臨床技術

論文受付
2019年1月8日

論文受理
2019年7月16日

Code Nos. 200

261

脂肪抑制法の inversion time が ADC 測定へ与える影響

郡 倫一^{1,2} 加藤崇英¹ 倉田和馬¹

¹ 小牧市民病院放射線科

² 金沢大学大学院医学系研究科

緒言

Magnetic resonance imaging (MRI)において、急性期脳梗塞や悪性腫瘍などで diffusion-weighted image (DWI)の有用性が報告されている。^{1~5)} また、DWI から得られる二つ以上の異なる b 値の信号より見かけの拡散係数である apparent diffusion coefficient (ADC)値が算出可能であり、この ADC 値を用いて、近年脳腫瘍、乳がん、膵がん、前立腺がん、唾液腺腫瘍などさまざまな悪性腫瘍などの病変で ADC 値の有用性が報告されている^{6~11)}。

過去の報告で、b 値の違いによる影響¹²⁾、MPG の印加方法の違いによる影響¹³⁾、傾斜磁場変動による振動

の影響¹⁴⁾、呼吸の影響¹⁵⁾、repetition time (TR)、echo time (TE)¹⁶⁾、field of view (FOV)、加算回数、マトリクス数、スライス厚^{17,18)}、脂肪抑制法¹⁹⁾ が ADC 値に影響を与えるという報告や、short-TI inversion recovery (STIR)併用 DWI 法(以下、STIR-DWI 法)などを用いても肝臓腫瘍において造影剤投与後でも ADC 値への影響は認められなかったという報告¹⁹⁾ や、頭部においては影響があったなどと報告^{20,21)} されているが、inversion time (TI)の違いが ADC 値に与える影響に関しては報告されておらず、STIR-DWI 法や spectral attenuated inversion recovery (SPAIR)併用 DWI 法(以下、SPAIR-DWI 法)の TI 値によって DWI の信号

Influence of Inversion Time of Fat Suppression Methods on Measurement of Apparent Diffusion Coefficient

Norikazu Koori,^{1,2*} Takahide Kato,¹ and Kazuma Kurata¹

¹ Department of Radiology, Komaki City Hospital

² Graduate School of Medical Science, Kanazawa University

Received January 8, 2019; Revision accepted July 16, 2019

Code Nos. 200, 261

Summary

Recently, tumor differentiation in various tissues has been performed by using the apparent diffusion coefficient (ADC) value. However, the influence of ADC value due to the different inversion time (TI) of fat suppression methods has not been reported yet. Therefore, the purpose of our study was to verify the influence of the different TI of fat suppression methods on the ADC value. ADC values were compared for diffusion-weighted imaging (DWI), using the short-TI inversion recovery (STIR) method and the spectral attenuated inversion recovery (SPAIR) method. For the STIR method, when TI was closed to the null point of each phantom, signal intensity decreased, and the ADC value thereby decreased. However, by the SPAIR method, signal intensity and ADC value were not affected by the inversion time. When using the STIR method, signal intensity decreased when the null point for each phantom was approached, which was thought to decrease the ADC value. In conclusion, when using STIR-DWI after contrast agent administration, the ADC value might have been affected by the TI.

Key words: apparent diffusion coefficient (ADC), diffusion-weighted image (DWI), fat-suppression method, inversion time (TI), contrast agent

*Corresponding author

が変化することが考えられる。したがって、本研究の目的は造影剤投与後に DWI を撮像する場合に STIR-DWI 法や SPAIR-DWI 法の TI の設定が ADC 値に与える影響を検証することである。

