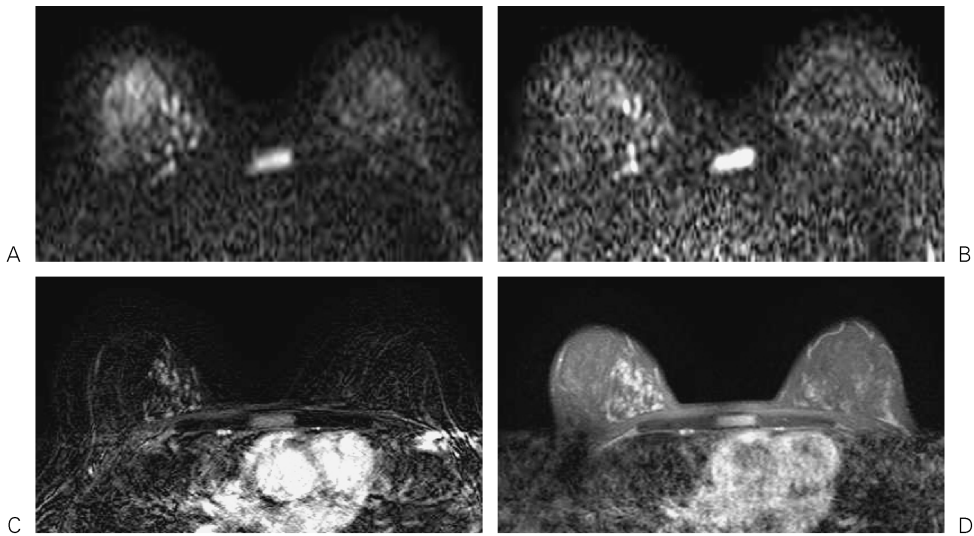


Fig. 16. A 46-year-old female with invasive ductal carcinoma associating wide intraductal spread is shown. Multiple high signal spots are noted in the upper medial area of the right breast both on DWI with $b=750$ (A) and DWI with $b=1500$ (B). These lesions show obvious contrast uptake on subtracted dynamic study (C) and postcontrast T1-TSE with fat suppression. These findings are consistent with breast cancer with intraductal spread. However, these lesions are too small and may be overlooked if the reader does not pay attention to the laterality between the bilateral breasts.

く臨床的意味が少ない”ということである。我々放射線診断医の悪い癖は組織診断, 鑑別診断にこだわりすぎることである。乳腺腫瘍が癌か FA かを鑑別することは生検が省略できないとしてもそれなりに臨床的意義のあることである。しかしながらその乳癌が硬癌なのか充実腺管癌なのか乳頭腺管癌なのか粘液癌なのかを画像上鑑別することは学術的には意義深い治療方針に影響を与えない。要するに我々が乳癌の亜型診断に情熱を注ぐことは“MR 病理学”の進歩をもたらしても, 外科医からはさほど感謝されない。

直腸癌に対する DWI

1. なぜあえて直腸癌の MRI に DWI を導入するのか?

直腸癌に対する MRI の目的は術前 T-stag-

ing であり, 特に固有筋層を越える腫瘍の周囲臓器への広がり診断についてはやや過大評価になる傾向はあるものの, その有用性について既に多数の報告がある¹¹⁾。このように臨床的意義が確立された直腸癌の MRI に DWI を導入する意義は何であろうか? 筆者が直腸癌の DWI を報告した当初いたるところで受けた反応は“あなたの研究はとてもユニークで面白いが, 何の役に立つのか”というものであった。筆者は明快な説明ができずに毎回困った記憶がある。足掛け 5 年にわたる筆者の経験からこれに対する回答をすると, “とにかく何かと便利なのだ”の一言につきる。実際に直腸癌の MR 検査に携わっていない読者にも以下に記載する内容でそれを感じてもらえると幸いである。

