

## 転移性脳腫瘍の3T装置におけるPRESTO法を用いた ガンマナイフ治療前後の信号変化

若田 ゆき<sup>1</sup>, 石蔵 礼一<sup>1</sup>, 安藤久美子<sup>1</sup>, 高田 恵広<sup>1</sup>,  
廣田 省三<sup>1</sup>, 森 鑑二<sup>2</sup>

<sup>1</sup>兵庫医科大学病院放射線科 <sup>2</sup>同脳神経外科

### はじめに

転移性脳腫瘍は担癌患者の神経学的予後を左右する。そのため病変の数、部位、広がりをも的確に診断し、かつ治療効果判定を正確に行うことが重要である。転移性脳腫瘍の画像診断にはMRI、特に造影後のMPGR (multi-planar gradient-echo) などの3Dデータからの再構成画像が一般的に用いられている。しかし腎機能低下患者など、造影適応できない症例にもしばしば遭遇する。近年、磁化率強調像 (SWI: susceptibility-weighted imaging) などの新しい撮像法が用いられ、微小出血など  $T_2^*$  強調像に比べてより鋭敏にとらえることができるが<sup>1)~6)</sup>、PRESTO (principle of echo-shifting with a train of observation) は echo-shifting 法を用いることでTEをTRよりも長くし  $T_2^*$  強調像の高速収集を可能とした方法で、微小出血を従来の  $T_2^*$  強調像よりも鋭敏にとらえることができる。そのため、脳血管障害への応用が進んでいる<sup>7)~10)</sup>。一方、転移性脳腫瘍では、ガンマナイフにより、凝固壊死や腫瘍内血管損傷がおこるとされており、転移性脳腫瘍の治療後の変化について寄与できると考えられる。

本研究の目的は転移性脳腫瘍のガンマナイフ治療前後の3T装置でのPRESTOを用いた画

像・信号変化を検討することである。

### 対象および方法

#### 1. 対象

2007年4月から2008年8月までにガンマナイフを施行し、治療前後に3T磁化率強調像 (PRESTO) を撮像した転移性脳腫瘍、14症例41病変。

症例の原発部位は肺癌11例、腎癌1例、直腸癌1例、子宮頸癌1例で、年齢は44から80歳 (平均62歳)、男性9名、女性5名、治療から撮影までの期間は1から12月 (平均3.8か月) であった。

#### 2. 方法

MRIはPhilips社製Achieva 3T (Phillips, Best, the Netherlands) を使用し、全例で  $T_1$  強調像、 $T_2$  強調像、造影  $T_1$  強調像および3D  $T_1$ FFEを用いたPRESTOを治療前後に撮像した。PRESTOのパラメータはTR: 26 ms/TE: 37 ms/FA: 10 deg/FOV: 220 mm (RFOV 83.93%) / matrix: 224 × 188 [512 (recon)] / slice thickness: 0.8 mm/SENSE reduction factor: 1.5) で、検討には5mmに再構成したMin MIP (minimum maximum intensity projection) の横断像を用いた。

キーワード SWI, metastatic brain tumor, PRESTO, 3T, gamma knife radiosurgery

### 3. 検討項目

ガンマナイフ治療前後での腫瘍サイズの変化、腫瘍内部の“dark spots” (PRESTOでの無信号域) について2名の神経放射線科医で検討した。

サイズの変化については造影 T<sub>1</sub>強調像を標準画像とし、腫瘍最大径を計測した。

また同レベルで、腫瘍内部の“dark spots”について PRESTO 画像を用い腫瘍全体および“dark spots”の面積 (pixel 数) を計測し、その比率を算出した。また、“dark spots”の割合をその比率によりグレード分類し、治療前後で比較した (Table)。

Table. Grade of “dark spots” in metastatic brain tumor

Area of “dark spots”/Tumor area on maximum diameter (Pixels)	
Gade 0	<20%
Gade 1	20% ≤ to <40%
Gade 2	40% ≤ to <60%
Gade 3	60% ≤ to <80%
Gade 4	80% ≤

