

## 短径8チャンネルコイルによる新生児頭部MRI

福田真吾, 渡邊佳彦, 高田千年<sup>1)</sup>, 肥合康弘<sup>2)</sup>, 北島美香,  
平井俊範, 山下康行<sup>3)</sup>, 土屋廣幸<sup>4)</sup>, 坂元哲郎<sup>5)</sup>

### Neonatal brain MRI with the 8 ch RF-receiver coil which is small to a diameter

Shingo Fukuda<sup>1)</sup>, Yoshihiko Watanabe<sup>1)</sup>, Chitose Takada<sup>1)</sup>, Yasuhiro Hiai<sup>2)</sup>,  
Mika Kitajima<sup>3)</sup>, Toshinori Hirai<sup>3)</sup>, Yasuyuki Yamashita<sup>3)</sup>,  
Hiroyuki Tsuchiya<sup>4)</sup>, Tetsurou Sakamoto<sup>5)</sup>

**Abstract** : Thanks to the developments of medical technique, even for the preterm and very low-weight preterm infants can be delivered much safely. Besides, we now face on increasing of their serious risks related to earlier deliveries, for example hypoxic-ischemic encephalopathy and cerebral hemorrhage. Therefore, it is strongly demanded to examine such the disorders quickly and precisely without risk of examinations. As is known well, transcranial ultrasonography and MR imaging have been used for screening their abnormalities, because of lower risk of examination compared with other modalities. To obtain the equal quality of image on MRI for their brains compared to adult one, high signal-to-noise ratio is required; however, RF-receiver coils which are designed for children and adults are used at MR examinations for CNS of preterm and very low-weight preterm infants in many institutions in Japan. Needless to say, such application dose not always produce images which contain sufficient signal intensity on signal noise ratio from the diagnosis point of view. Although using the multi-channel coil with small diameter is a candidate to have sufficient signal intensity, we have to confirm signal uniformity and reliability for the diagnosis.

In this paper, we study on usefulness of the multi-channel coil with small diameter in order to apply them to MR examinations of infant's brain.

**Key words** : magnetic resonance imaging, neonatal brain MRI, signal-to-noise ratio (SNR), radio-frequency coil

### I. はじめに

医療の発達や多児出産の増加に伴い、早期産児および低体重出生児の頻度は増加している。早期産児は低体重であることが多く、低酸素脳症や脳出血の頻度は満期産児に比べ高いことが知られている。また、新生児の脳は成人と比べ水分含有量

が高く、MRIでは成人の脳と比べT1、T2延長を示し<sup>1)</sup>、その発達の過程はダイナミックであり、MR画像も短期間に変化する。これらのスクリーニングには放射線被曝がなく画像の濃度分解能に優れたMRIが用いられることが多く、MRIから得られる情報は、治療法や、リハビリテーションの方法選択の指標となる。新生児の頭部MRIの

1)高田千年クリニック 2)熊本大学医学部保健学科放射線科学専攻  
3)熊本大学医学部放射線診断科 4)福田病院 小児科 5)フィリップスメディカルシステムズ

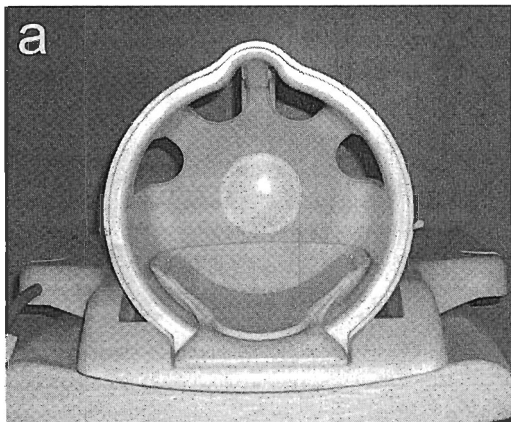
撮像では、適切なパラメータの設定が必要である。また、良好なSNRを得るために、新生児専用のコイルの使用が望ましい。現在、頭部MRI検査では複数の独立した回路により画像を受信するマルチチャンネルコイルが普及しているが、新生児に特化したコイルを有する施設は稀で、成人と比べ頭囲の小さな新生児に対しても成人用頭部マルチチャンネルコイルで検査が行われているケースが少なくない。しかし、成人用コイルに対し、新生児の頭部は小さく、成人と比べるとSNRは低下する。

