

拡散強調画像における撮像パラメータが SNR, CNR および ADC 測定精度に与える影響 [大会長賞記録]

尾崎正則^{1~4}, 佐藤真由美³, 宮地利明^{2,4}, 小倉明夫⁴,
室伊三男⁴, 田村隆行⁴, 高橋光幸⁴, 土井 司⁴,
丹治 一⁴, 高橋順士⁴, 滝澤 修⁴

¹北里大学医療衛生学部医療工学科 ³同病院放射線部

²金沢大学大学院医学系研究科保健学専攻

⁴日本放射線技術学会 ADC 測定精度に関する研究班

はじめに

Magnetic resonance imaging (MRI) 検査において頭部や躯幹部の拡散強調画像 (diffusion weighted imaging: DWI) の臨床応用が急速に広がり, 急性期脳梗塞の評価や悪性腫瘍の検出などに盛んに行われている^{1)~5)}. また, DWI から得られた信号よりみかけの拡散係数 (apparent diffusion coefficient: ADC) が算出可能である. ADC 値は DWI による画像診断と比べ定量的な評価が可能になるため ADC 値による悪性腫瘍の鑑別診断などの研究論文が散見される^{6~11)}. 近年では非常に高い b 値を用いて撮像する機会が増えており, 特に躯幹部では信号雑音比 (signal-to-noise ratio: SNR), コントラスト雑音比 (contrast-to-noise ratio: CNR) の維持が難しい. ADC 値の算出方法には 2 点法と多点法が存在する. どちらの算出方法もそれぞれ利点, 欠点が存在するが, 現在は撮像時間が短く, 簡便な 2 点法が主流になっている. 2 点法における ADC 値は,

$$\text{ADC values} = -\ln(SI_{(b1)}/SI_{(b2)})/(b1 - b2) \dots\dots(1)$$

上記式(1)より算出される.

ADC 値算出には異なる複数の b 値から得られた信号強度より算出されるため, SNR に影響を与える撮像パラメータが ADC 値の測定に影響を与える可能性がある. したがって, 撮像条件を最適化する上で SNR に関する撮像パラメータについて把握しておくことが重要である. そこで今回, DWI における撮像パラメータが SNR, CNR および ADC 測定精度に与える影響について再考した.

方 法

MRI 装置は SIGNA HDxt 1.5T ver15.0 (GE Healthcare 社製, Milwaukee), 受信コイルは送受信型 QD HEAD コイルを用いた. 撮像パルスシーケンスは spin-echo 型 single-shot echo-planar imaging 法を用いた. 使用したファントムは 20 wt% スクロース + 10 wt% ゼラチンゲル (phantom 1), 17 wt% スクロース + 10 wt% ゼラチンゲル (phantom 2) である. 基本撮像パラメータは TR 10000 ms, TE 138 ~ 152 ms, 受信バンド幅 ± 250 kHz, 撮像視野 30 cm, スライス厚 5 mm, マトリックス数

キーワード magnetic resonance imaging (MRI), diffusion weighted imaging (DWI), apparent diffusion coefficient (ADC), signal-to-noise ratio, contrast-to-noise ratio

(周波数エンコード数×位相エンコード数)
128×128, b 値 0~6000 s/mm², 拡散測定時間 56.2 ms である。

基本撮像パラメータに対して SNR に直接影響を与える撮像パラメータのうち加算回数を 1, 4, 16, スライス厚を 2.5 mm, 5 mm, 10 mm, 撮像視野を 21.2 cm, 30 cm, 42.4 cm, マトリックス数を 64×64, 128×128, 256×256 に各々変化させて撮像を行い, ファントムの信号強度, 標準偏差 (standard deviation : SD), バックグラウンドの信号強度, SD を測定し, SNR, CNR はそれぞれ式(2), (3)より, ADC 値を(1)より算出した. SNR の測定には phantom 1 を用いた.

$$SNR = ((4 - \pi) / 2)^{1/2} \times SI_{(phantom\ 1)} / SD_{air} \dots (2)$$

$$CNR = ((4 - \pi) / 2)^{1/2} \times |((SI_{(phantom\ 1)} - SI_{(phantom\ 2)}) / SD_{air}) \dots (3)$$

