

子宮病変の良悪性診断における拡散尖度 MR 画像 (diffusion kurtosis imaging : DKI) の有用性の検討 [大会長賞記録]

熊谷 雄一¹, 福倉 良彦¹, 岩永 崇², 佐々木 雅史²,
吉浦 敬¹

¹鹿児島大学医歯学総合研究科放射線診断治療学分野 ²同病院放射線部

背景と目的

現在臨床で広く用いられている拡散強調 MR 画像 (diffusion weighted imaging : DWI) から得られる見かけの拡散係数 (apparent diffusion coefficient : ADC) は, 拡散は正規分布するという前提のもとで計算されている. しかしながら, 拡散 MRI の対象となる実際の生体内微細構造は極めて複雑で, 厳密に言えば生体における水分子の拡散は正規分布から逸脱しているといえる^{1)~5)}. 拡散尖度 MR 画像 (diffusion kurtosis imaging : DKI) は正規分布でない水分子の拡散状態を, 正規分布からのずれ (逸脱) を示す統計量として画像化したもので, 従来の拡散強調 MR 画像とはまったく違う理論背景による解析に基づいている⁵⁾. そのため, DKI は, 細胞内もしくは細胞外の水分子の状態を把握する新たな評価法となり得る可能性がある. 近年, 脳神経領域をはじめとして, 肝・前立腺・乳腺腫瘍に対する DKI の報告が散見されるが^{6)~11)}, 子宮病変への有用性に関しての報告はみられない.

本研究は, 子宮病変の鑑別における DKI の有用性の検討である.

対象と方法

対象は, 組織学的診断がついた子宮病変 118 症例である. 内訳は悪性腫瘍 87 例 (子宮体癌 : 49 例, 子宮頸癌 36 例, 子宮肉腫 2 例), 子宮内膜増殖症 7 例, 子宮筋腫 24 例. また, コントロール群として, 子宮摘出術が施行さ

れ, 組織学的診断に正常子宮内膜・筋層を有する 21 例を対象とした.

DKI は, 3T MRI 装置 (Ingenia; Philips Healthcare) にて, 5 つの b 値 (b = 0, 500, 1000, 1500, 2000 s/mm²) を用いて撮像した. すべての症例において, 上記 5 つの b 値を用いて Diffusivity map (D-map) と Kurtosis map (K-map) を作成した. また, 同じ DKI データから 2 つの b 値 (b = 0, 1000 s/mm²) を用いて ADC map を作成した. それぞれの症例の病変部, および正常内膜・筋層 (21 例) に関心領域 (region of interest : ROI) を置き, ADC 値, D 値および K 値を測定した. ADC 値, D 値, K 値を, 悪性腫瘍と内膜増殖症, 筋腫, 内膜, 筋層間で比較し, ROC 解析にて悪性腫瘍の診断能を検討した.

結 果

悪性腫瘍の ADC 値, D 値は内膜増殖症, 筋腫, 内膜, 筋層に比較して有意に低値を示し, 悪性腫瘍の K 値は, 有意に高値を示した (Fig. 1). ROC 解析では, 悪性腫瘍と良性病変の鑑別において, ADC 値, D 値および K 値それぞれの診断能に有意な差は認めなかった (Fig. 2).

