

# 3T MRI の中枢神経系疾患への応用

佐々木真理<sup>1</sup>, 柴田恵理<sup>1,2</sup>, 井上 敬<sup>3</sup>, 西本英明<sup>3</sup>,  
高橋純子<sup>4</sup>, 高橋 智<sup>4</sup>, 寺山靖夫<sup>4</sup>

<sup>1</sup>岩手医科大学放射線科 <sup>2</sup>同神経精神科 <sup>3</sup>同脳神経外科 <sup>4</sup>同神経内科

## はじめに

国内における 3 Tesla (3T) MRI の臨床応用は、昨年の全身に対する薬事認可に後押しされ、急速に加速しつつある。3T の画質は頭部領域では従来の MRI を多くの点で凌駕し、臨床機としてのスタンダードの地位を確立しようとしている。7T 以上の装置も登場してはいるが、利点欠点のバランスのとれた 3T 装置が今後とも主力であり続けることが予想される。本稿では 3T MRI の脳神経領域における臨床的意義と課題について 1.5T と比較しながら解説するとともに、3T で可能となった新しいイメージング手法の可能性について紹介する。

## 3T における主な撮像法の特徴

3T MRI における撮像のノウハウは 1.5T と少なからず異なる。3T の性能を十分に引き出すには、その特性をよく把握しておく必要がある<sup>1)</sup>。

### 1. T<sub>2</sub>強調画像

3T MRI ではラジオ波による生体加熱効果が 1.5T の 4 倍となるため、高速スピンエコー法 (fast spin echo: FSE) T<sub>2</sub>強調画像では、比吸収率 (specific absorption rate: SAR) による制限が生じ、検査効率を犠牲にせねばならなかった。ただし、hyperechoes, flip angle sweep

などの再収束パルス最適化手法によってこの問題はほぼ解決しつつある<sup>2)</sup>。

3T では 512 マトリックスの高解像度画像を容易に得ることができるが、T<sub>2</sub>強調画像はコントラスト分解能が必ずしも十分でないため、思ったほど情報量は増加しない。形態画像としては、髄鞘密度を反映した良好なコントラストを有する short inversion-time inversion recovery (STIR) 法の方が優れており、3T の優位性をより発揮することができると思われる (Fig. 1)<sup>1)</sup>。

### 2. T<sub>1</sub>強調画像

従来 T<sub>1</sub>強調画像にはスピンエコー法 (spin echo: SE) が用いられているが、3T では 1) T<sub>1</sub>延長による T<sub>1</sub>コントラストと S/N 比の低下、2) SAR 制限による撮像可能スライス枚数の減少、3) B<sub>1</sub>不均一による信号むらのため十分な画質を得ることが難しかった。一方、グラジエントエコー法 (gradient echo: GRE) による T<sub>1</sub>強調画像 (3D spoiled gradient recalled acquisition in steady state: 3D-SPGR など) では十分な T<sub>1</sub>コントラスト、S/N 比、スライス枚数、造影効果を得ることができ、B<sub>1</sub>不均一による信号むらもめだたないため<sup>3),4)</sup>、3T におけるルーチン撮像法として定着しつつある (Fig. 1)。

### 3. 拡散強調画像

3T では拡散強調画像の磁化率効果に起因す

キーワード 3 Tesla, high field strength, magnetic resonance angiography, susceptibility-weighted image, neuromelanin image

