

脳動脈瘤塞栓術用離脱式coilによるMRIアーチファクト についての実験的検討

安陪等思^{1,3)} 広畑 優²⁾ 才田義文³⁾ 内山雄介¹⁾ 田中法瑞¹⁾ 竹内靖治²⁾ 早瀬尚文¹⁾

Experimental study of MRI artifact from detachable coil for cerebral aneurysmal embolization

Toshi ABE^{1,3)} Masaru HIROHATA²⁾ Yoshifumi SAITA³⁾ Yusuke UCHIYAMA¹⁾ Norimitsu TANAKA¹⁾
Yasuharu TAKEUCHI²⁾ Naofumi HAYABUCHI¹⁾

1) Department of Radiology, Kurume University School of Medicine

2) Department of Neurosurgery, Kurume University School of Medicine

3) Center for Diagnostic Image, Kurume University Hospital

●Abstract●

Background and Purpose: 3D TOF MRA is widely used for follow-up study of patients with cerebral aneurysm treated with detachable coil embolization. Recently, several detachable coils have been introduced on to the market. This study aimed to evaluate imaging artifacts of detachable coils for cerebral aneurysm embolization with 1.5 T and 3.0 T MR imaging.

Materials and Methods: Ten types of detachable coil were evaluated. Coils were extended on the acryl phantom for MRI. Models were tested with T2* sequences and 3D TOF MRA sequences for visual evaluation of susceptibility artifacts.

Results: Minimal susceptibility artifacts were observed from the platinum coil itself. In two of the ten coils, spherical form susceptibility artifacts were observed at the detachment zone of the coil. The diameter of the artifact was over 4mm in TOF sequences on 3T MR system. The component of the detachment zone of the Electro Detach (ED) coil (Kaneka, Osaka, Japan) with anti-unraveling system was a cause of artifact as well.

Conclusion: MR image artifact was recognized from a small part of the ED coil. New materials for implants should be evaluated, not only for treatment efficacy but also for image quality in follow-up studies.

●Key Words●

artifact, cerebral aneurysm, detachable coil, MRA

1) 久留米大学 放射線科

2) 久留米大学 脳神経外科

3) 久留米大学病院 画像診断センター

<連絡先: 安陪等思 〒830-0011 福岡県久留米市旭町67 E-mail: toshiabe@med.kurume-u.ac.jp>

(Received March 25, 2008 : Accepted May 28, 2008)

はじめに

脳動脈瘤の瘤内塞栓術後における経過観察は安全性と低侵襲性に加え、MRI装置の性能向上もあって脳血管造影検査を主体としたものからMRAを主体としたものに変遷している^{2,6,11)}。これはプラチナを主成分としたcoilによるMRAにおける磁化率アーチファクトが臨床的に問題とならない程度であったためである。近年、いくつかの種類のcoilが市販されるようになり、かつ、3.0Tesla (T) のMR装置も普及しつつある。今回我々は塞栓術後の3.0T MRAによる経過観察において、coilに

由来すると考えられる原因不明の磁化率アーチファクトを経験したので、これについて検証する必要があると考え実験を計画した。

対象と方法

対象としたcoilは当院で使用経験がある10種類ですべて市販されているものである。①Guglielmi detachable coil (GDC) 10-US 4mm-8cm (Boston Scientific, Natick, MA, USA), ②GDC10-soft 4mm-8cm (Boston Scientific, Natick, MA, USA), ③Micosphere 10 4mm-7.5cm (Micrus Endovascular Corporation, San Jose,

CA, USA), ④ HELIPAQ 10 4mm-8cm (Micrus Endovascular Corporation, San Jose, CA, USA), ⑤ Electro Detach (ED) coil 10 soft 4mm-8cm (カネカ, 大阪, 日本), ⑥ ED coil 10 extra soft 4mm-8cm (カネカ, 大阪, 日本), ⑦ Microplex 10 HELICAL Regular 5mm-15cm (Microvention, ALiso Viejo, CA, USA), ⑧ Microplex 10 COMPLEX 5mm-12cm (Microvention, ALiso Viejo, CA, USA), ⑨ TRUFILL DCS Orbit Mini Complex 4mm-8cm (Cordis Neurovascular, Miami Lakes, FL, USA), ⑩ TRUFILL DCS Complex Fill 3mm-4cm (Cordis Neurovascular, Miami Lakes, FL, USA) の10種類を用いた。