### 結 果

腫瘍サイズはガンマナイフ施行例において治療前2~25 mm (平均7.2 mm) であったのに対し、治療後1~18 mm (平均5.3 mm) と縮小していた (P<0.0001)。

“dark spots”については治療前の転移性脳腫瘍は磁化率強調像において41病変中25病変、60.98%に“dark spots”が見られた。その腫瘍内の比率は0から91.04%、平均22.40%であったのに対し、治療後には0から100%、平均71.78%となり、増大していた (P<0.0001)。グレード分類でもガンマナイフ治療前にはグレード0が27例、1が7例、2が2例、3が0例、4が5例であったのに対し治療後にはグレード0が6例、1が1例、2が7例、3が4例、4が23例であり、治療後にはグレードが上昇する傾向にあった (P<0.0001) (Fig. 1)。

統計は Wilcoxon signed-ranks test を使用した。

症例1: 72歳男性、肺癌

ガンマナイフ治療前のMRIでは右前頭葉、頭頂葉白質に増強効果を伴う病変を認め、転移性脳腫瘍と考えられた。これらは PRESTO で

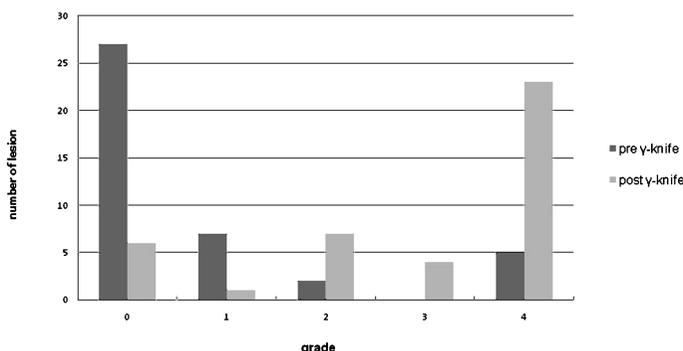


Fig. 1. The result of grading of “dark spots”. Before and after GKR.

は強い低信号域は見られなかった。ガンマナイフ治療から1か月のMRIでは右前頭葉病変はサイズ縮小していたが、増強効果は変わらない。PRESTOではいずれの病変にも低信号域

(“dark spots”)が増大が見られた (Fig. 2).