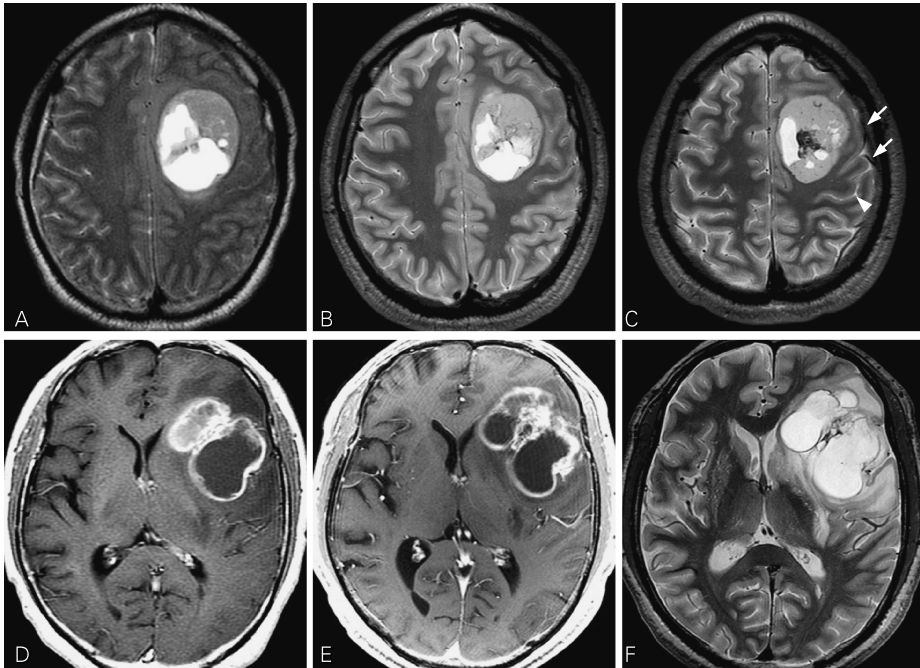


Fig. 1. MR images of the patients with glioblastoma at 1.5T versus at 3T  
A : T2-weighted image at 1.5T, B, C : STIR images of the same patient as A at 3T.  
Details of the left frontal lobe mass is more evident at 3T (B) than at 1.5T (A). At 3T, neighboring central sulcus (C, arrow head) and cortical veins (C, arrows) are easily identified.  
D : gadolinium-enhanced spin-echo T1-weighted image at 1.5T, E, F : gadolinium-enhanced gradient-echo T1-weighted image and STIR image at 3T.  
Left frontal lobe mass is readily enhanced at 1.5T (D) as well as 3T (E).

る画像ゆがみやアーチファクトが顕著となるが、parallel imagingの併用によってある程度抑制することができる<sup>5)</sup>。他のアーチファクト抑制法として、PROPELLER (periodically rotated overlapping parallel lines with enhanced reconstruction) 法や volume diffusion imaging 法などが提案されている<sup>6)</sup>。3Tの高いS/N比を活かして薄いスライス厚を用いることが可能だが、マトリックスサイズの増大は磁化率アーチファクトの増加につながるため勧められない。

#### 4. MRA

脳血管の3D time-of-flight (TOF) MRAにおいて、3Tでは1) S/N比の向上、2) TOF効果の改善、3) T<sub>1</sub>延長による脳実質信号の抑制、4) 脂肪の位相シフトを利用した脂肪信号抑制の自由度向上のため、1.5Tとは一線を画す高品位画像を取得することが可能である<sup>7)</sup> (Fig. 2)。MRAで用いられる magnetization transfer contrast (MTC) パルスも SAR による制限を受けるが、k空間の中心部のみMTCパルスを照射する手法によって撮像時間の延長を回避できるようになった。

2006年8月21日受理

別刷請求先 〒020-8505 盛岡市内丸19-1 岩手医科大学放射線科 佐々木真理

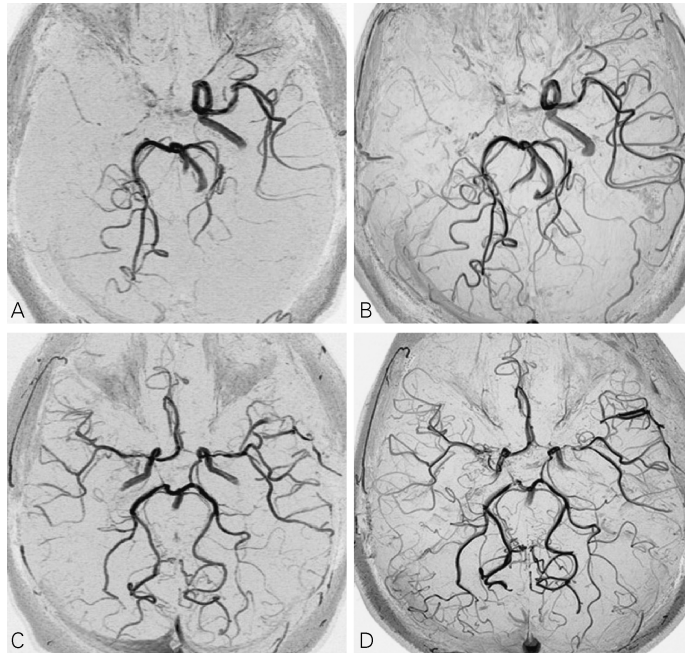


Fig. 2. MR angiography at 1.5T versus at 3T

A, B: Occlusion of the right internal carotid artery, C, D: Moyamoya disease.