そこで今回、成人用頭部マルチチャンネルコイルと比較した短径の膝用マルチチャンネルコイルを用いた新生児頭部MRI画像の有用性について、基礎的検討と臨床的検討を行った。

## II. 方法

### 2.1 使用機器

MRI装置は、PHILIPS社製Intera ACHIEVA Nova Dual 1.5Tで、傾斜磁場システムは、regular mode (Gmax 33mt/m, SR 160mT/m/ms) とenhance mode (Gmax 66mt/m, SR 80mT/m/ms) の2つが使用可能である。RF受信コイルは、SENSE Head-8チャンネルコイルとSENSE Knee-8チャンネルコイル (Fig. 1)、ファントムは1%硫酸銅ファントム (円柱状、最大径; 12cm) を使用した。



### 2.2 基礎的検討

#### 2.2-1 方法

基礎的検討として、SENSE Head-8チャンネルコイル (以下Headコイル) とSENSE Knee-8チャンネルコイル (以下短径コイル) を使用し、臨床と同条件のT2強調画像による硫酸銅ファントムの撮像を行った。撮像条件は、FOV=150mm, Matrix=144×144, Slice厚/Gap=4/0.8mm, TR/TE=3792/150msec, ETL=5, NSA=1とした。これにより、二つのコイルの① SNR比較、② 信号値の均一性比較を感度補正技術であるCLEAR (Constant Level Appearance: 検査ごとのリファレンススキャンにより、内臓Bodyコイルと比較した感度マップを、各コイルの元素トごとに得ることで、画像の感度補正を行う技術) の画像に及ぼす効果を検討した。

二つのコイルのSNR比較では、コイルのSNR測定と局所のSNRによる感度分布測定を行った。コイルのSNR測定では、1%硫酸銅ファントムをRF受信コイルの中心に置き、同一条件で2回の撮像を行う差分画像法により、axial画像の撮像を行った。撮像に際しては、1回目の撮像と2回目の撮像の間に装置の再調整を行わないダイナミックモードを使用した。これにより得られたコイル中心部のaxial断面に対して、日本放射線技術学会学術研究班から出された「MR画像のParallel ImagingにおけるSNR測定法の標準化プログラム」(以下PI-SNR ver1.2) の差分マップ法を使



Fig. 1 Headコイル(a)と短径コイル(b) Headコイルの内径(縦×横); 245×235(mm), 短径コイルの内径(縦×横); 150×145(mm)

用し、SNR map画像を作成した<sup>2,3)</sup>。SNR map画像中心部にファントム面積の約80%のROIを設定し、得られた平均値をSNRとした<sup>4,5,6)</sup>。局所のSNRによる感度分布測定では、コイルのSNR測定と同様の方法にて、axial、coronal、sagittalの三方向撮像を行った。得られたコイル中心部の各断面に対してSNR map画像を作成し、各SNR map画像中心を0 cmとして、AP、RL、SI方向(±6~7 cmの範囲)について、それぞれaxial、coronal、sagittal画像を用い測定を行った。

二つのコイルの信号値の均一性比較では、コイル中心部の信号値の均一度測定、AP、RL、SI方向の信号値の均一性測定を行った。コイル中心部の均一度測定では、AAPM (American Association of Physicists in Medicine) レポート<sup>5)</sup>で規定された評価法により、コイル中心部のaxial画像に対し、その断面中心にファントム面積の約80%のROIを設定した。得られた信号値の最大値(SImax)、最小値(SImin)から以下の式を用いてCLEARなし、ありの両者について均一度測定を行った。

$$\text{均一度(\%)} = \{1 - (\text{SI}_{\text{max}} - \text{SI}_{\text{min}}) / (\text{SI}_{\text{max}} + \text{SI}_{\text{min}})\} \times 100$$

AP、RL、SI方向の信号値の均一性比較では、axial、sagittal、coronalの三方向撮像を行い、得られたコイル中心部の各断面に対し、その中心を0 cmとして、AP、RL、SI方向(±7.5 cmの範囲)についてそれぞれaxial、coronal、sagittal画像を用いCLEARなし、ありについて信号値の測定を行った。