症例2: 65歳男性, 肺癌

ガンマナイフ治療前のMRIでは右後頭葉に増強効果を伴う病変を認め、転移性脳腫瘍と考

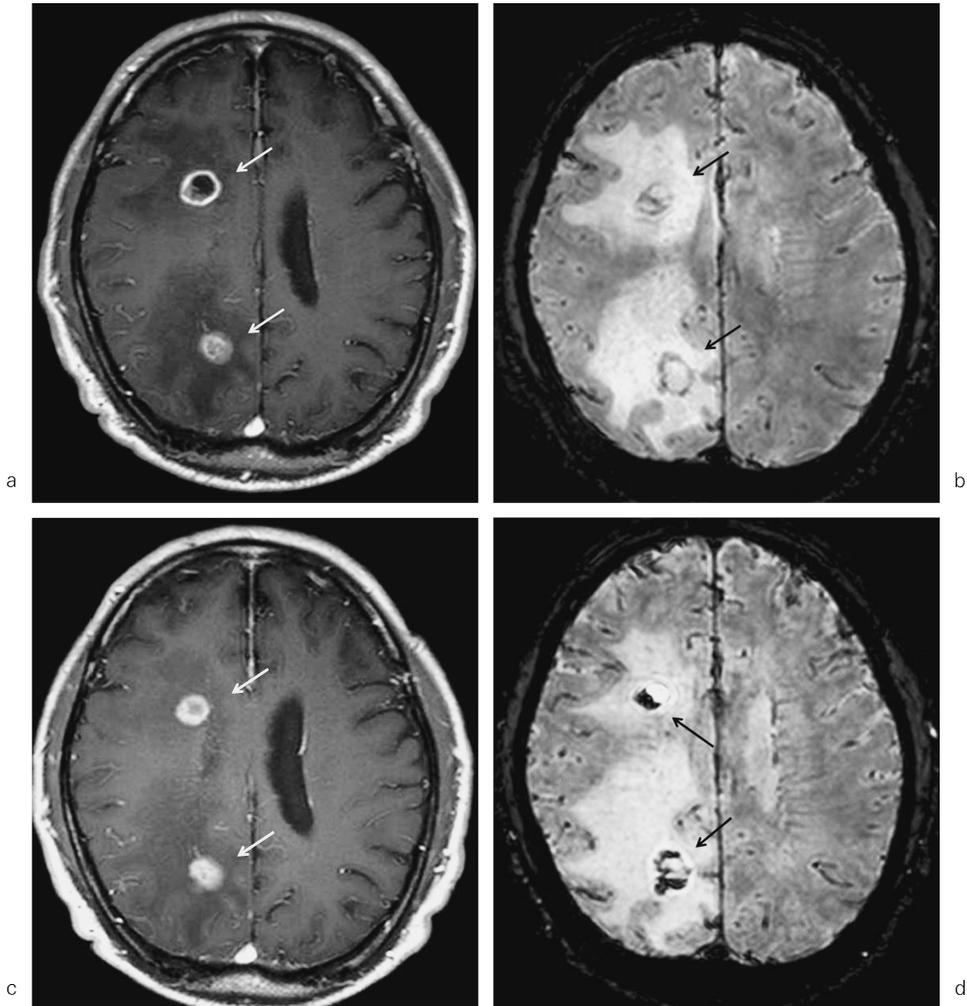


Fig. 2. 72 y.o. male. Metastatic brain tumor from lung ca. (Case 1)

a : Gd-enhanced T<sub>1</sub>-weighted image of the tumor, pre GKR. Gd-enhanced T<sub>1</sub>-weighted images shows an enhanced lesion in the right frontal and parietal white matter.

b : PRESTO image of tumor, pre GKR. PRESTO showed no significant “dark spots” (signal void area) in the tumor.

c : Gd-enhanced T<sub>1</sub>-weighted image of the tumor, post GKR. The tumor decreased in size on Gd-enhanced T<sub>1</sub>-weighted images. But there were no changes in their enhancement.

d : PRESTO image of tumor, post GKR. We could see “dark spots” increased on PRESTO.

えられた. PRESTO では強い低信号域は見られなかった. ガンマナイフ治療から6か月後のMRIでは腫瘍サイズは縮小しており,

PRESTO では強い低信号域 (“dark spots”) が著明に増大していた (Fig. 3).