Minute intracranial arteries are visualized more clearly at 3T (B, D) than at 1.5T (A, C).

## 脳腫瘍

3T MRI は脳腫瘍の質的診断能では 1.5T とほぼ同等と考えられ、むしろ高い空間分解能を活かした小病変の検出、病変の進展範囲の評価、詳細な解剖学的情報の描出などにおいて威力を発揮すると思われる。腫瘍の詳細な性状のみならず、腫瘍血管、周囲の脳組織（特に eloquent area）との関係、脳表静脈との関係など、治療戦略を決定する上で有益な情報を得ることができる (Fig. 1)。下垂体腫瘍においても微小腺種の検出や腫瘍進展範囲の判定に威力を発揮することが知られている<sup>8)</sup>。

3T MRI は低侵襲治療の術前計画にも応用されている。Parkinson 病に対する深部脳刺激療法や脳腫瘍に対する定位放射線治療において、

3T の高解像度画像を用いることで厳密な治療計画が可能と考えられる。ただし、画像ゆがみやアーチファクトが無視できない場合があるので、これらを最小限に抑える努力が必要である。

## 脳血管障害

### 1. 脳梗塞

急性期脳梗塞、特に血栓溶解療法を前提とした場合、MRI の臨床的意義は現時点で十分確立していない<sup>6)</sup>。したがって、3T の意義も未知数ではあるが、拡散強調画像による早期虚血病変の検出能は 1.5T に比し向上することが知られている<sup>9)</sup>。また、灌流強調画像に SE-EPI 法を用いることができるため、より精度の高い

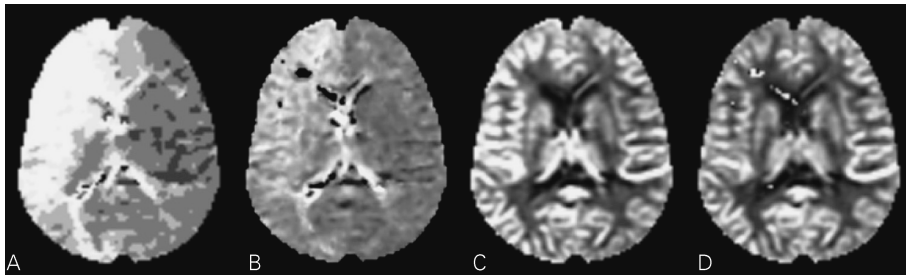


Fig. 3. Perfusion MRI at 3T of the patient with right internal carotid artery occlusion  
A : time to peak (TTP), B : mean transit time (MTT), C : cerebral blood volume (CBV), D : cerebral blood flow (CBF), analyzed using PMA (perfusion mismatch analyzer) developed by Dr Kohsuke Kudo and provided by ASIST-Japan (<http://asist.umin.jp>).  
High quality images are successfully obtained because of high signal-to-noise ratio and spin-echo EPI technique.

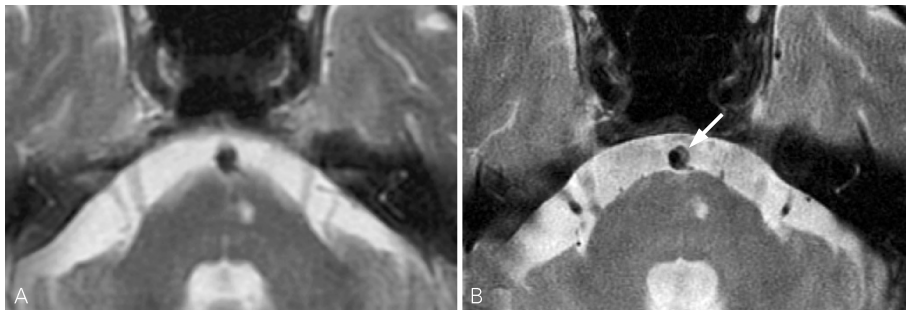


Fig. 4. T<sub>2</sub>-weighted images of the patient with pontine infarction at 1.5T versus 3T  
In addition to a small infarct in the pontine base, a crescent-shaped plaque is identified at 3T (B, arrow) but not at 1.5T (A), suggesting possibility of a branch atheromatous lesion.

脳血流解析が可能になると思われる (Fig. 3).