2. T-staging における有用性

直腸癌の T-staging が臨床的に問題になるのは下部直腸癌の場合である。腹膜をもたない下

部直腸の場合、精囊、前立腺、子宮といった直接浸潤の有無により術式に影響を与える臓器が隣接している。この目的のために最も重要なシーケンスは脂肪抑制を併用しない T_2WI である。 T_2WI では固有筋層が低信号、その周囲の脂肪織が高信号に観察されるため、腫瘍に完全に直行する断面で撮像してやれば、上記の目的を容易に達成することができる。問題はこの“腫瘍に完全に直行する断面”を設定するのが意外に難しいことである。 T_2WI では粘膜下層

と腫瘍との間にコントラストが乏しいことが多く、 T_2WI 矢状断で腫瘍の位置が把握できないことがまれではない。

そこでDWIである。進行直腸癌はDWIではほぼ確実に描出されるため、DWIで矢状断を撮影しておけば腫瘍の位置を正確に把握し、“腫瘍に完全に直行する断面”を設定するのは容易である (Fig. 17)。もちろん注腸造影を参考にすればよいわけであるが、最近注腸造影に先行してCT, MRIが行われることが多く

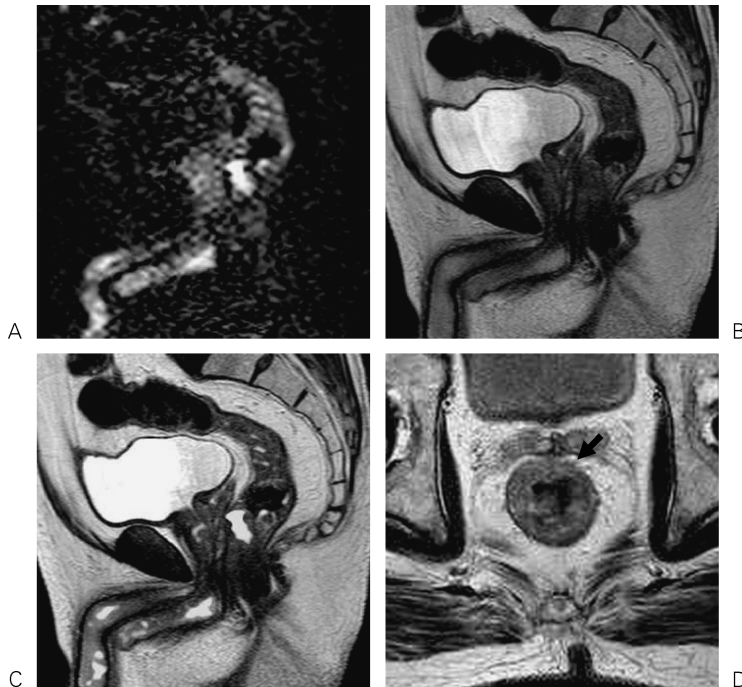


Fig. 17. A 70-year-old male with rectal cancer in the lower third of the rectum is shown. DWI clearly depicts the tumor in the anterior wall of the rectum (A). On T_2 -TSE, the tumor can be pointed out when the findings on A is taken into consideration. However, it is very difficult to intuitively point out the tumor only on T_2 -TSE. On fusion image which is synthesized from DWI and T_2 -TSE, the location of the tumor can be grasped more correctly (C). Consequently, thin-slice T_2 -TSE which is set truly axial to the tumor is set, taking the findings of DWI into consideration. This thin-slice T_2 -TSE reveals that tumor has gotten over the muscular layer and invaded to the surrounding fat tissue (arrow) (D). Such true axial sections are hardly set without correct grasping of the tumor location using DWI.

(これは筆者の施設のみに見られる傾向ではあるまい), 検査の際に参考資料がないことがしばしばである. また標準術式ではないものの, 今後普及する可能性のある肛門管温存術の際にもDWIで得られる情報は重要である. 肛門管は内視鏡やバリウム造影で検査するのが難しい臓器であり, 腫瘍の下方進展を客観的に判定できるDWIの価値は高い (Fig. 18).

3. 仙骨前再発の診断における有用性

直腸癌の術後に仙骨の前面に軟部組織が出現することがある. この所見は単なる術後変化のことも再発腫瘍のこともあり, この鑑別は直腸癌の画像診断において長きにわたりテーマの一つであった¹²⁾. DWIはこれに対して一つの回答となり得る. 術後変化はT₂WIでもDWIでも著明な低信号なのに対して, 再発腫瘍はT₂WIでやや低信号, DWIで高信号を示し, 容易に鑑別できる (Fig. 19). ただし再発腫瘍は原発腫瘍ほど細胞密度が高くないらしく, 原発腫瘍ほどには高信号を示さないことが多い.