## 2.3 臨床的検討

### 2.3-1 対象および方法

対象は、2005~2006年に低出生体重児などにて頭部スクリーニング検査を受けた修正週数の類似した新生児24例とした。短径コイルの使用にあたっては、SARをIEC規格の第一次水準操作モードでの使用範囲<sup>7)</sup>とし、倫理委員会において承認を得ている。Headコイルの対象は13例で修正週数は

33~41週(平均38週)、短径コイルの対象は11例で修正週数は35~42週(平均38週)であった。検討は2名の放射線科専門医の合意に基づき新生児頭部MRI画像をretrospectiveに行った。

臨床的検討では、二つのコイルで撮像した① TSE T2強調像(FOV=150mm, Matrix=144×144, Slice厚/Gap=4/0.8mm, TR/TE=3792/150msec, ETL=5, NSA=1, CLEAR+)、CSE T1強調像(FOV=150mm, Matrix=128×128, Slice厚/Gap=4/0.8mm, TR/TE=666/13msec, NSA=1, CLEAR+)、isotropic DWI(SE-EPI法, FOV=150mm, Matrix=160×128, Slice厚/Gap=4/0.8mm, TR/TE=3252/83msec, EPI-factor=67, NSA=4, SENSE-factor=2, MPGパルス3 direction, b-factor=1000, gradient mode; enhance mode)の視覚評価に加え、② 拡散テンソル画像(SE-EPI法, FOV=150mm, Matrix=64×64, Slice厚/Gap=3/0mm, TR/TE=8948/49msec, EPI-factor=47, NSA=5, SENSE-factor=2, MPGパルス6 direction, b-factor=700, gradient mode; enhance mode)についてもfiber trackingによる錐体路描出の視覚評価と、定量評価として、脳梁膨大部、脳梁膝部、視床、内包後脚、中小脳脚のFA値比較を行った<sup>1,8)</sup>。TSE T2強調画像、CSE T1強調画像、isotropic DWIの視覚評価は4段階(-1:ノイズやアーティファクトが多く画像評価困難、0:ノイズやアーティファクトがあるが画像評価可能、+1:ノイズやアーティファクトが少なく画像評価可能、+2:ノイズやアーティファクトがほとんどなく画像もよく評価できる)によるスコア値比較を用いた。拡散テンソル画像のfiber tracking(解析ソフトはPRIDEを使用)では、大脳脚をseed(描出不可能な症例は内包後脚をseedとした)、中心前回はtargetとした。FA値の閾値は0.18、角度の閾値は22.5°とし<sup>8)</sup>、これにより錐体路のtractographyが描ける症例数をコイルごとにカウントした。このとき、同一症例においても左と右の錐体路ではseedとtargetの場所が異なることか

ら、左右の錐体路をそれぞれ独立したものとしてカウントした(対象数; Headコイル=左右あわせて26、短径コイル=左右合わせて22)。

### III. 結果

#### 3.1 基礎的検討の結果

##### 3.1-1 コイルのSNR測定

得られたSNRは、Headコイルが105.6、短径コイルが203.8となり、短径コイルのSNRがHeadコイルと比べ約2倍高かった(Fig.2)。

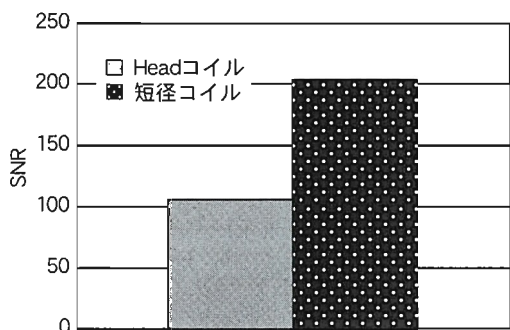


Fig. 2 Headコイルと短径コイルのSNR比較

##### 3.1-2 局所のSNRによる感度分布測定

感度分布曲線の傾向として、Headコイルでは、AP、RL方向ともに比較的均一な分布が得られており、SI方向で尾側と比べ頭側のSNRがやや高くなっている。短径コイルでは、AP、RL方向においてコイル両端のSNRが高く、SI方向においてはコイル中心部のSNRが高くなっている(Fig.3)。SNRの値はいずれの方向においてもHeadコイルと比べ短径コイルの方が高い値で推移している。これらの結果から、短径コイルは、Headコイルと比べSNRは高いがコイル内の感度分布は劣る