慢性脳虚血では、3T の高い空間分解能・S/N 比を活かした動脈壁イメージングが注目されている。Black blood 法による頸部内頸動脈壁の画像では 1.5T に比し大幅な画質改善が得られ<sup>10)</sup>、プラークイメージングの精度向上が期待される。また、頭蓋内動脈壁の描出もある程度可能であり、分枝粥腫型梗塞の診断などに寄与することが予想される (Fig. 4)。

## 2. 脳出血、くも膜下出血

1.5T では急性期脳出血の診断は難しく T<sub>2</sub>\* 強調画像が必要といわれていたが、3T では通常の T<sub>2</sub> 強調画像でも低信号を呈するため、十

分診断可能と思われる。また、無症候性微小出血 (microbleeds)、びまん性軸索損傷などの小出血病変の検出能も 1.5T に比し向上する<sup>11)</sup>。

3T におけるくも膜下出血の検出能は、1.5T と異なり、FLAIR よりも T<sub>2</sub>\* 強調画像において良好である<sup>12)</sup>。

## 3. 血管病変

3T では MRA の画質向上が著しいため、動脈硬化・もやもや病などによる狭窄・閉塞性病変とそれに伴う側副血行路を良好に描出することができる (Fig. 2)。脳動脈瘤に関しては、漏斗状拡張などの偽病変との鑑別に特に有益と考えられる。なお、1.5T に比し小径の未破裂



脳動脈瘤の検出精度が向上することが予想されるが、小動脈瘤の自然破裂率は非常に低い可能性があり、患者にとって有益な情報か否かの判断は慎重でなければならない。

静脈性血管腫などの静脈性病変の描出には磁化率強調画像 (susceptibility-weighted imaging: SWI) が用いられる。SWI は  $T_2^*$ コントラストを局所位相シフト情報によって強調する手法である<sup>13)</sup> (Fig. 5)。SWI は 1.5T でも撮像可能であるが、3T では  $T_2^*$ 緩和による信号低下・位相シフトが大きく、また高解像度撮像が可能のため、画質は 1.5T を大きく上回る。

## 変性疾患, その他

### 1. Alzheimer 病

Alzheimer 病では、 $\beta$ アミロイドを標的とした治療薬の開発が進んでおり、早期診断・発症前診断の重要性が高まっている。中でも軽度認知障害 (mild cognitive impairment: MCI) の Alzheimer 病移行群の voxel-base morphometry を用いた MRI 診断が注目されている。国内では VSRAD (voxel-based specific regional

analysis system for Alzheimer's disease) が広く用いられている。現時点で 3T は動作保証外であるが、おそらく 1.5T と遜色ない結果が得られると思われる。海外では ADNI (Alzheimer's disease neuroimaging initiative) [<http://www.loni.ucla.edu/ADNI/>] という国際登録研究が進行しており、3T のデータも積極的に集積されている。近い将来 Alzheimer 病の早期診断における 3T の意義が明らかになることが期待される。

### 2. Parkinson 病

従来の MRI では Parkinson 病における特徴的变化をとらえることができなかったが、3T 神経メラニン画像によって本症の主病変である黒質緻密部ドパミン神経細胞・青斑核ノルアドレナリン神経細胞の脱落を直接描出できるようになった<sup>14)</sup> (Fig. 6)。本手法は神経伝達物質の活性を間接的に計測することも可能なため、精神疾患などへの応用も期待される。

### 3. 多発性硬化症

多発性硬化症では、SWI において脱髄斑の中心部を髄質静脈が貫く所見を観察することができる (Fig. 5)。本所見は病理学的な “peri-

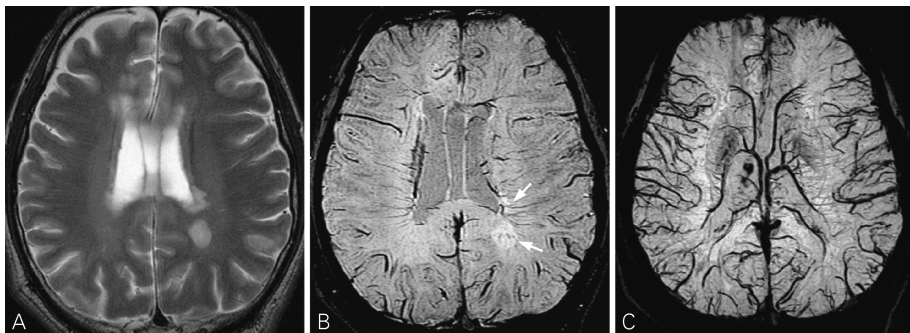


Fig. 5. MR images of the patient with multiple sclerosis at 3T

A:  $T_2$ -weighted image, B: source image of susceptibility-weighted image (SWI), C: minimum intensity projection (MinIP) of SWI.