1. 方 法

1-1 使用機器とファントムと撮像条件

MR 装置は GE Signa HDxt 1.5T, 受信コイルは 8ch head coil (GE health care 社) を使用した。ファントムは生理食塩水, サラダ油, 濃度の異なる希釈造影剤 2 種類の計 4 種類の試料をプラスチック容器 (直径 35 mm の容積 20 ml の円形容器) にそれぞれ封入し, 更に磁化率の影響を軽減させる目的で周囲を水道水 + 寒天 (かんてんクック顆粒: 伊那食品工業株式会社) を 2 wt% 使用しファントム周囲を囲い, 容器 (直径 150 mm) に固定した。造影剤は gadobutrol (Gadovist[®]: バイエル薬品株式会社) を使用し, 希釈造影剤のファントムに使用した造影剤濃度は 1.0 mmol/L と 0.5 mmol/L を使用した。ファントム材料とその T_1 値, T_2 値, ファントムの配置, region of interest (ROI) の配置方法を Fig. 1, Table に示す。また, ADC 値は温度によって変化するのでファントム作成後 24 時間以上撮像室内で放置し, 温度が一定の条件で撮像した。室温は 25°C で一定であった。

パルスシーケンスは 3 軸別印加法の spin echo 型 single-shot echo-planar imaging 法 (SE-DWI) で, b 値は 0 と 1000 s/mm² を用いた。その他の撮像パラメータに関しては, TR=4000 ms, TE=83.4 ms, band width (Bw)=±250 kHz, FOV=250 mm, スライス厚=5 mm, matrix=128×128, number of excitations (NEX)=2, 歪みによる ADC 値への影響を減らす目的でパラレルイメージングである array spatial sensitivity encoding technique (ASSET) を用い, ASSET factor=2.0 とした。各撮像において, 送受信の gain や中心周波数は一定とした。

1-2 ADC 値の算出方法

各ファントムに直径 20 mm の円形 ROI を配置し, その信号強度より ADC 値を算出した。以下に算出式を示す。

$$ADC\ value = \ln (S_2/S_1) / (b_1 - b_2)$$

ここで, S_1 =b 値が 1000 s/mm² における信号強度,
 S_2 =b 値が 0 s/mm² の信号強度

b_1 =1000 s/mm², b_2 =0 s/mm² とした。

Fig. 1 Figure of the phantom structure and ROI setting method.

Table The phantom structure of Fig. 1

Phantom	T_1 value (ms)	T_2 value (ms)
A Diluted contrast agent ①	170	161
B Diluted contrast agent ②	264	223
C Saline	2171	2120
D Salad oil	197	95

1-3 TI の変化による ADC 値への影響

STIR-DWI 法では 50–400 ms まで 10 ms ずつ, SPAIR-DWI 法は 100–200 ms まで 10 ms ずつ TI を変化させながら 5 回撮像し, 各ファントムの信号強度を測定し, ADC 値を算出した。またその標準偏差をエラーバーで示した。

2. 結 果

ADC 値と測定した b =1000 s/mm² 画像における信号強度を Fig. 2–4 に示した。図は平均値と標準偏差をエラーバーで示した。STIR-DWI 法で TI を可変した場合の T_1 値=170 ms の希釈造影剤ファントムの場合での TI 値の変化は 130 ms 付近で最も信号強度と ADC 値が低下した (Fig. 2)。 T_1 値=264 ms の希釈造影剤ファントムでは 180 ms 付近で最も信号強度と ADC 値が低下した (Fig. 3)。生理食塩水ファントムの場合では TI の増加とともに信号強度は低下したが, すべての TI ではほぼ一定の ADC 値を示した。SPAIR-DWI 法で TI を可変した場合の信号強度と ADC 値は三つのファントムにおいてほぼ一定の値を示した (Fig. 4)。

なお, SPAIR 法は共鳴周波数選択的パルスのため脂肪の共鳴周波数に一致しないと脂肪抑制がかからないため, 本研究においてはファントムで使用したサラダ油を用いて脂肪の TI 付近に一致した場合に脂肪抑制効果を示していることを確認した。

Fig. 2 Influence of ADC value on TI change (T_1 value of diluted contrast agent=170 ms).

Fig. 3 Influence of ADC value on TI change (T_1 value of diluted contrast agent=264 ms).

Fig. 4 Influence of ADC value on TI change (saline).

