

## 躯幹部における拡散強調画像の考え方

日本赤十字社和歌山医療センター 放射線診断科部

梅岡 成章 *Shigeaki Umeoka*

### はじめに

躯幹部の MRI 診断において、拡散強調画像 (DWI; Diffusion Weighted MR Imaging) が日常ルーチンとして他の Sequence と同じように撮られ、評価されるようになって 15 年ほどが過ぎようとしている。脳神経領域では 1990 年代から臨床応用されていることを考えると、この画像診断は市民権を得て、はや 20 年を超えているのである。今では、臨床実習に来られる大学の医学部生でさえ、質問すると知っているし、何でも国家試験にも出題されていると聞く。

しかしながら、ルーチンワークとして拡散強調画像に頻繁にふれあっているにもかかわらず、若い先生と話していると、意外と拡散強調画像に関する理解が浅いことに驚きを隠せない。そこで、本稿ではよく質問を受ける項目に沿って、躯幹部の拡散強調画像を中心に基本的な概説を行う。

### 拡散強調画像とは何か？

「拡散強調画像って何か知ってる？」…この質問はよく学生さんや研修医の先生に投げかけるものである。前述の通りこの質問に対して回答率はよく、「水分子の拡散を強調する画像です」と解答が返ってくることが多い。これは正

(平成30年11月7日受付)(平成31年1月15日受理)  
連絡先：(〒640-8558)

和歌山市小松原通四丁目20番地  
日本赤十字社和歌山医療センター  
放射線診断科部

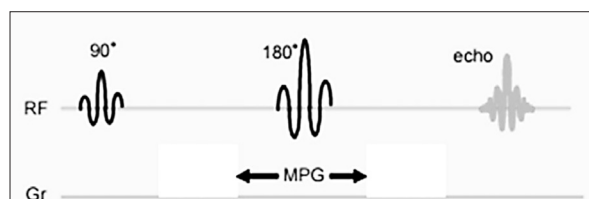
梅岡 成章

しくて、T2 強調画像が T2 減衰を強調した画像であるのと同様に、拡散強調画像は読んで字のごとく“拡散を強調した”画像であることは間違いない。ただ、「つまり？」とさらに掘り下げると答えに詰まることが多い。

水分子の拡散というのがピンときていないようである。そもそも自由空間 (バケツに入れた水など) において、水分子は自由に動くことが可能である (いわゆる Brown 運動)。そして十分な時間を経ると、濃度勾配に従ってエネルギーや水分子が均一な状態になるように移動する (Fick の法則)。これが水分子の拡散である。しかしながら、ある特殊な状況 (後述；【実際の読影はどうするの？】の①の項目) に置かれると、水分子の拡散運動が邪魔を受けることにより、制限されることがある。本来であれば、自由に拡散するはずの水分子がどの程度制限されたか…を画像化したものが拡散強調画像といえる。

### なぜ、拡散が制限されると高信号になるの？

拡散強調画像の Sequence の一部を概略化したものを図 1 に示す。細かな内容は一部の放射



【図 1】拡散強調画像 (EPI-SE) のシーケンスの一部の略図である。MPG をかけることによって水分子の拡散を反映した信号を取り出すことができる。

線科医や放射線技師が理解しておけばよいのであるが、一つだけ着目していただきたいのは MPG (Motion Probing Gradient; 拡散検出傾斜磁場) である。これは拡散強調画像を撮像する際に印可する傾斜磁場を表しており、励起された水分子を強制的に動かしている (拡散を促進している) 仕組みである。すなわち、自由な空間であれば MRI 信号の担い手となっている、励起された水分子は傾斜磁場によって移動させられ (本当は、位相がずれるとすべきだが、理解しやすいように簡略化している) 画像を撮るときにはもうスライス面から外れてしまうため、信号をとることができず、低信号となる。一方、拡散が低下した状態 (後述; 【実際の読影はどうするの?】の①の項目) であると、傾斜磁場をかけても励起された水分子は拡散されずにそのまま居座るため、高信号として描出されることになる。従って MPG の影響が強ければ強い画像ほど、微細な拡散制限を検出する能力に長け、純粋な拡散強調画像といえることができる。