ただし上に述べたことはある程度古くなった術後変化と再発腫瘍の際に当てはまることであり, 術後間もない時期における新鮮な肉芽腫と残存腫瘍との鑑別はDWIでは難しいと思われる.

4. ADCは直腸病変の良悪性を判定する指標になり得るか?

ADC測定が癌の組織学的分化度予測の一助になり得ることは, 前立腺癌やHCCの場合既に指摘されている. 直腸癌の場合はどうであろうか? 直腸癌の悪性度を鑑別するための閾値をADCに設けることはできるであろうか? 答えを先に行ってしまうとNoである. 胃や大腸に発生する低分化癌のかなりの部分を占める組織型に粘液癌がある. この腫瘍は組織内に大量の粘液が貯留しており細胞密度が低い. そのためT₂WIで高信号, DWIで通常の癌ほどには明瞭な高信号を示さない. ADCを測定すると通常の癌が $1.0 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 前後であるのに対して, 粘液癌は $2.0 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 前後と肝臓であれば血管腫や嚢胞が示すような値をとる (Fig. 20)^{1),13)}. この値を根拠に“この腫瘍は癌ではない”とか“癌としても活動性が低い腫瘍と考えられる”といった軽率なレポートを書いてはいけない. 直腸粘液癌は非常に悪性度が高く, 外科医が骨盤内臓全摘術の適応さえ考慮するほど予後の悪い疾患なのである. DWIやT₂WIの信号あるいはADCは腫瘍の組織学的特徴を鋭敏に反映している. しかしながらそれはあくまで組織学的特徴なのであって腫瘍の

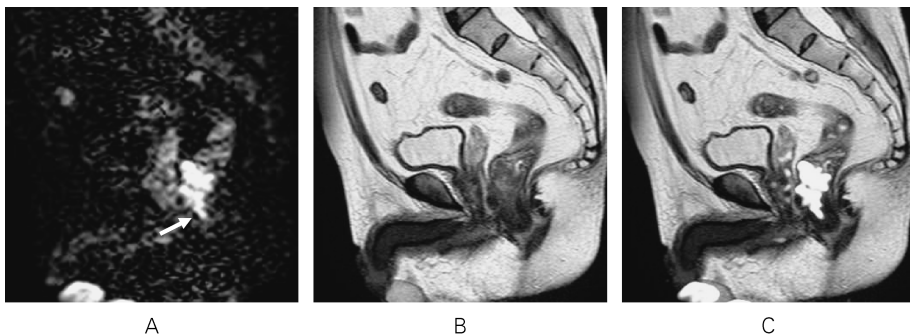


Fig. 18. A 53-year-old male with rectal cancer in the lower third of the rectum to the anal canal is shown. DWI clearly depicts the tumor extent to the anal canal (arrow) (A). It is indispensable to grasping the tumor extent to the anal canal when the anal canal preserving operation is selected; however, it is often difficult only with using T₂-TSE (B). DWI and fusion image make this procedure easier.