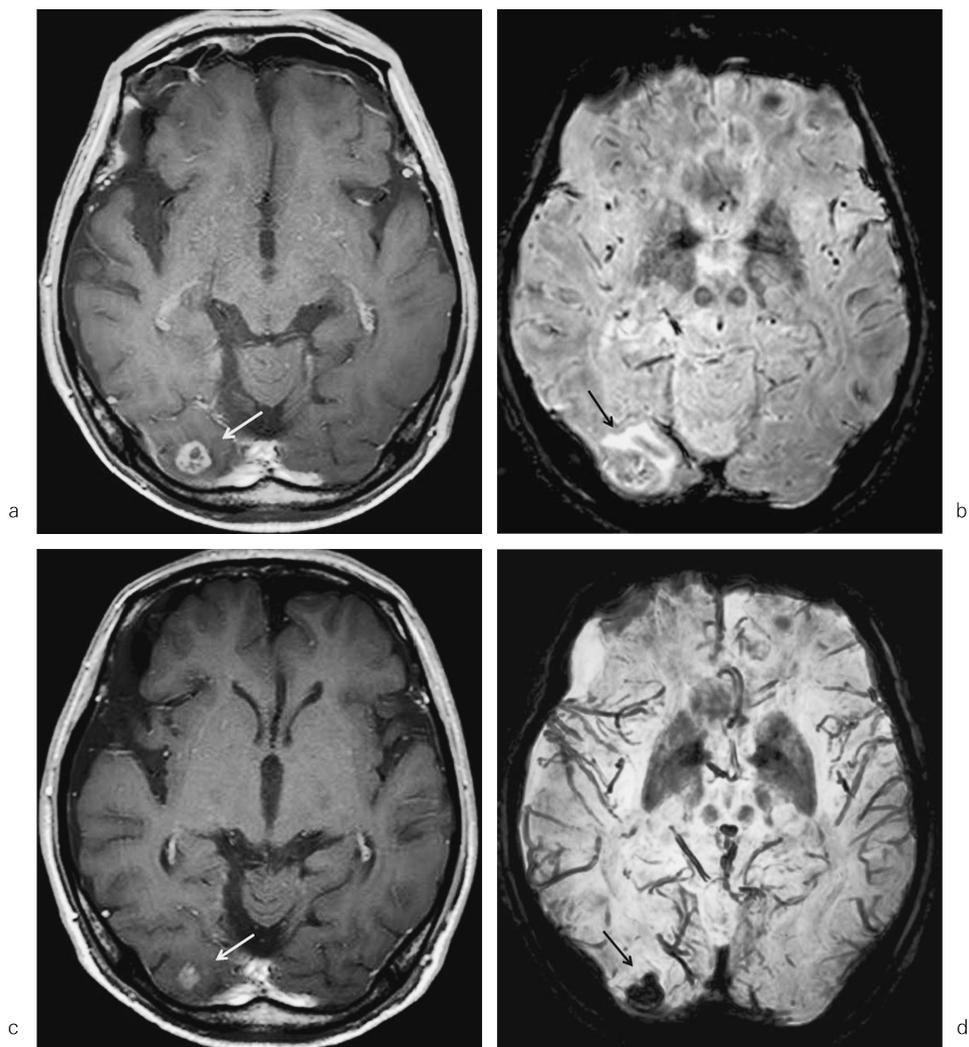


Fig. 3. 65 y.o. male, metastatic brain tumor from lung ca. (Case 2)

a : Gd-enhanced T1-weighted image of the tumor, pre GKR. Gd-enhanced T1-weighted images shows an enhanced lesion in the right occipital white matter.

b : PRESTO image of tumor, pre GKR. PRESTO showed small “dark spot” in the tumor.

c : Gd-enhanced T1-weighted image of the tumor, post GKR. The tumor decreased in size on Gd-enhanced T1-weighted image. And its enhancement decreased too.

d : PRESTO image of tumor, post GKR. We could see “dark spots” increased on PRESTO.

## 考 察

造影 T<sub>1</sub>強調像, 特に後に薄いスライスでの撮像や再構成ができる MPGR などの 3D 画像は転移性脳腫瘍検索において標準的な画像診断とされ, ガンマナイフ治療前後の効果判定に多く用いられているが<sup>11)</sup>, 腎機能不良のため造影できない場合があり, また放射線治療後にはしばしば, 治療効果が得られていても腫瘍自体に造影剤の増強効果が遷延するため, 造影 MRI のみでは治療効果の判断は難しい. 近年, 脳 MRI 画像診断において磁化率強調像が様々な脳疾患に対して用いられている.

今回使用した PRESTO 画像は fMRI への応用を念頭に, 顕微鏡的磁化率効果を強調した高速法として考案されたものである. Echo-shifting 法を用い TE を TR よりも長くすることで T<sub>2</sub>\*強調像の高速収集を可能とした. さらに SENSE を組み合わせ高速化することにより検査時間が短く, 長い TE でも 3 次元収集ができ, 検査時間は 5 分以内である. この撮影法は動脈とともに静脈も描出される. また微小出血を従来の T<sub>2</sub>\*強調像よりも鋭敏にとらえることができる<sup>7)~10)</sup>.