On the source image of SWI, medullary veins are seen to penetrate at the center of plaques (B, arrows), suggesting perivenous distribution of demyelination. On MinIP image, medullary veins and deep venous system are readily visualized, but their relationships to plaques become unclear (C).

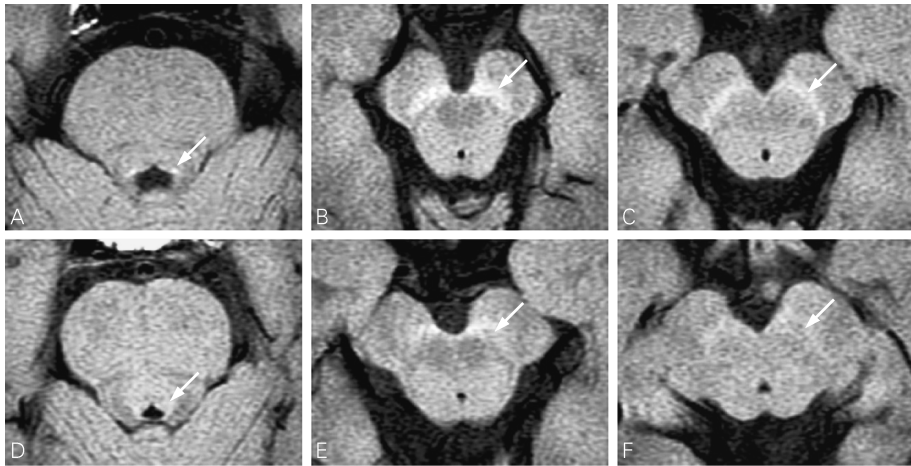


Fig. 6. Neuromelanin images of the patient with Parkinson's disease using a T1-weighted fast spin-echo technique at 3T  
 A-C : healthy volunteer, D-F : Parkinson's disease.  
 In Parkinson's disease, high signal intensity of the locus ceruleus (D) and the substantia nigra (E, F) is reduced significantly (arrows) when compared with that in the control (A, B, C), suggesting depletion of noradrenergic and dopaminergic neurons in the nuclei.

venous distribution” に合致する所見であり，他病変との鑑別に役立つと考えられる<sup>15)</sup>。

#### 4. てんかん

3T では海馬などの微細脳構造の描出が可能である。側頭葉てんかんでは海馬硬化や局所皮質異形成などの微小病変の検出が重要であるが，3T ではこれらの病変検出能が向上し，治療方針決定に寄与することが示されている<sup>16)</sup>。

#### ま と め

3T MRI の脳神経領域への臨床応用について解説した。3T 装置は，頭部では弱点がほぼ克服されたこともあり，1.5T に代わる主力機種として今後さらに普及することが予想される。3T MRI は臨床機としてますます重要な役割を果たしていくと考えられるが，今後質の高い臨床研究によって1.5T に対する優位性を検証していくことが重要と思われる。

#### 文 献

- 1) Sasaki M, Inoue T, Tohyama K, Oikawa H, Ehara S, Ogawa A : High field MRI of the central nervous system : current approaches to clinical and microscopic imaging. *Magn Reson Med Sci* 2003 ; 2 : 133-139
- 2) Weigel M, Hennig J : Contrast behavior and relaxation effects of conventional and hyperecho-turbo spin echo sequences at 1.5 and 3 T. *Magn Reson Med* 2006 ; 55 : 826-835
- 3) Wang D, Heberlein K, laConte S, Hu X : Inherent insensitivity to RF inhomogeneity in FLASH imaging. *Magn Reson Med* 2004 ; 52 : 927-931
- 4) Sasaki M, Shibata E, Kanbara Y, Ehara S : Enhancement effects and relaxivities of gadolinium-DTPA at 1.5 versus 3 Tesla : a phantom study. *Magn Reson Med Sci* 2005 ; 4 : 145-149
- 5) Kuhl CK, Gieseke J, von Falkenhausen M, Textor J, Gernert S, Sonntag C, Schild HH : Sensitivity encoding for diffusion-weighted MR imaging at 3.0 T : intraindividual comparative study. *Radiology* 2005 ; 234 : 517-526
- 6) 佐々木真理，藤原俊朗：頭部領域での拡散強調