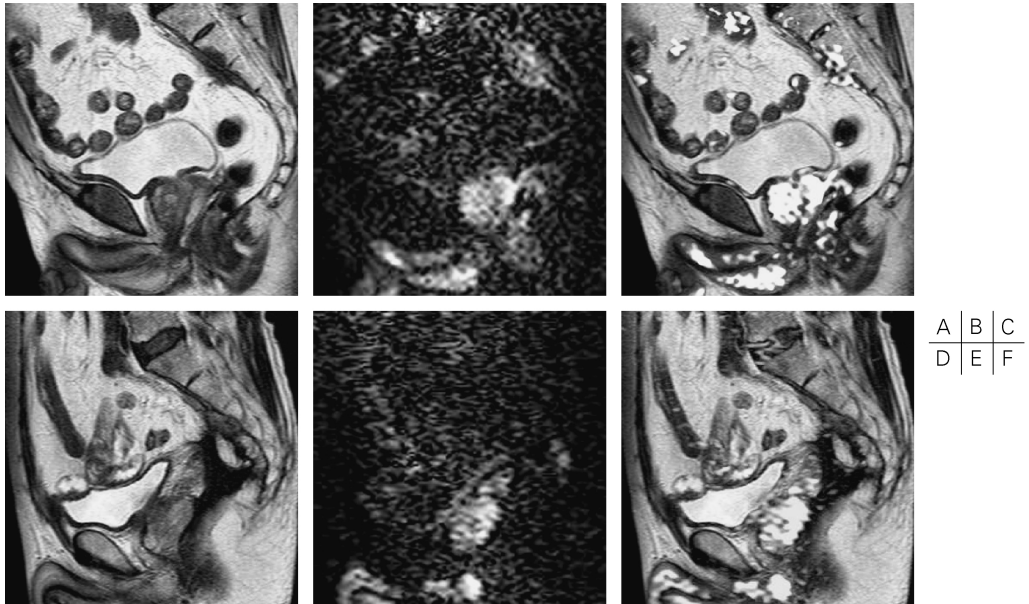


Fig. 19. A 62-year-old male with presacral recurrence of rectal cancer is shown on A to C. The hypointense mass on T₂-TSE invades the sacrum (A). This mass is slightly hyperintense on DWI (B). Generally speaking, presacral recurrence of rectal cancer shows less intense than the primary rectal tumor does. The fusion image proves that the abnormal signal on DWI well agrees with the presacral mass on T₂-TSE (C). On the other hand, a 61-year-old male with fibrous tissue after the operation of the rectal cancer is shown on D to F. The mass shows hypointense on T₂-TSE (D), DWI (E) and fusion image (F). Please pay attention to the difference between B and E.

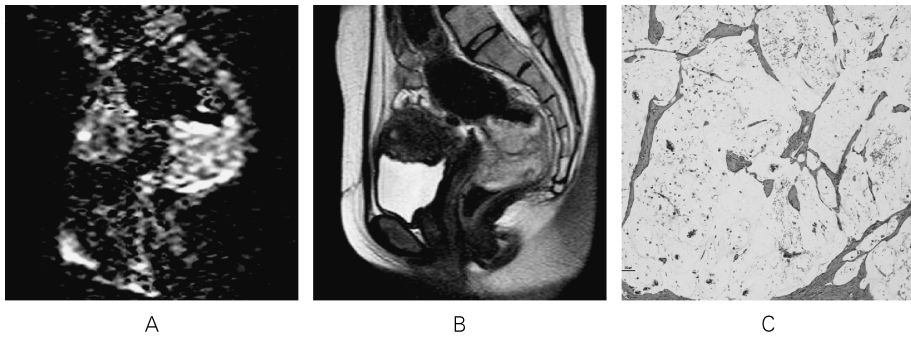


Fig. 20. A 38-year-old female with mucinous carcinoma of rectum is shown. The mass is slightly hyperintense on DWI (A) and hyperintense on T₂-TSE (B). However, the signal on DWI is assumed to be due to T₂-shimethrough as the signals of each image are compared. Actually, ADC of the tumor is $2.05 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ and far higher than usual (Generally speaking, ADC of usual rectal cancer is around $1.0 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$). The pathological specimen can explain these findings clearly; the cellularity of the tumor is far lower than usual rectal cancer because of much mucin (C).

生物学的悪性度ではないということを理解する必要がある。細胞密度と腫瘍の悪性度がある程度相関するような腫瘍の場合はADC測定が腫瘍の悪性度予測に使える可能性があるが、消化管の癌の場合それは望み薄である。

ま と め

以上、躯幹部悪性腫瘍に対するDWIの応用の実際を肝臓, 乳腺, 直腸を例にとって述べた。悪性腫瘍診断におけるDWIの応用範囲は広く、有用性は高い。ただし本文中にも述べたがDWIは基本的に感度の向上をもたらすものであり、特異度の向上や鑑別診断に役立つわけではないということを確認すべきである。そして読影に際してはT₂WIとの比較は必須であり、必要であれば造影後の画像とも比較することが的確な診断を得るために重要である。そのためdynamic studyを含めたすべての画像がDWIと同じスライス面で撮像されていると実際の読影の際に有利であることを最後に強調して本稿を終わりたい。