SI_{(phantom (n))}: 各 b 値におけるファントムの ROI 内信号強度の平均値

SD_{air}: 各 b 値における画像の四隅のバックグラウンド測定 ROI 内の標準偏差の平均値

結 果

各撮像パラメータを変化させた場合の SNR の変化を Fig. 1 に示す. 加算回数および, マトリックス数, スライス厚, 撮像視野などボックスサイズを大きくすることで SNR は向上した. 各撮像パラメータを変化させた場合の CNR の変化を Fig. 2 に示す. マトリックス数, スライス厚, 撮像視野を変化させた場合, SNR の上昇に伴い CNR が向上した. しかし, 加算回数を変化させた場合, CNR は高い SNR を維持できる低い b 値で他のパラメータ同様に向上するものの, SNR が低くなる高い

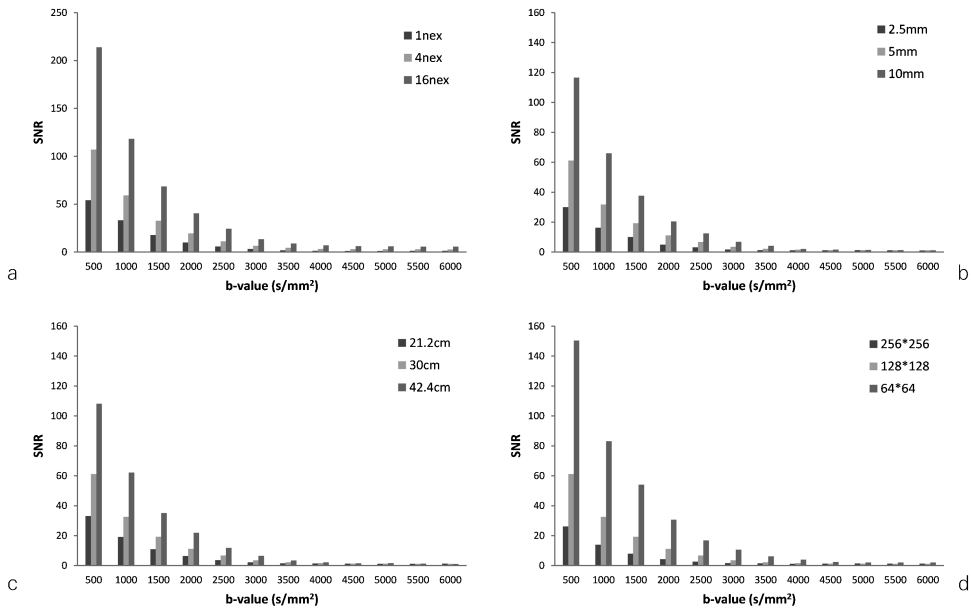


Fig. 1. Relationship between b-values and SNR when imaging parameters are changed. (a) when number of excitations (NEX) is changed, (b) when slice thickness is changed, (c) when FOV is changed, (d) when number of matrix is changed.

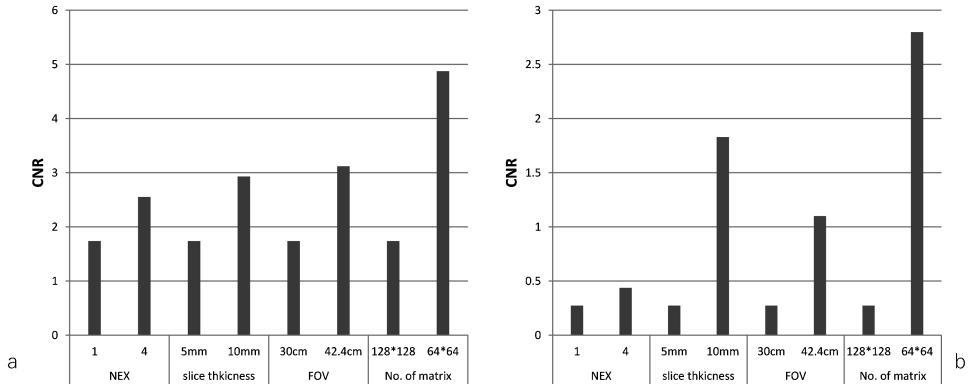


Fig. 2. Comparison of the CNR by the state of high SNR and low SNR. (a) CNR when imaging parameters are changed in high SNR (SNR 54.13, b-value 500 s/mm²), (b) CNR when imaging parameters is changed in low SNR (SNR 1.348, b-value 4000 s/mm²).