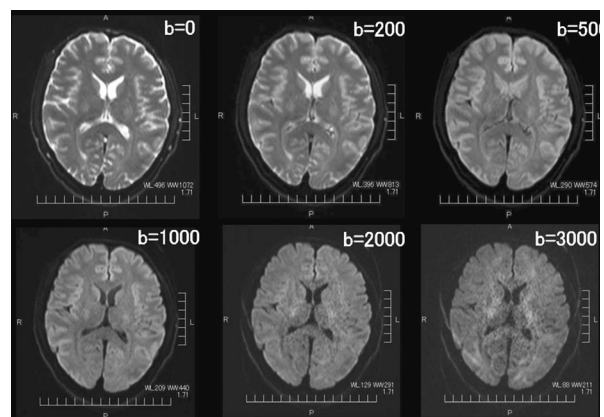
## b factor ってなに?

時々所見に b=0 image や、b=1000 画像という記載をすることがある。当センターの拡散強調画像をよく見ると、スキャン範囲内を二周スライスしているのをご存じであろうか。これは最初 b=0 image が提示され、その後 b=1000 image など高い b 値を設定した画像が続いているのである。b=0 image の 0 は b factor と呼ばれる parameter が 0 であることを示唆している。ではこの b factor とは何者であろうか。これは前述の MPG の影響の強さである。 $b = \gamma^2 G_x^2 \delta^2 (\Delta - \delta / 3)$  という公式で表されるが、たとえば  $\gamma$  は磁気回転比であり、G は MPG の大きさ (公式の  $G_x$  は x 軸のみに印可した傾斜磁場の強さ)、 $\delta$  は MPG の印可時間であるので、強い MPG を長くかけると b 値は高くなる。前項の繰り返しになるが、MPG の影響

が強ければ強いほど純粋な拡散強調画像となるので、言い換えれば b factor が大きければ大きいほど正確な拡散強調画像をえることができる。このため、通常断り無く、“拡散強調画像では…”と記載されたり討議されたりする場合は b=1000 などの high b factor の拡散強調画像を指す。

## b=0 image はなぜとるの?

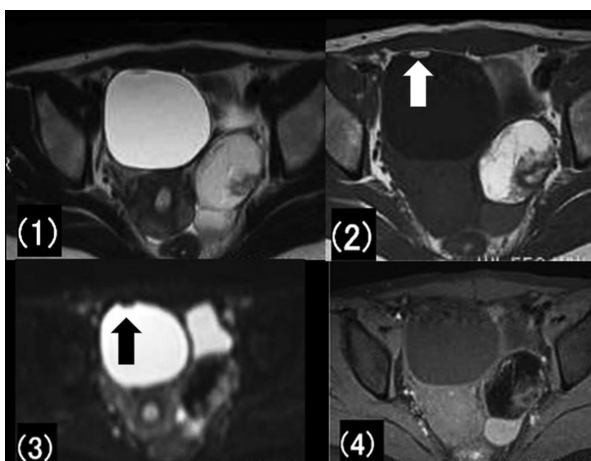
その前に図 2 を見ていただきたい。これは正常と思われる脳 (小生の脳である) を様々な b factor の拡散強調画像で撮像したものである。b factor によってずいぶん見え方が異なる。賢明なる読者諸君であれば、b=0 image はいつもよく見る T2 強調画像に近いことにお気づきになるであろう。拡散強調画像は決して拡散のみを強調した画像ではなく、T2 値や perfusion など様々な要素にも大きく影響をうける画像なのである。おおざっぱに言うと、b factor が低いと T2 値の影響が強くなり、b factor を高くすると拡散の影響が強くなる。つまり low b factor の拡散強調画像は脂肪抑制の T2 強調画像にかなり近い画像ということになる。



【図 2】様々な b factor を用いて撮像した脳の拡散強調画像である。b=0 image では脳室内の脳脊髄液が T2 強調画像のように高信号を示しているが、b factor を上げていくと、信号が低下していく。灰白質・白質のコントラストも b factor によって変わっていくことにも注意されたい。

であれば、本章の命題、なぜ low b factor をとらなくてはいけないのであろうか。さらに言えば b=1000 なんてせこいことをいわず、b factor を非常に高くして b=10,000、何なら 1 億にしてやれば、さらに精度の高い拡散強調画像をえられるのではないか… という疑問が生じる。

low b factor の拡散強調画像は診断において、まれに有用なことがある。この画像は EPI-SE image といわれ、粗い画質の脂肪抑制 T2 強調画像という側面を有するため、脂肪を含有する腫瘍かどうかで迷ったときにこの画像で判断できることもある (図 3)。しかしながら、最も重要なのは次項で概説する ADC 算出に不可欠なことである。