考 察

子宮悪性腫瘍の ADC 値や D 値は, 良性病変 (内膜増殖症・筋腫) や正常組織 (内膜・筋層) と比較して有意に低値を示した. D 値は ADC

キーワード diffusion kurtosis imaging (DKI), uterus

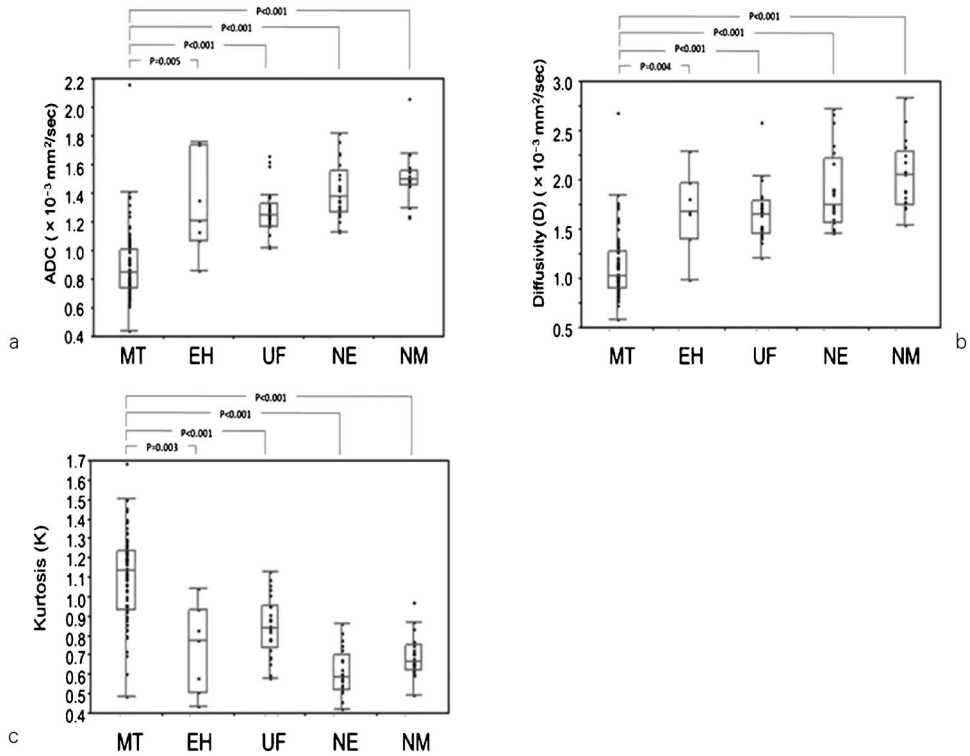


Fig. 1. Box plots of ADC, D and K for MT, EH, UF, and NM
 MT : malignant tumor, EH : endometrial hyperplasia, UF : uterine fibroid, NE : normal endometrium, NE : normal myometrium
 a) ADC of MT is significantly lower than those of EH ($p=0.005$), UF ($p<0.001$), NE ($p<0.001$) and NM ($p<0.001$).
 b) D of MT is significantly lower than those of EH ($p=0.004$), UF ($p<0.001$), NE ($p<0.001$) and NM ($p<0.001$).
 c) K of MT is significantly lower than those of EH ($p=0.003$), UF ($p<0.001$), NE ($p<0.001$) and NM ($p<0.001$).

値と同様な傾向を示すとされており、過去の報告と同様であった^{12),13)}。子宮悪性腫瘍の ADC 値と D 値は、その細胞密度の増加による拡散制限を反映し、良性病変や正常組織より低値を示したと考えられた^{12),13)}。子宮悪性腫瘍の K 値は、良性病変（内膜増殖症・筋腫）や正常組織（内膜・筋層）と比較して有意に高値を示した。前立腺や乳腺において、悪性腫瘍は良性病変よりも高い K 値を示したとの報告があり^{10),15)}、我々の子宮病変においても同様な傾向であった。K 値は組織の微細構造の複雑性を反映していると考えられており、子宮悪性腫瘍は良性病変と比較して、より不均一で複雑な

微細構造であると考えられた。

結 論

拡散尖度 MR 画像は、子宮病変の質の評価に有用である可能性が示された。

文 献

- 1) Le Bihan D: Molecular diffusion, tissue microdynamics and microstructure. NMR Biomed 1995 ; 8 : 375-386
- 2) Alexander DC, Barker GJ, Arridge SR : Detection and modeling of non-Gaussian apparent dif-