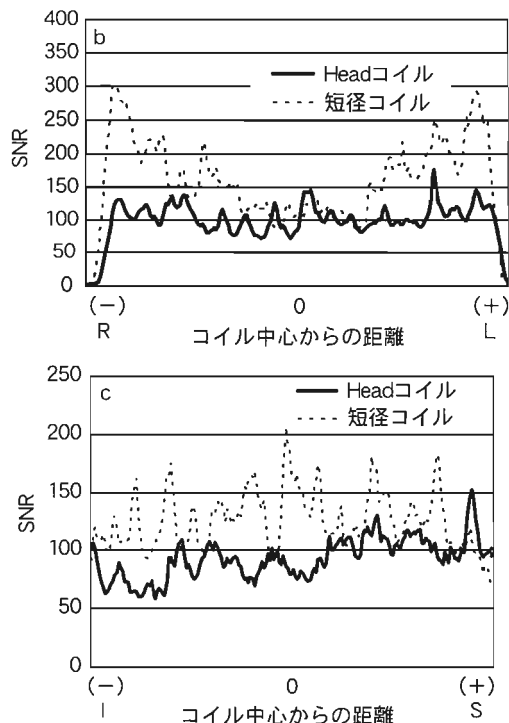
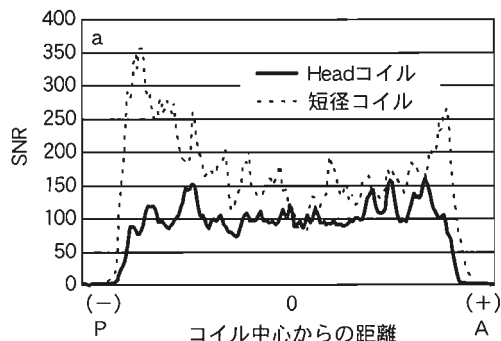


Fig. 3 局所のSNRによる感度分布測定結果 AP方向(a), RL方向(b), SI方向(c)

ということがわかる。

##### 3.1-3 コイルの均一性比較

###### a) コイル中心部の均一度

CLEARなしでHeadコイルは約88%、短径コイルは約63%となった。CLEARありでHeadコイルは約89%、短径コイルは約89%となった。CLEARを使用することで短径コイルの均一度はHeadコイルと同等の値まで改善されており、2つのコイル間に均一度の差はない。(Fig.4)。

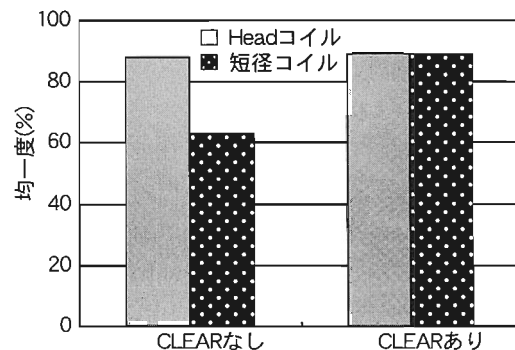


Fig. 4 CLEARの有無による信号値の均一度比較結果

b) AP、RL、SI方向の信号値の均一性

CLEAR使用前の短径コイルでは、AP、RL、SIの3方向ともにコイル中心部と両端での信号差が目立っているが、CLEARを使用することで、各方向の信号値が均一化された (Fig.5)。Headコイルでは、CLEARの有無に関わらずAP、RL

方向の信号値の均一性は比較的とれており、SI方向においてCLEARによる信号値の均一化の効果がみられる (Fig.6)。CLEARを使用することで二つのコイルの信号値の分布を表すグラフは各方向ともほぼ同じ形となり、コイル内の信号値の均一性は同等であることがいえる。