3. 考 察

Figure 2, 3 に示すように STIR-DWI 法の場合の ADC 値は T_1 値=170 ms の希釈造影剤ファントムの場合では 130 ms 付近で, T_1 値=264 ms の希釈造影剤ファントムの場合では 180 ms 付近で最も ADC 値が低下し, 標準偏差の変動も大きかった. これは ADC 値が, 2 点以上の b 値の信号強度より算出するため, STIR-DWI 法の TI が希釈造影剤ファントムの null point に近づき信号強度が低下した結果, ADC 値が低値を示したと考えられる. また, これは T_1 値から算出できる null point の値に一致する結果になった. しかし, $b=1000 \text{ s/mm}^2$ 画像の信号強度は null point の TI 値周囲では ADC 値が低下したが, 信号強度の低下のカーブと ADC 値の低下のカーブは一致しなかった. これは null point の TI 値に一致すると信号強度が大幅に低下することに起因していると考えられる. よって, TI の設定が測定対象物の null point に完全に一致せず近似する値であれば信号強度がある程度以上保たれるために ADC 値は変化しにくかったと考えら

れる.

生理食塩水ファントムの ADC 値はすべての TI 値でほとんど変化せず一定の値を示した. これは生理食塩水ファントムでは本研究で使用した TI の範囲では null point にならず, 影響がなかったと考えられる. また, TI の延長とともに信号強度が低下したが, ADC 値の変化はほとんどなかった理由は前述のように生理食塩水ファントムの信号強度が高くバックグラウンドノイズレベル以下にならなかったため ADC 値への影響は皆無だったと考えられる. しかし, STIR-DWI 法は原理的に他の脂肪抑制法併用 DWI より信号強度が低下しやすいため, パラメータの設定が低 signal-to-noise ratio (SNR) 下では影響を受けやすい可能性があるため注意が必要である.

SPAIR-DWI 法の場合はすべてのファントムにおいて TI が変化しても信号強度と ADC 値はほぼ一定の値を示した. これは SPAIR が原理的に共鳴周波数選択的パルスのため脂肪の共鳴周波数に一致しない物質に対する信号抑制効果がないため信号強度と ADC 値への影響がなかったと考えられる.

以上のことから造影剤投与後に DWI を撮影する場合は STIR 法を用いずに共鳴周波数選択的脂肪抑制併用 DWI で撮像したほうがよいと考えられる. 特に肝臓などに頻用されるガドキセト酸ナトリウム (EOB・プリモビスト[®]; バイエル薬品株式会社) を使用した造影の場合, 検査時間の短縮目的に造影剤投与後に DWI を撮像することが一般的になっているが, 本研究の結果からは造影剤投与後に STIR-DWI 法を撮像する場合に特に注意が必要であると思われるが, 過去の報告では肝臓腫瘍において造影剤投与後でも ADC 値への影響は認められなかったという報告¹⁹⁾ されている. また, 一般的に Hepatocellular carcinoma

(HCC)等の肝臓腫瘍は造影剤の取り込みはないとされているが胆汁産生性肝細胞がん (green hepatoma) 等はEOB造影剤を取り込むことが知られており、TIの違いがADC値に影響を与える可能性は否定できない。そのため造影後に脂肪の T_1 値に近くなる組織や、腺腫や奇形腫などの脂肪を含む腫瘍のADC値を測定する場合には、TIの影響を受ける可能性があるためSTIR-DWI法の使用には注意が必要である。

リミテーションとして本研究はファントム実験であるため、EOB造影剤を臨床で使用した場合に肝腫瘍の T_1 値が脂肪の T_1 値に近似するような希釈濃度になるかなどの検討は行っていないため、実臨床での影響は不明である。