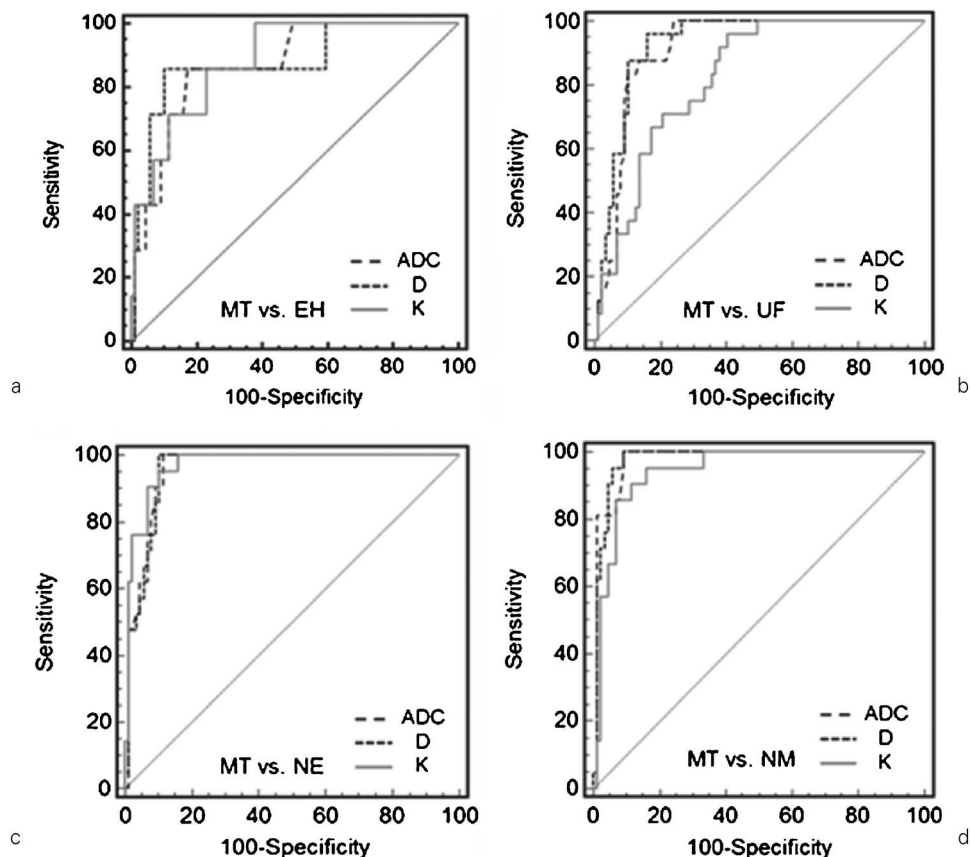


Fig. 2. AUC for diagnostic accuracy of ADC, D and K to differentiate between malignant and benign uterine lesions (EH, UF, NE and NM)

MT : malignant tumor, EH : endometrial hyperplasia, UF : uterine fibroid, NE : normal endometrium, NE : normal myometrium

a) For differentiation of MT from EH, AUCs of ADC, D and K are 0.869, 0.877 and 0.883, respectively.

b) For differentiation of MT from UF, AUCs of ADC, D and K are 0.911, 0.926 and 0.823, respectively.

c) For differentiation of MT from NE, AUCs of ADC, D and K are 0.956, 0.955 and 0.969, respectively.

d) For differentiation of MT from NM, AUCs of ADC, D and K are 0.975, 0.976 and 0.942, respectively.

- fusion coefficient profiles in human brain data. *Magn Reson Med* 2002 ; 48 : 331-340
- 3) Liu C, Bammer R, Acar B, Moseley ME : Characterizing non-Gaussian diffusion by using generalized diffusion tensors. *Magn Reson Med* 2004 ; 51 : 924-937
- 4) Assaf Y, Freidlin RZ, Rohde GK, Basser PJ : New modeling and experimental framework to characterize hindered and restricted water diffusion in brain white matter. *Magn Reson Med* 2004 ; 52 : 965-978
- 5) Jensen JH, Helpert JA, Ramani A, Lu H, Kaczynski K : Diffusional kurtosis imaging : the quantification of non-gaussian water diffusion by means of magnetic resonance imaging. *Magn*