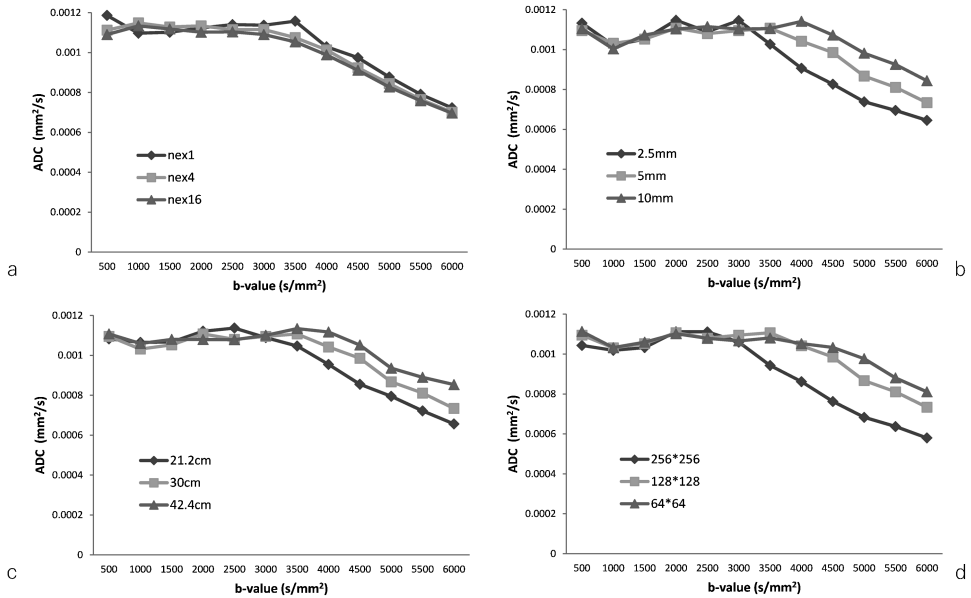


Fig. 3. Relationship between b-values and ADC values when imaging parameters are changed. (a) when number of excitation (NEX) is changed, (b) when slice thickness is changed, (c) when FOV is changed, (d) when number of matrix is changed.

b 値ではわずかに向上する程度であった。各撮像パラメータを変化させた場合の ADC 値の変化を Fig. 3 に示す。マトリックス数、スライス厚、撮像視野などボクセルサイズを大きくすることで、より高い b 値まで安定した ADC 値

が測定可能であった (Fig. 3b, c, d)。しかし、加算回数を変化させた場合、ADC 測定精度にほとんど影響を与えなかった (Fig. 3a)。

考 察

SNR は加算回数および、マトリックス数、スライス厚、撮像視野などボクセルサイズを大きくすることで向上したが、CNR, ADC 測定精度は、加算回数を大きくすることによる向上が認められなかった。通常の MRI における画像加算処理は k-space で行う。MRI の雑音は k-space 上では平均 0 で分散 σ をもつガウス分布を示すが、絶対値演算を行うために実画像上では平均 0 以上のレイリー分布を示す。その結果、通常の MRI では加算回数を増やすことにより k-space 上で雑音成分の標準偏差が小さくなり、絶対値演算された実画像でのバックグラウンドの信号強度も小さくなる。しかし、DWI の場合、k-space での加算処理は拡散のランダム性を平均化してしまうため、絶対値演算後の実画像において画像加算を行う。その結果、信号の平均値が 0 以上の値をもつバックグラウンドの標準偏差は低くなるが信号強度の平均値自体は変化しない。これはバックグラウンドレベルに埋もれている信号強度の低い被写体は、加算回数を大きくすることによって描出することができないことを意味する。したがって、SNR は向上するものの CNR や ADC 値測定精度は向上しない結果になったと考えられた。

DWI では、加算回数を上げることにより SNR は向上するが、高い b 値を用いた撮像や、高空間分解能な撮像のような SNR が低下してしまいバックグラウンドに対象物が埋もれてしまうような条件下での CNR や ADC 測定精度を向上することができないことが解明された。

結 語

DWI では、加算回数を上げることにより SNR は向上するが、低 SNR 下での CNR や ADC 測定精度を向上することができないこと

が確認できた。なお、本研究内容の一部は平成 20・21 年度日本放射線技術学会、学術委員会調査研究班（MRI の ADC 値測定精度に関する研究班）での検討をまとめたものであり、日本放射線技術学会誌に掲載済み¹²⁾である。