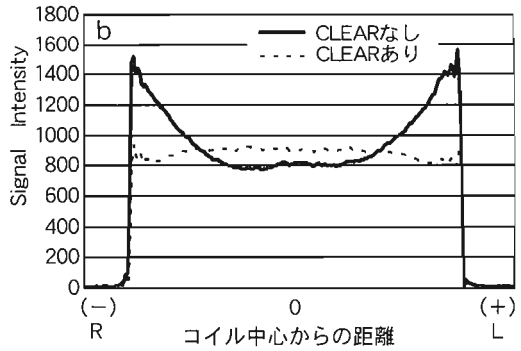
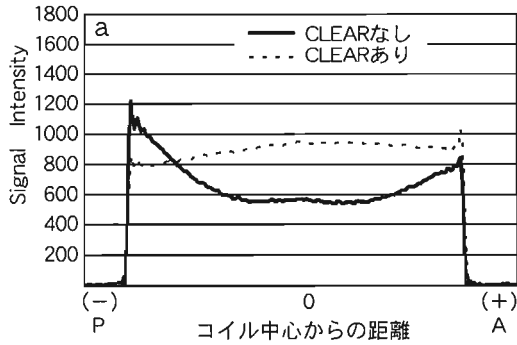


Fig. 5 短径コイルにおけるCLEARの有無による信号値の均一化比較結果 AP方向(a), RL方向(b), SI方向(c)

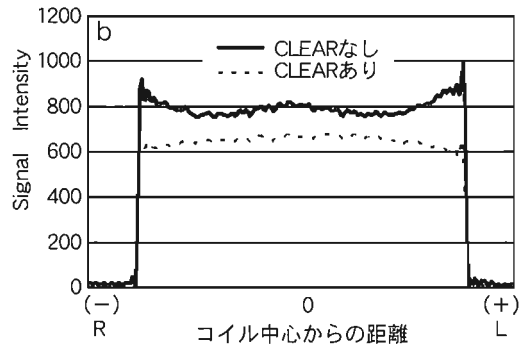
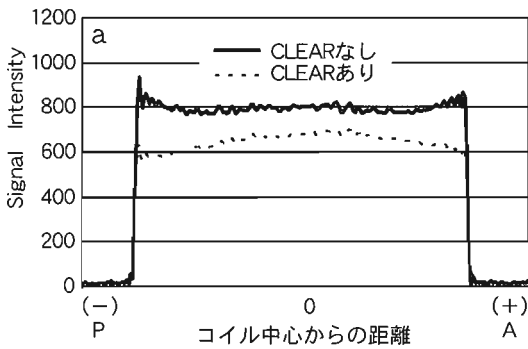
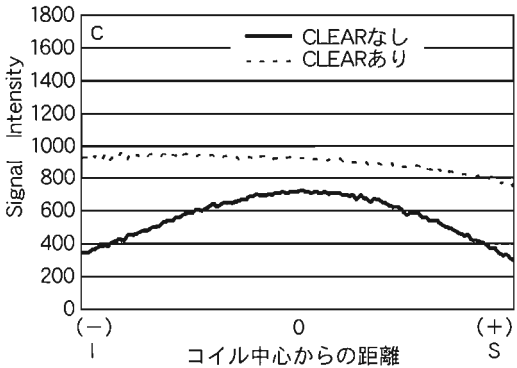
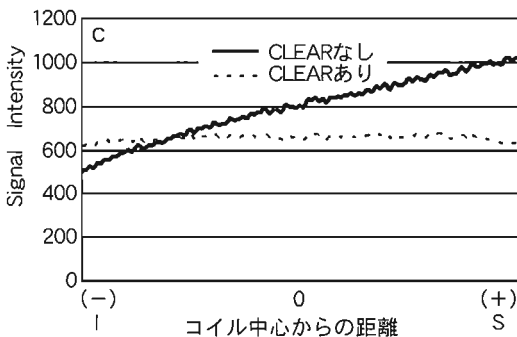


Fig. 6 HeadコイルにおけるCLEARの有無による信号値の均一化比較結果 AP方向(a), RL方向(b), SI方向(c)



3.2 臨床的検討の結果

3.2-1 T2強調像、T1強調像、isotropic DWIの視覚評価

いずれの画像も短径コイルの平均スコアが高い結果となった (Table1)。画像上でも特に、T2強調像とisotropic DWIでHeadコイルではコイル表面から距離の離れた前頭部にややノイズが目立つのに対し、短径コイルでは全体的に十分なSNRのとれた画像が得られている (Fig.7,8)。