使用したMR装置は1.5T (Magnetom Symphony, Siemens, Erlangen, Germany) と3.0T (Signa 3.0 HDx, GE Healthcare, Milwaukee, Wis, USA) である。撮像のシーケンスはTime-of-Flight (TOF) 法による3D-MRA撮像シーケンスであり、当院で用いることが可能な最短TE (1.5Tで2.6msec, 3.0Tで2.7msec) とTE=4.0msecを用いた。TRは1.5Tで35msec, 3.0Tで25msecであり、Flip Angleはそれぞれ25度と30度、撮像ボクセルの大きさは $0.6 \times 0.6 \times 0.6\text{mm}$ と $0.4 \times 0.4 \times 0.4\text{mm}$ のできる限り小さなものに設定した。

自作のアクリル製固定台に用手的に伸展した状態で固定したcoilをファントム内の水中に沈め撮像を行った (Fig. 1A)。磁化率アーチファクトに鋭敏なT2* imageで位置決めと検出を行い、3D TOF MRAシーケンスでの撮像を行った。視認できるアーチファクトについては撮像ごとに同一部位で直径の計測を行った。

次にアーチファクトを認めたcoilについてはcoilを構成する部品についての評価を次のように行った。すなわち、構成部品の一部を除いたcoilを伸展させてプラスチックのチューブに入れて固定して前述と同様にファントム内の水中に沈めた状態で撮像を行った。coilの構成部品は先端部、coil本体、離脱部分に相当する手元端接合部の3種類に分類した。その上で、手元端接合部を取り除いたものと取り除かないものについて検討した。手元端接合部については異なる2社から調達されていたので、それぞれについて検討を行った。対照にはGDC10 USを用いた。

また、アーチファクトの原因特定のために原因部品についての成分分析を追加した。

結果

1.5Tおよび3.0T装置でのT2*を用いた位置決め画像において、矢印に示す部分に強い磁化率アーチファクトを観察した (Fig. 1B, C)。これらはED coilのデリバリーワイヤーとの離脱部分に相当していた。coil自体の観察はすべてのcoilで可能であり、また、coil本体部分からのアーチファクトは見られなかった。ED coil以外のcoilにおいては問題となる大きさのアーチファクトはいずれの部分からも観察されなかった。3D-TOF-MRAにおけるこのアーチファクトの最大径は1.5TではTE=2.6msecで3.5mm (Fig. 2A), TE=4.0で4.6mmであり (Fig. 2B), 3.0TではTE=2.7msecで4.8mm (Fig. 2C), TE=4.0で5.3mmであった (Fig. 2D)。

次にアーチファクトが認められたED coilについての検討では、手元端接合部があるものではアーチファクトが観察され、手元端接合部がないもの、異なる調達先のものからは同アーチファクトは観察されなかった (Fig. 3)。アーチファクトが認められた手元端接合部におけるElectron Probe Micro Analysis (EPMA) 法により、鉄とニッケルのピークが観察されたために、Inductively Coupled Plasma (ICP) 分析法による定量分析を追加した。その結果coil 1本当たりの鉄の含有量が $0.0489 \mu\text{g}$ であり、ニッケルが $0.0426 \mu\text{g}$ であった。また、調達先の異なった部品を用いたものでは鉄の含有量は $0.000012 \mu\text{g}$ 、ニッケルが $0.000006 \mu\text{g}$ であった。

考察

MRIにおいて静磁場の不均一性を引き起こす強磁性体の存在は、強い磁化率アーチファクトを来す。鉄、コバルト、ニッケルは強磁性体の代表的金属である。弾丸を対象としたMRIのアーチファクトの研究において鉄とニッケルによる磁化率アーチファクトが観察されているが、強磁性体を含まない金属に由来する磁化率アーチファクトはほとんど認められないことが報告されている⁴⁾。今回の実験において強いアーチファクトを認めたのは、ED coilの手元端接合部を構成する金属部品であることがわかった。微量ではあるがほかの構成部品に比べて鉄とニッケルを含有量が高かったことが原因であった。この部品を鉄とニッケルの含有量が低いものに交換することで、磁化率アーチファクトが問題とならない画質を得ることができることがわかった。