転移性脳腫瘍では高頻度に腫瘍内出血が見られ<sup>3),4),12)</sup>, 磁化率強調像ではこれらの出血をとらえることで転移性脳腫瘍をより鋭敏にとらえることができると思われる. 我々の検討でも出血の見られた症例は 60.98%と過去の報告と近似した値が得られた<sup>12)</sup>.

転移性脳腫瘍のガンマナイフ治療後には凝固壊死および血管壁肥厚やフィブリノイド壊死, 内皮細胞の増殖, 内腔の狭小化, それらに伴う出血が見られるとされている<sup>13)~15)</sup>.

腫瘍内の壊死や出血のヘモジデリンが T<sub>2</sub>\*短縮に寄与したものと考える<sup>1),12)</sup>. このことからガンマナイフ施行後には壊死およびそれに伴う腫瘍内出血の増加によって“dark spots”がさらに増大すると推察される. しかし今回の検討では早くてもガンマナイフ治療後 1 か月であ

り, より早期での信号変化, 組織との対比などが確定には必要と考えられる.

これらの所見は治療後長期間にわたって造影剤の増強効果を受け, 効果判定が難しい転移性脳腫瘍の治療効果判定に役立つ可能性が示唆されるが, 本検討は症例数も少なく観察期間も短い. 照射線量についての検討は行っていないため, さらなる検討が必要であると思われる.

また, ほとんどの症例が信号低下を来すため, 治療効果の判定に有用かはガンマナイフ施行直後からの PRESTO による経過観察が必要であり, またより長期での経過観察を行うなどの prospective study が必要と考えられる.

## ま と め

転移性脳腫瘍は PRESTO において, さまざまな程度の“dark spots”を示した. 微小出血を反映していると考ええる. またガンマナイフ施行後には“dark spots”は増大する傾向にあった.

## 文 献

- 1) Mori N, Miki Y, Kikuta K, et al. : Microbleeds in moyamoya disease : susceptibility-weighted imaging versus T<sub>2</sub>\*-weighted imaging at 3 Tesla. *Invest Radiol* 2008 ; 43 : 574-579
- 2) Sehgal V, Delproposto Z, Haacke EM, et al. : Clinical applications of neuroimaging with susceptibility-weighted imaging. *J Magn Reson Imaging* 2005 ; 22 : 439-450
- 3) Jena A, Taneja S, Talwar V, Sharma JB : Magnetic resonance (MR) patterns of brain metastasis in lung cancer patients : correlation of imaging findings with symptom. *J Thorac Oncol* 2008 ; 3 : 140-144
- 4) Sehgal V, Delproposto Z, Haddad D, et al. : Susceptibility-weighted imaging to visualize blood products and improve tumor contrast in the study of brain masses. *J Magn Reson Imaging* 2006 ; 24 : 41-51