Table.1 Headコイルと短径コイルによる画像の視覚評価における平均スコア比較

	Headコイル	短径コイル
T1WI	1.63	1.91
T2WI	1.31	1.82
Iso.DWI	0.39	1.00

3.2-2 拡散テンソル画像

視覚評価では、seedを大脳脚または内包後脚に、targetを中心前回に設定することで、各コイルとも錐体路の描出不可能症例はなく、描出能においてもコイル間に差はみられなかった (Table2)、(Fig.9)。

FA値の比較による定量評価では、右中小脳脚で有意差が認められたが (Headコイル ; 0.327、短径コイル ; 0.244)、その他の部位について有意差はなかった (Fig.10)。

IV. 考 察

基礎的検討では、短径コイルのSNRの方が、Headコイルと比べ約2倍高かった。局所のSNRにおける感度分布は、分布曲線の形は悪いが、短径コイルのSNRの方がいずれの方向において高い値で推移している。この際の感度分布曲線がスムーズに描かれていない理由は、測定に使用した

SNR mapが7×7近傍の標準偏差を雑音値としており、測定点によっては、ブロックノイズなどの影響でSNRが過小評価されることによる。画像の均一性では、CLEARを使用することで、短径コイルにおいてもHeadコイルと同等のものが得られることがわかった。

臨床画像では、基礎的検討の結果を反映し、特にT2強調像、isotropic DWIにおいても短径コイルの画質が良好であった。なかでも、isotropic DWIでその差は顕著に見られる (平均スコア : Headコイル 0.39、短径コイル 1.00)。理由としては、高b値のMPG (b値=1000sec/mm<sup>2</sup>) を印可するsingle-shotのEPI法であるDWIはSE法などと比べると、SNRが不利な撮像法であり、コイルの性能による差が特に現れたものと考ええる。拡散テンソル画像のFA値比較では、右中小脳脚に優位差を認めたが、短径コイルではSI方向の感度領域がHeadコイルと比べ狭く、コイル中心から尾側方向に距離が離れている中小脳脚については安定したSNRを得ることが難しいことや、コイルエレメントの配列などが原因として考えられた。今後はポジショニングや撮像条件の見直しなどの検討を行う必要がある。また、臨床的検討の問題点として、倫理的な観点から、同一患者を同時期に2つのコイルで比較することが不可能であることと、新生児期脳の発達は急速で検査時の修正回数によっても所見が異なる可能性が考えられた。これに加え、新生児期の正常の拡散テンソル画像の参考となる報告例は少なく臨床的に明らかな優位性を表すことが困難であった。

V. 結 語

基礎的検討にて、短径コイルは、Headコイル

Table.2 fiber trackingの設定ROIに対して描出されたtractoの数 (Headコイル ; 左右26, 短径コイル ; 左右22)

設定ROI 使用コイル	①大脳脚(seed)と中心前回(target)	②内包後脚(seed)と中心前回(target)	①、②の設定による描出不可能症例
Headコイル	26 tracto中 13	26 tracto中 13	なし
短径コイル	22 tracto中 17	22 tracto中 5	なし

と比べSNRが高く、画像の均一度についても感度補正技術であるCLEARを使用することで、同等の画質が得られている。これら基礎的検討の結果を反映し、臨床での画像評価は短径コイルの方

が高かった。今後、新生児頭部MRI検査に短径コイルを使用することで得られるSNRの優位性を、画像の高解像度化やParallel imagingによる時間分解能の向上に配すことで臨床検査に活かし