【図 3】30 歳台女性。両側卵巣皮様嚢腫。

(1) T2 強調画像 (2) T1 強調画像  
(3) 拡散強調画像 (b=0) (4) 脂肪抑制 T1 強調画像  
T2 強調画像・T1 強調画像ともに多彩な信号を示す腫瘍が両側卵巣に見られる。左側は脂肪抑制で信号低下を示す component があり、脂肪であることがわかるため、皮様嚢腫の診断が得られる。一方、右側(子宮腹側)の嚢胞は T1 強調画像で高信号を示す component (白矢印) が脂肪抑制 T1 強調画像ではアーチファクトに重なり、脂肪かどうかの判断が付きにくい。そのとき、b=0 拡散強調画像を見ると、低信号を示しており (黒矢印)、脂肪であることが診断可能である。

もう一つの疑問である、b factor をなぜ思い切った高値に設定しないか…であるが、b factor を上げると、得られる信号が下がってしまうからである。畢竟、あまり高い b factor の拡散強調画像を撮像すると、ターゲット内の

信号が低下することでノイズレベルを下回ってしまい、真っ黒になってしまうのである。このため、低すぎると拡散強調画像とは呼べず、高すぎると信号が拾えないというジレンマが発生する。さらに至適な b factor は使用する MRI の機種などでも微妙に異なるため、各医療機関レベルにおいて、「診断に耐えるだけの画質を担保できる範囲で、できるだけ高い b factor の拡散強調画像」を事前に設定した上で、撮像・運用していることが一般的であり、当センターでは b=1000 を採用することが多い。

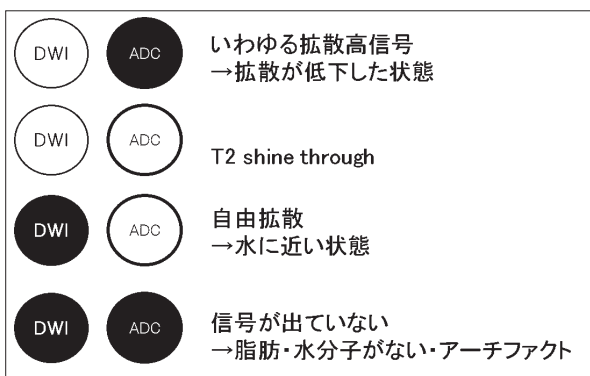
## ADC ってなに？

ADC とは Apparent Diffusion Coefficient の略であり、日本語にすると「見かけの拡散係数」と呼ばれる。これは拡散強調画像で評価したターゲット内の水分子の拡散の度合いを定量評価したものであり、数値としてあらわされる。なお、単位は  $\times 10^{-3}$  (mm<sup>2</sup>/s) で表現されることが多い。ADC を考察する上で注目してもらいたいのは「見かけの」という言葉である。単に拡散係数といわずに「見かけの」という枕詞を付けるのはあくまでターゲット内の水分子の拡散の度合いの近似値を算出していることにはかならない。近似値とはいえ、拡散の多寡を類推する上では大いに参考になるわけであるが、ADC 値を絶対値として評価することにはあまり意味はないことは注意していただきたい。

さて、ADC は  $bADC = -\ln(S/S_0)$  という公式を用いて計算される。ここで S は高い b factor での信号強度であり、S<sub>0</sub> は b=0 での信号強度である。このため、ADC を算出するためには b=0 image を撮る必要が生じるのである。なお、拡散強調画像を撮像すると通常セットとして付随する ADC map 画像はすべてのピクセルにおいて ADC を MRI 装置で自動的に計算し、その値の大小を白黒で表現したものである。

## 実際の読影はどうするの？

拡散強調画像における実際の読影は高い b factor の拡散強調画像（この項では DWI と表記）での信号強度と ADC map の信号強度の組み合わせでターゲット内の状態を類推することが多い。この組み合わせは (DWI, ADC map) = (高信号, 低信号), (高信号, 高信号), (低信号, 低信号), (低信号, 高信号) の四パターンが考えられる (図 4)。