- 画像の臨床. 日獨医報 2005 ; 50 : 621-628
- 7) Willinek WA, Born M, Simon B, Tschampa HJ, Krautmacher C, Gieseke J, Urbach H, Textor HJ, Schild HH : Time-of-flight MR angiography : comparison of 3.0-T imaging and 1.5-T imaging-initial experience. *Radiology* 2003 ; 229 : 913-920
  - 8) Wolfsberger S, Ba-Ssalamah A, Pinker K, Mlynarik V, Czech T, Knosp E, Trattnig S : Application of three-tesla magnetic resonance imaging for diagnosis and surgery of sellar lesions. *J Neurosurg* 2004 ; 100 : 278-286
  - 9) Kuhl CK, Textor J, Gieseke J, von Falkenhausen M, Gernert S, Urbach H, Schild HH : Acute and subacute ischemic stroke at high-field-strength (3.0-T) diffusion-weighted MR imaging : intraindividual comparative study. *Radiology* 2005 ; 234 : 509-516
  - 10) Koktzoglou I, Chung YC, Mani V, Carroll TJ, Morasch MD, Mizsei G, Simonetti OP, Fayad ZA, Li D : Multislice dark-blood carotid artery wall imaging : a 1.5 T and 3.0 T comparison. *J Magn Reson Imaging* 2006 ; 23 : 699-705
  - 11) Kikuta K, Takagi Y, Nozaki K, et al. : Asymptomatic microbleeds in moyamoya disease : T2\*-weighted gradient-echo magnetic resonance imaging study. *J Neurosurg* 2005 ; 102 : 470-475
  - 12) Sohn CH, Baik SK, Lee HJ, et al. : MR imaging of hyperacute subarachnoid and intraventricular hemorrhage at 3T : a preliminary report of gradient echo T2\*-weighted sequences. *AJNR Am J Neuroradiol* 2005 ; 26 : 662-665
  - 13) Haacke EM, Xu Y, Cheng YC, Reichenbach JR : Susceptibility weighted imaging (SWI). *Magn Reson Med* 2004 ; 52 : 612-618
  - 14) Sasaki M, Shibata E, Tohyama K, et al. : Neuromelanin magnetic resonance imaging of locus ceruleus and substantia nigra in Parkinson's disease. *Neuroreport* 2006 ; 17 : 1215-1218
  - 15) Tan IL, van Schijndel RA, Pouwels PJ, van Walderveen MA, Reichenbach JR, Manoliu RA, Barkhof F : MR venography of multiple sclerosis. *AJNR Am J Neuroradiol* 2000 ; 21 : 1039-1042
  - 16) Knake S, Triantafyllou C, Wald LL, et al. : 3T phased array MRI improves the presurgical evaluation in focal epilepsies : a prospective study. *Neurology* 2005 ; 65 : 1026-1031

## Clinical Applications of MR Imaging to Central Nervous System Disorders at 3T

Makoto SASAKI<sup>1</sup>, Eri SHIBATA<sup>1,2</sup>, Takashi INOUE<sup>3</sup>,  
Hideaki NISHIMOTO<sup>3</sup>, Junko TAKAHASHI<sup>4</sup>, Satoshi TAKAHASHI<sup>4</sup>,  
Yasuo TERAYAMA<sup>4</sup>

*Departments of <sup>1</sup>Radiology, <sup>2</sup>Psychiatry, <sup>3</sup>Neurosurgery, and <sup>4</sup>Neurology,  
Iwate Medical University  
19-1 Uchimaru, Morioka 020-8505*

Three-Tesla (3T) magnetic resonance (MR) imaging provides clinical images not available using conventional MR imaging. Images having high spatial and contrast resolutions can reveal anatomical details of brain tumors and surrounding structures that help in deciding therapeutic strategies and preoperative planning. High-resolution anatomical images, diffusion-weighted images, perfusion-weighted images, and MR angiography can give us fruitful information concerning acute and chronic cerebral ischemias and vascular abnormalities. Susceptibility-weighted images can elucidate additional findings in minute venous structures and demyelinating lesions. By using neuromelanin imaging, we can visualize depletion and/or dysfunction of dopaminergic and noradrenergic systems. 3T MR imaging is a powerful clinical tool to assess various central nervous disorders, but its advantages over 1.5T must be validated to establish its further clinical significance.