文 献

- 1) Bammer R, Keeling SL, Augustin M, et al. : Improved diffusion-weight single-shot echo-planar imaging (EPI) in stroke using sensitivity encoding (SENSE). *Magn Reson Med* 2001 ; 46 : 548-554
- 2) Takahara T, Imai Y, Yamashita T, et al. : 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) Warach S, Gaa J, Siewert B, Wielopolski P, Edelman RR : Acute human stroke studied by whole brain echo planar diffusion-weighted magnetic resonance imaging. *Ann Neurol* 1995 ; 37 : 231-241
- 4) Ichikawa T, Haradome H, Hachiya J, et al. : Diffusion-weighted MR imaging with a single-shot echoplaner sequence ; detection and characterization of focal hepatic lesions. *AJR Am J Roentgenol* 1998 ; 170 : 394-402
- 5) Nasu K, Kuroki Y, Nawano S, et al. : Hepatic mrtastases : diffusion weighted sensitivity-encoding versus SPIO-enhanced MR imaging. *Radiology* 2006 ; 239 : 122-130
- 6) Woodhams R, Matsunaga K, Kan S, et al. : ADC mapping of benign and malignant breast tumors. *Magn Reson Med Sci* 2005 ; 4 : 35-42
- 7) Moteki T, Ishizuka H : Diffusion-weighted EPI of cystic ovarian lesions : evaluation of cystic contents using apparent diffusion coefficients. *J Magn Reson Imaging* 2000 ; 12 : 1014-1019
- 8) Sato C, Naganawa S, Nakamura T, et al. : Differentiation of noncancerous tissue and cancer lesions by apparent diffusion coefficient values in transition and peripheral zone of the prostate. *J Magn Reson Imaging* 2005 ; 21 : 258-262

- 9) Yoshikawa T, Kawamitsu H, Mitchell DG, et al. : ADC measurement of abdominal organs and lesions using parallel imaging technique. *AJR Am J Roentgenol* 2006 ; 187 : 1522-1530
- 10) Nakayama T, Yoshimitsu K, Irie H, et al. : Diffusion-weighted echo-planar MR imaging and ADC mapping in the differential diagnosis of ovarian cystic masses : usefulness of detecting keratinoid substances in mature cystic teratomas. *J Magn Reson Imaging* 2005 ; 22 : 271-278
- 11) Eida S, Sumi M, Sakihama N, et al. : Apparent diffusion coefficient mapping of salivary gland tumors : prediction of the benignancy and malignancy. *AJNR Am J Neuroradiol* 2007 ; 28 : 116-121
- 12) 尾崎正則, 小倉明夫, 室 伊三男, 他 : 撮像パラメータが ADC 測定に与える影響について. *日放技学誌* 2010 ; 66 : 1178-1185

**Effects of Imaging Parameters Used for Diffusion-weighted Imaging
on Signal-to-Noise Ratio, Contrast-to-Noise Ratio, and Accuracy
of Apparent Diffusion Coefficient Measurements
[Presidential Award Proceedings]**

Masanori OZAKI¹⁻⁴, Mayumi SATO³, Tosiaki MIYATI^{2,4},
Akio OGURA⁴, Isao MURO⁴, Takayuki TAMURA⁴,
Mitsuyuki TAKAHASHI⁴, Tsukasa DOI⁴, Hajime TANJI⁴,
Junji TAKAHASHI⁴, Osamu TAKIZAWA⁴

¹*School of Allied Health Sciences, Kitasato University
1-15-1 Kitasato, Minamiku, Sagamihara, Kanagawa 252-0373*

²*Graduate School of Medical Science, Kanazawa University*

³*Department of Radiology, Kitasato University Hospital*

⁴*Research group about the accuracy of ADC measurements, Japanese Society of Radiological Technology*

Diffusion-weighted imaging (DWI) has been clinically applied to whole body examinations. Signals obtained from DWI can be used to estimate apparent diffusion coefficients (ADCs). The ability to obtain DWI using very high b-values has recently improved, but the signal-to-noise ratio (SNR) and contrast-to-noise ratio (CNR) have become difficult to maintain at certain levels. To optimize the imaging parameters, it is important to understand the imaging parameters related to SNR. This study investigated the effects of imaging parameters used for DWI on the SNR and CNR and the accuracy of ADC measurements. Increasing the voxel size was found to improve the SNR and CNR at any b-value. A stable ADC could be measured at very high b-values. When the number of excitations was changed, the SNR was improved at any b-value. Although the CNR was improved at low b-values, similar to other parameters, it was only slightly improved at high b-values. A change in the number of excitations had little effect on the accuracy of the ADC measurement. In DWI, only magnitude images were added to secure randomness of the diffusion. Therefore, because the signal intensity of the background noise did not change even when magnitude images were added, the accuracy of the CNR and of ADC measurements under low SNR was not improved.