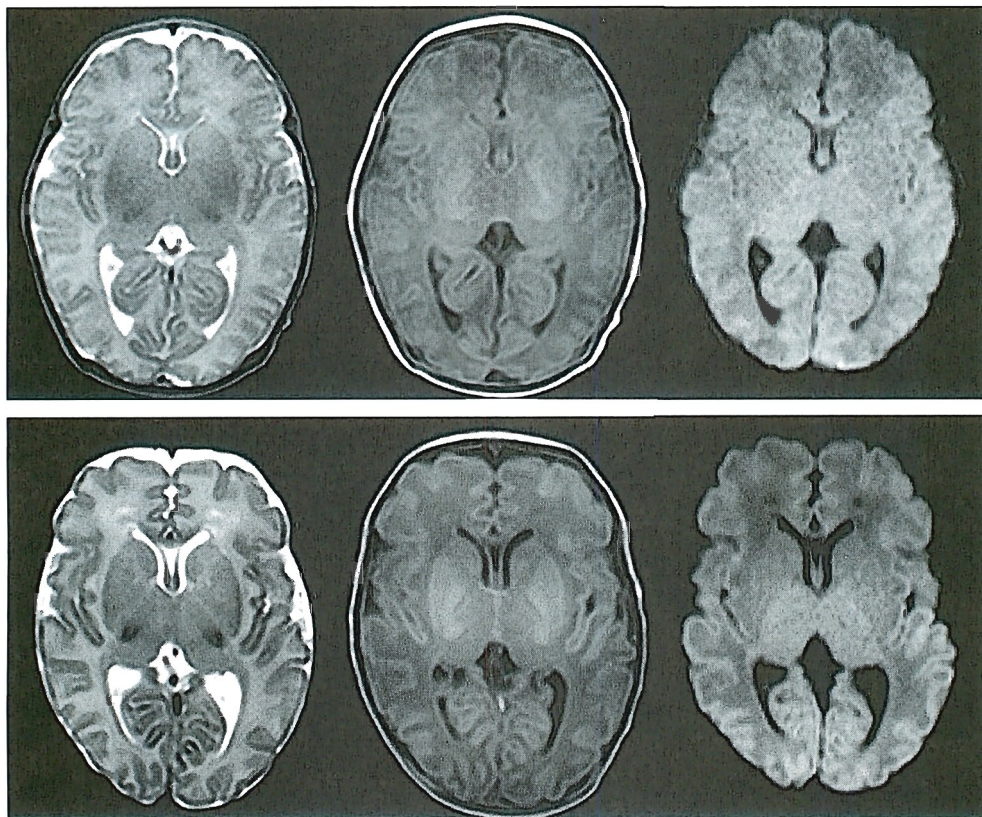


Fig. 7 Headコイル(上段; 修正週数 37週6日)と短径コイル(下段; 修正週数 37週1日)による実際の臨床画像

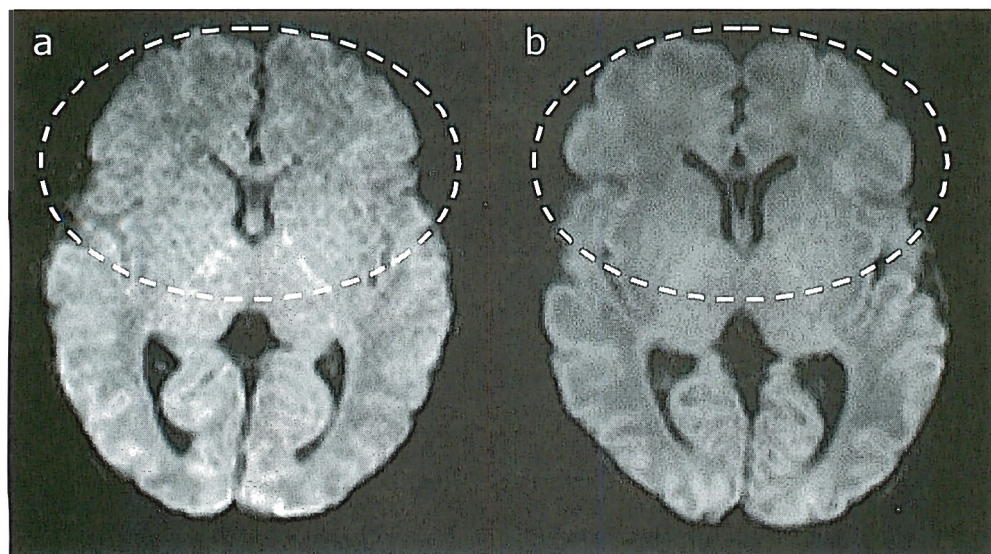


Fig. 8 Headコイル(a)と短径コイル(b)で撮像したisotropic DWIの画像比較。(a)においてコイル表面から距離の離れた前頭部のノイズが目立つ