- 5) Liang L, Korogi Y, Sugahara T, et al. : Detection of intracranial hemorrhage with susceptibility-weighted MR sequences. *AJNR Am J Neuroradiol* 1999 ; 20 : 1527-1534
- 6) Tsuboyama T, Imaoka I, Shimono T, et al. : T<sub>2</sub>\*-sensitized high-resolution magnetic resonance venography using 3D-PRESTO technique. *Magn Reson Med Sci* 2008 ; 7 : 73-77
- 7) Liu G, Sobering G, Duyn J, Moonen CT : A functional MRI technique combining principles of echo-shifting with a train of observations (PRESTO). *Magn Reson Med* 1993 ; 30 : 764-768
- 8) Golay X, Pruessmann KP, Weiger M, et al. : PRESTO-SENSE : an ultrafast whole-brain fMRI technique. *Magn Reson Med* 2000 ; 43 : 779-786
- 9) Klarhofer M, Dilharreguy B, van Gelderen P, Moonen CT : A PRESTO-SENSE sequence with alternating partial-Fourier encoding for rapid susceptibility-weighted 3D MRI time series. *Magn Reson Med* 2003 ; 50 : 830-838
- 10) Park MJ, Kim HS, Jahng GH, et al. : Semiquantitative assessment of intratumoral susceptibility signals using non-contrast-enhanced high-field high-resolution susceptibility-weighted imaging in patients with gliomas : comparison with MR perfusion imaging. *AJNR Am J Neuroradiol* 2009 ; 30 : 1402-1408
- 11) Yokoi K, Kamiya N, Matsuguma H, et al. : Detection of brain metastasis in potentially operable non-small cell lung cancer : a comparison of CT and MRI. *Chest* 1999 ; 115 : 714-719
- 12) Zhang W, Ma XX, Ji YM, et al. : Haemorrhage detection in brain metastases of lung cancer patients using magnetic resonance imaging. *J Int Med Res* 2009 ; 37 : 1139-1144
- 13) 多湖正夫, 青木幸昌, 中川恵一, 他 : 転移性脳腫瘍に対するガンマナイフ治療—2 剖検例における病理組織学的検討および文献的考察—. *日医放会誌* 1997 ; 57 : 119-126
- 14) Koike Y, Hosoda H, Ishiwata Y, et al. : Effect of radiosurgery using Leksell gamma unit on metastatic brain tumor—autopsy case report. *Neurol Med Chir* 1994 ; 34 : 534-537
- 15) Yamamoto M, Jimbo M, Kobayashi M, et al. : Long-term results of radiosurgery for arteriovenous malformation : neurodiagnostic imaging and histological studies of angiographically confirmed nidus obliteration. *Surg Neurol* 1992 ; 37 : 219-230

**Imaging Metastatic Brain Tumors before and after Gamma-knife  
Radiosurgery using Principles of Echo-shifting  
with a Train of Observations (PRESTO)**

Yuki WAKATA<sup>1</sup>, Reiichi ISHIKURA<sup>1</sup>, Kumiko ANDO<sup>1</sup>,  
Yoshihiro TAKADA<sup>1</sup>, Shozo HIROTA<sup>1</sup>, Kanji MORI<sup>2</sup>

*Departments of <sup>1</sup>Radiology and <sup>2</sup>Neurosurgery, Hyogo College of Medicine  
1-1 Mukogawa-cho, Nishinomiya-shi, Hyogo 663-8135*

**Purpose :** We aimed to clarify the characteristics of susceptibility imaging using the principles of echo-shifting with a train of observations (PRESTO) technique at 3 tesla before and after gamma-knife radiosurgery (GKR) for metastatic brain tumor.

**Material and Methods :** We investigated 41 metastatic brain tumors in 14 patients (9 men, 5 women ; aged 44 to 80 years, mean age, 62 years) using 3T magnetic resonance (MR) imaging before and after GKR. Primary tumors were located in the lung in 11 patients, kidney in one, colon in one, and uterus in one. The interval between GKR and follow-up MR imaging ranged from one to 12 months (mean, 3.8 months). PRESTO and contrast-enhanced T<sub>1</sub>-weighted imaging were performed using an Achieva 3T system (Phillips, Best, The Netherlands). Two neuroradiologists evaluated tumor size and signal voids (“dark spots”) in the tumor on MR images before and after GKR.

**Results :** The mean tumor diameter decreased significantly from 7.2 mm before GKR to 5.3 mm after ( $P < 0.0001$ ). Before GKR, use of 3T PRESTO detected “dark spots” in 25 lesions (60.98%) ; after GKR, the mean area of “dark spots” on PRESTO increased significantly, from 22.4% to 71.78% ( $P < 0.0001$ , Wilcoxon signed-rank test).

**Conclusion :** On PRESTO, the dark spots in metastatic brain tumor increase after GKR.