文 献

- 1) Nasu K, Kuroki Y, Kuroki S, Murakami K, Nawano S, Moriyama N : Diffusion weighted single shot echo planar imaging of colorectal cancer using sensitivity encoding technique. JJCO 2004 ; 34 : 620-626
- 2) 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 ; 22 : 275-282
- 3) 田淵 隆, 清野 隆, 熊代正行, 他 : Single-shot turbo spin echo を用いた頸部 myelography の基礎的検討. 日磁医誌 2000 ; 20 : 219-226
- 4) Murtz P, Flackes S, Traber F, van den Brink JS, Gieseke J, Schild HH : Abdomen : diffusion-weighted MR imaging with pulse-triggered single-shot sequences. Radiology 2002 ; 224 : 258-264
- 5) Nasu K, Kuroki Y, Nawano S, Kuroki S, Tsukamoto T, Yamamoto S, Motoori K, Ueda T : Detection of hepatic metastases in diffusion-weighted single-shot echoplanar imaging with sensitivity encoding (SENSE-DWI) : a comparison with superparamagnetic iron oxide-enhanced MRI (SPIO-MRI). Radiology in press
- 6) Kim T, Murakami T, Takahashi S, Hori M, Tsuda K, Nakamura H : Diffusion-weighted single-shot echoplanar MR imaging for liver disease. AJR Am J Roentgenol 1999 ; 173 : 393-398
- 7) Soyer P, Leusque M, Caudron C, Elias D, Zeitoun G, Roche A : MRI of liver metastases from colorectal cancer vs. CT during arteriography. JCAT 1993 ; 17 : 67-74
- 8) 中島寛人, 那須克宏, 黒木嘉典, 塚本達明, 村上康二, 林 孝行, 関口隆三, 縄野 繁 : 拡散強調画像およびダイナミックMRI動脈優位相における肝細胞癌の分化度の評価. 日磁医誌 2004 ; 24(S) : 157
- 9) 戸崎光宏, 福田 安, 福田国彦, 河上牧夫 : 3D-VIBEを用いたダイナミックMRIによる乳癌の広がり診断. 日磁医誌 2002 ; 22 : 140-146
- 10) 黒木嘉典, 那須克宏, 風間俊基, 縄野 繁 : 拡散強調画像の新展開, 乳癌への臨床応用. 画像診断 2005 ; 25 : 723-728
- 11) Beets-Tan RGH, Beets GL, Vliegen RFA, Kessels AGH, van Boven H, De Bruine A, von Meyenfeldt MF, Baeten CGM, van Engelsehoven JM. Accuracy of magnetic resonance imaging in prediction of tumour-free resection margin in rectal cancer surgery. Lancet 2001 ; 357 : 497-504
- 12) Krestin GP, Steinbrich W, Friedmann G : Recurrent rectal cancer : diagnosis with MR imaging versus CT. Radiology 1988 ; 168 : 307-311
- 13) Symonds DA, Vickery AL : Mucinous carcinoma of the colon and rectum. Cancer 1976 ; 37 : 1891-1900

Clinical Features of Diffusion-weighted Imaging of the Liver, Rectum and Breast : Why Should SENSE-DWI Be Indicated in These Organs?

Katsuhiro NASU¹, Yoshifumi KUROKI¹, Toshiki KAZAMA²,
Shigeru NAWANO¹

*¹Department of Diagnostic Radiology, National Cancer Center Hospital East
6-5-1 Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba 277-8577*

²Department of Radiology, Chiba University School of Medicine

Diffusion-weighted imaging (DWI) for body malignancies is rapidly increasing. DWI can depict cancers with high sensitivity, but the signal is basically nonspecific. Cancers and various benign conditions are depicted hyperintensely on DWI. We discuss the clinical use of DWI, offer an optimized protocol for performing DWI, and explain the importance of its precise interpretation using actual images of the liver, breast, and rectum.