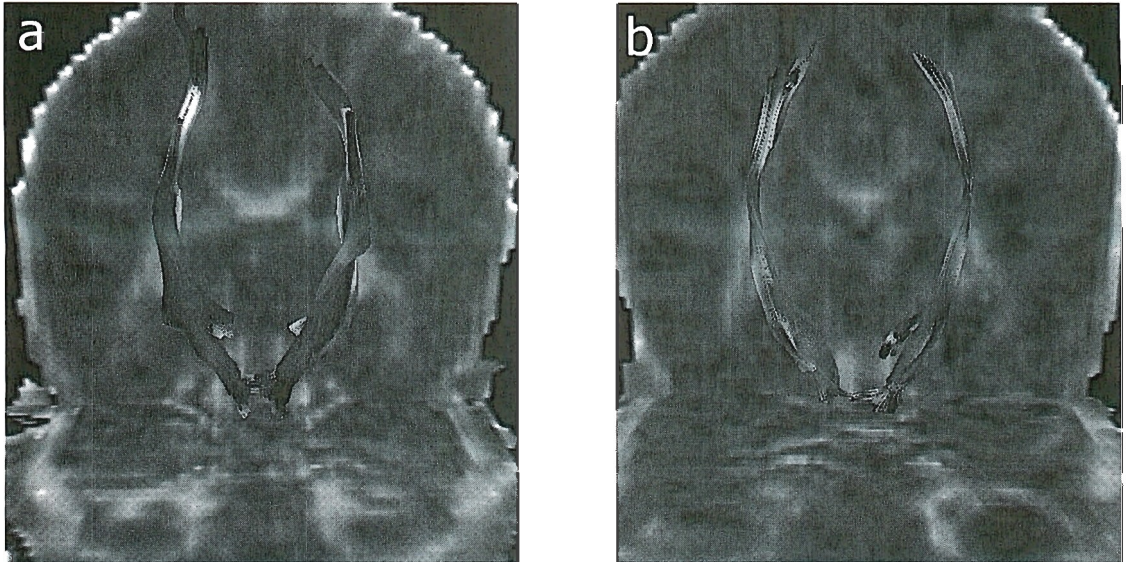


Fig. 9 Headコイル(a)と短径コイル(b)による錐体路の拡散テンソル画像(Headコイル;修正週数 37週2日, 短径コイル;修正週数 37週1日)

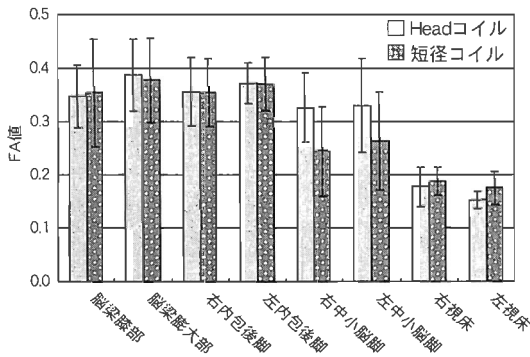


Fig. 10 Headコイルと短径コイルのFA値比較

ていきたい。

### 引用文献

- 1) 安藤久美子 他：周産期低酸素性虚血性脳症のMRI診断, 日本磁気共鳴医学会雑誌, 26:68-77, 2006.4.15
- 2) 宮地利明, 今井 広, 小倉明夫, 他：Parallel MRIにおける画像SNR評価法の問題点. 日放技学誌, 62(1), 145-148, (2006).
- 3) Miyati T, Imai H, Ogura A, et al.: Novel SNR determination method in parallel MRI. Proc. Of SPIE, 6142, 1244-1250, (2006).
- 4) National Electrical Manufacturers Association: Determination of signal-noise ratio in diagnostic magnetic resonance imaging. NEMA Standard Publications, MS

1, (1988).

- 5) Price RR, Axel L, Morgan T, et al.: Quality assurance methods and phantoms for magnetic resonance imaging: Report of AAPM nuclear magnetic resonance Task Group No.1 Med Phys, 17(2), 287-295, (1990)
- 6) 笠井俊文 他：放射線技術学シリーズ MR撮影技術学, オーム社, 東京, 2002.4.30
- 7) 宮地利明 他：MRIの安全性, 日本放射線技術学会雑誌, 59:1508-1516, 2003.12
- 8) 青木茂樹 他：これでわかる拡散MRI, 秀潤社, 東京, 2005.10.1