【図 4】高 b factor での拡散強調画像と ADC map における信号パターンと考え方の一覧。

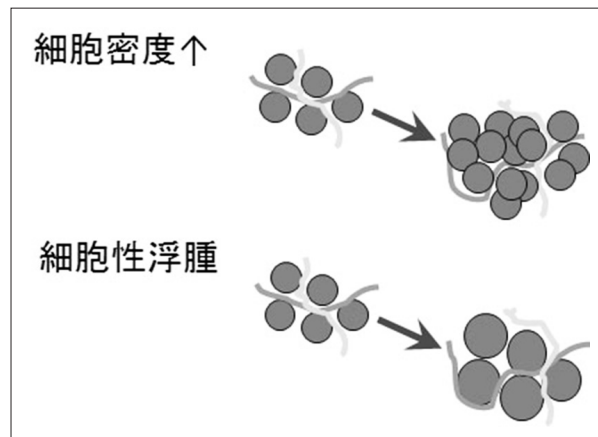
### ① DWI 高信号, ADC map 低信号 (図 5)

この組み合わせのとき、内部の水分子の拡散が低下している状態、すなわち拡散制限状態を意味する。なんの断りもなく、拡散強調画像にて高信号と言及される場合はこの組み合わせである。

- 充実性成分においてこの組み合わせを示した場合：充実性腫瘍の内部にはどこにでも水分子は存在するのであるが、水分

子が多く存在し、拡散強調画像への影響が特に強いのは細胞外スペースである。このため、細胞外スペースが狭くなると、拡散が低下するため、細胞外スペースが狭くなった状態を想起すればよい。具体的には、細胞が増えてしまい、細胞外スペースが狭くなった状態（腫瘍や炎症など）や一つ一つの細胞が腫大した（細胞性浮腫）ために細胞と細胞の間のスペースが狭くなった状態（急性期脳梗塞など）である (図 6)。

- 嚢胞性病変においてこの組み合わせを示した場合：自由水に比べて、水分子が自



【図 6】細胞密度の上昇あるいは細胞性浮腫の存在はいずれも細胞と細胞の間のスペースの狭小化という結果をもたらす。この細胞間スペースに多く存在する水分子の拡散能の低下につながる。病的な細胞密度上昇として、腫瘍細胞や炎症細胞の増生を考慮すると腫瘍や炎症時に拡散強調像で異常信号がでることが理解しやすい。一方、細胞性浮腫の代表疾患は急性期脳梗塞である。



【図 5】70 歳台男性、前立腺癌。

- (1) T2 強調画像では前立腺内腺領域に均一な低信号病変が見られるが、慣れていないと癌の focus の指摘は難しいと思われる。
- (2) 高 b factor の拡散強調画像では内腺正中～左側に高信号が見られる。T2 強調画像に比べて、病変のコントラストが明瞭である。
- (3) (2) での高信号に一致して ADC map で低信号が広がり、拡散低下した病変が潜在していることが示唆され、状況から前立腺癌が疑われる。

由に動けない粘稠な液体（膿瘍や粘液性腫瘍、出血など）を示唆する。

② DWI 高信号, ADC map 高信号 (図 7)

この組み合わせは“T2 shine through”と呼ばれる。拡散強調画像は前述したとおり、T2 や perfusion の影響を受ける。通常十分に高い b factor の拡散強調画像を撮像すると、T2 の影響は薄れるのだが、まれにこれ

らの影響が残ってしまい、高い b factor の拡散強調画像でも拡散以外の要素による高信号が残ってしまうことがあり、これが T2 shine through と呼称される現象であるが、拡散制限状態と勘違いしないことが肝要である。

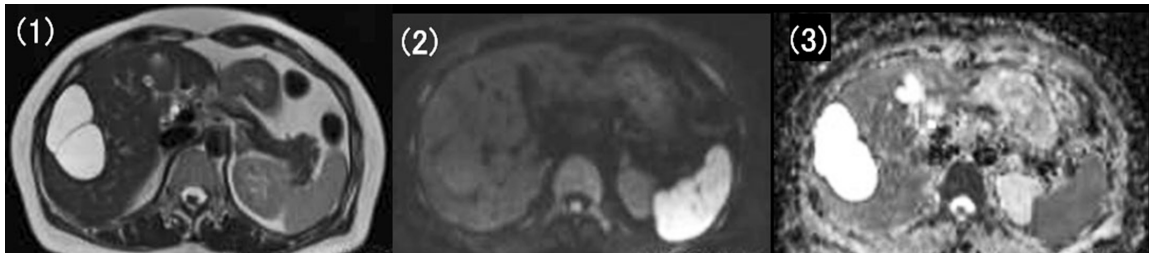
③ DWI 低信号・ADC map 高信号 (図 8)