- Reson Med* 2005 ; 53 : 1432-1440
- 6) Raab P, Hattingen E, Franz K, Zanella FE, Lanfermann H : Cerebral gliomas : diffusional kurtosis imaging analysis of microstructural differences. *Radiology* 2010 ; 254 : 876-881
- 7) Van Cauter S, Veraart J, Sijbers J, et al. : Gliomas : diffusion kurtosis MR imaging in grading. *Radiology* 2012 ; 263 : 492-501
- 8) Rosenkrantz AB, Sigmund EE, Winnick A, Niver BE, Spieler B, Morgan GR, Hajdu CH : Assessment of hepatocellular carcinoma using apparent diffusion coefficient and diffusion kurtosis indices : preliminary experience in fresh liver explants. *Magn Reson Imaging* 2012 ; 30 : 1534-1540

- 9) Rosenkrantz AB, Prabhu V, Sigmund FE, Babb JS, Deng FM, Taneja SS : Utility of diffusional kurtosis imaging as a marker of adverse pathologic outcomes among prostate cancer active surveillance candidates undergoing radical prostatectomy. *AJR Am J Roentgenol* 2013 ; 201 : 840-846
- 10) Sun K, Chen X, Chai W, et al. : Breast cancer : diffusion kurtosis MR imaging-diagnostic accuracy and correlation with clinical-pathologic factors. *Radiology* 2015 ; 277 : 46-55
- 11) Nogueira L, Brandão S, Matos E, Nunes RG, Loureiro J, Ramos I, Ferreira HA : Application of the diffusion kurtosis model for the study of breast lesions. *Eur Radiol* 2014 ; 24 : 1197-1203
- 12) Fujii S, Matsusue E, Kigawa J, et al. : Diagnostic accuracy of the apparent diffusion coefficient in differentiating benign from malignant uterine endometrial cavity lesions : initial results. *Eur Radiol* 2008 ; 18 : 384-389
- 13) Wang Q, Li H, Yan X, Wu CJ, Liu XS, Shi HB, Zhang YD : Histogram analysis of diffusion kurtosis magnetic resonance imaging in differentiation of pathologic Gleason grade of prostate cancer. *Urol Oncol* 2015 ; 33 : e15-24
- 14) Tamai K, Koyama T, Saga T, Umeoka S, Mikami Y, Fujii S, Togashi K : Diffusion-weighted MR imaging of uterine endometrial cancer. *J Magn Reson Imaging* 2007 ; 26 : 682-687
- 15) Tamura C, Shinmoto H, Soga S, Okamura T, Sato H, Okuaki T, Pang Y, Kosuda S, Kaji T : Diffusion kurtosis imaging study of prostate cancer : preliminary findings. *J Magn Reson Imaging* 2014 ; 40 : 723-729

Feasibility of Diffusion Kurtosis Imaging as a Tool for Differentiation between Benign and Malignant Uterine Lesions [Presidential Award Proceedings]

Yuichi KUMAGAE¹, Yoshihiko FUKUKURA¹, Takashi IWANAGA²,
Masashi SASAKI², Takashi YOSHIURA¹

¹*Department of Radiology, Kagoshima University Graduate School of Medical and Dental Sciences
8-35-1 Sakuragaoka, Kagoshima 890-8544*

²*Department of Radiological Technology, Kagoshima University Hospital*

This study focused on the feasibility of diffusion kurtosis imaging (DKI) for differentiating benign and malignant uterine lesions. The ADC and diffusion coefficient (D) of malignant tumor (MT) were significantly lower than those of endometrial hyperplasia (EH) ($p=0.005$ and 0.004 , respectively), uterine fibroid (UF) ($p<0.001$), normal endometrium (NE) ($p<0.001$), and normal myometrium (NM) ($p<0.001$), which indicated increased cellularity within the uterine malignant tumor that resulted in restricted water diffusion. Kurtosis coefficient (K) was significantly higher in MT than in EH ($p=0.003$), UF ($p<0.001$), NE ($p<0.001$), and NM ($p<0.001$), possibly because of the complexity of tissue microstructure in MT than in other benign lesions. DKI enables the differentiation of benign and malignant uterine lesions.