4. 結 語

造影後にDWIを撮像する場合、STIR-DWIの脂肪抑制法のTIの設定によって、造影剤を含む物質のADC値に影響を及ぼす可能性が示唆された。

謝 辞

本論文の要旨は第75回放射線技術学会総合学術大会(2019年、横浜)で発表した。

利益相反

筆頭著者および共著者全員が開示すべき利益相反はない。

参考文献

- 1) Bammer R, Keeling SL, Augustin M, et al. Improved diffusion-weighted single-shot echo-planar imaging (EPI) in stroke using sensitivity encoding (SENSE). *Magn Reson Med* 2001; 46(3): 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(4): 275-282.
- 3) Warach S, Gaa J, Siewert B, et al. Acute human stroke studied by whole brain echo planar diffusion-weighted magnetic resonance imaging. *Ann Neurol* 1995; 37(2): 231-241.
- 4) Ichikawa T, Haradome H, Hachiya J, et al. Diffusion weighted MR imaging with a single-shot echoplanar sequence: detection and characterization of focal hepatic lesions. *AJR Am J Roentgenol* 1998; 170(2): 397-402.
- 5) Koral K, Alford R, Choudhury N, et al. Applicability of apparent diffusion coefficient ratios in preoperative diagnosis of common pediatric cerebellar tumors across two institutions. *Neuroradiology* 2014; 56(9): 781-788.
- 6) Moritani T, Ekholm S, Westesson LA, et al. Diffusion-weighted MR imaging of the brain, 2nd ed. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2009.
- 7) Woodhams R, Matsunaga K, Iwabuchi K, et al. Diffusion-weighted imaging of malignant breast tumors: the usefulness of apparent diffusion coefficient (ADC) value and ADC map for the detection of malignant breast tumors and evaluation of cancer extension. *J Comput Assist Tomogr* 2005; 29(5): 644-649.
- 8) 本杉宇太郎, 市川智章, 荒木 力. 脾疾患におけるMR拡散強調像: 有用性, 限界と新たな展開. *脾臓* 2011; 26(1): 72-78.
- 9) Kiliçkesmez O, Cimilli T, Inci E, et al. Diffusion-weighted MRI of urinary bladder and prostate cancers. *Diagn Interv Radiol* 2009; 15(2): 104-110.
- 10) Sato C, Naganawa S, Nakamura T, et al. Differentiation of noncancerous tissue and cancer lesions by apparent diffusion coefficient values in transition and peripheral zones of the prostate. *J Magn Reson Imaging* 2005; 21(3): 258-262.
- 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(1): 116-121.
- 12) 高長雅子, 林 則夫, 宮地利明, 他. 3.0 Tesla 乳腺MRIにおける拡散強調画像の b 値によるコントラストおよびADCへの影響. *日放技学誌* 2012; 68(3): 201-208.
- 13) 山口奈津美, 小倉明夫, 林 則夫, 他. 偏重MPG三軸同時印加DWIの特性とADC値. *日放技学誌* 2015; 71(7): 595-604.
- 14) 小倉明夫, 前田富美江, 宮井 明, 他. 傾斜磁場変動による振動が拡散強調画像に与える影響について. *日放技学誌* 2006; 62(4): 565-569.
- 15) 室伊三男, 高原太郎, 堀江朋彦, 他. 自由呼吸下一躯体部拡散強調画像における動きの影響について(動体ファントム実験). *日放技学誌* 2005; 61(11): 1551-1558.
- 16) Ogura A, Hayakawa K, Miyati T, et al. Imaging parameter effects in apparent diffusion coefficient determination of magnetic resonance imaging. *Eur J Radiol* 2011; 77(1): 185-188.
- 17) 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(9): 1178-1185.
- 18) 浅井歩実, 小倉明夫, 五月女華, 他. 拡散強調画像におけるスライス厚が腫瘍のADC測定に与える影響について. *日放技学誌* 2018; 74(8): 805-809.
- 19) Chiu FY, Jao JC, Chen CY, et al. Effect of intravenous gadolinium-DTPA on diffusion-weighted magnetic resonance images for evaluation of focal hepatic lesions. *J Comput Assist Tomogr* 2005; 29(2): 176-180.
- 20) Yamada K, Kubota H, Kizu O, et al. Effect of intravenous gadolinium-DTPA on diffusion-weighted images: evaluation of normal brain and infarcts. *Stroke* 2002; 33(7): 1799-1802.
- 21) Ogura A, Hayakawa K, Miyati T, et al. The effect of susceptibility of gadolinium contrast media on diffusion-weighted imaging and the apparent diffusion coefficient. *Acad Radiol* 2008; 15(7): 867-872.

問合せ先

〒485-8520 小牧市常普請1-20
小牧市民病院放射線科 郡 倫一