これは拡散制限されている状態 (①) の真



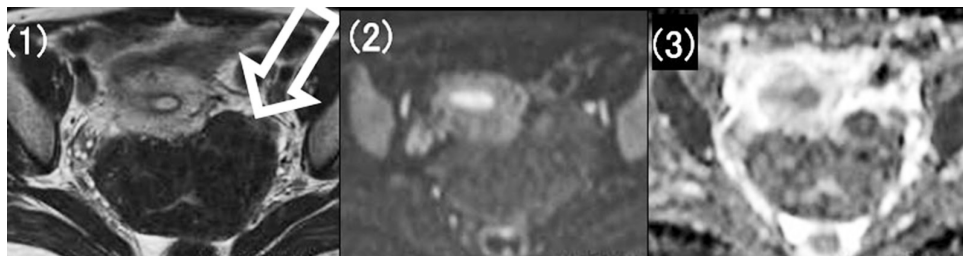
【図 7】70 歳台女性. 左手関節のガングリオン.

- (1) T2 強調画像では手関節の尺側に均一な高信号が見られ、嚢胞性病変であることが示唆される。
- (2) 高 b factor の拡散強調画像では T2 強調画像での異常信号に一致して、均一な高信号が認められる。
- (3) (1), (2) での高信号に一致して ADC map においても高信号が見られることから、拡散強調画像での信号上昇は拡散が低下した結果ではなく、T2 の影響が残ったことによるもの (T2 shine through) と判断できる。



【図 8】50 歳台女性. 肝嚢胞.

- (1) T2 強調画像では肝右葉に均一な高信号を示す腫瘍性病変が見られ、嚢胞性病変であることが示唆される。
- (2) 高 b factor の拡散強調画像では病変部の信号上昇は見られない。
- (3) T2 強調画像での高信号に一致して ADC map においても高信号が見られることから、拡散制限はない状態であり、自由水の状態であることが予想される。



【図 9】30 歳台女性. 子宮筋腫.

- (1) T2 強調画像では子宮背側に概ね均一な低信号を示す境界明瞭な腫瘤があり (矢印)、漿膜下子宮筋腫と考えられる。
- (2) 高 b factor の拡散強調画像では子宮筋腫の信号上昇は見られない。
- (3) ADC map においても筋腫内の信号は低い。この信号パターンは近傍の筋肉と同等であることに注目していただければ、筋線維が密に存在し水分子が少ない筋肉と同程度に水分子が枯渇している病変であることが示唆される。なお、子宮筋腫の拡散強調画像での信号パターンは様々であるので、「この筋腫は水分子がかなり少ない平滑筋成分の多い筋腫ではないかと類推できる」という解釈が望ましいと思われる。なお、筋肉の外側にある皮下脂肪も拡散強調画像・ADC map とともに信号低下を示している点に注意されたい。

逆であり、自由拡散状態 = 水に近い状態と考えられる。

④ DWI 低信号・ADC map 低信号 (図9)

この状態は信号が出ていない状態と解釈すればよい。つまり、信号の担い手である水分子がない状態や脂肪 (通常拡散強調画像は脂肪抑制をかけるため)、アーチファクトといった状態が候補となる。このうち、水分子がない状態として、例えば fibroma や dense な石灰化などが挙げられるが、これらは T2 強調画像や CT 画像などほかの画像を参照しながら、統合的に診断を進める必要がある。

## 終わりに

駆け足であるが、拡散強調画像の基本的な項目を概説した。拡散強調画像は CT や T2, T1 強調画像に比べると、空間分解能が低く、病変の形態診断としての情報は少ない。ただし、従来の画像では得られない新たな機能画像としての付加情報を我々に供与してくれる。このユニークな画像をぜひうまく使いこなして、明日からの診療に役立てていただければ幸甚である。