今回観察されたアーチファクトの直径は1.5Tと3.0Tと

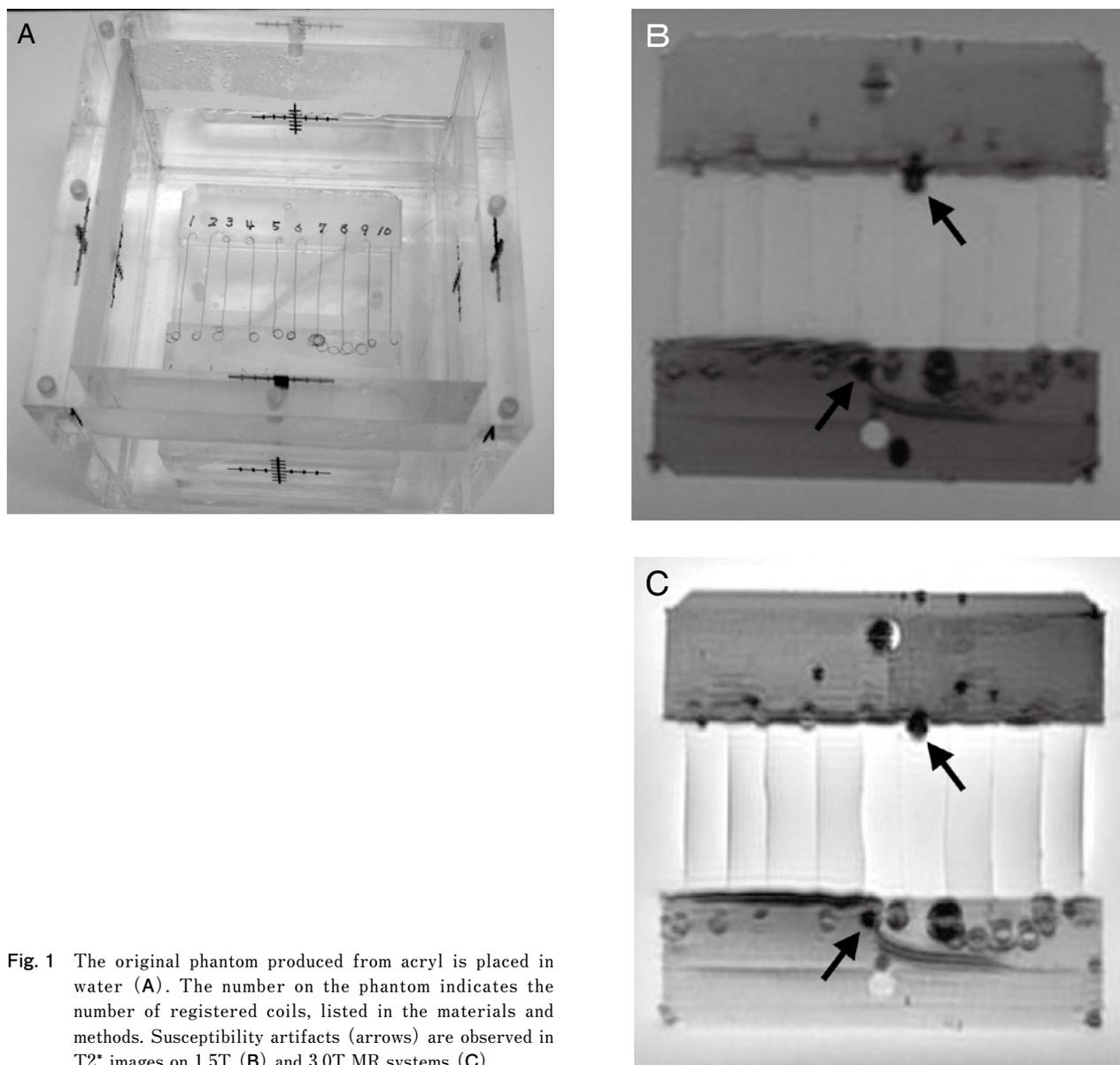


Fig. 1 The original phantom produced from acryl is placed in water (A). The number on the phantom indicates the number of registered coils, listed in the materials and methods. Susceptibility artifacts (arrows) are observed in T2* images on 1.5T (B) and 3.0T MR systems (C).

もに脳動脈瘤の親動脈の大きさに匹敵するものであった。TE=4.0msecと長めに設定した場合にはさらに大きなアーチファクトを呈していた。また、同じTEでは静磁場強度が強い方が大きなアーチファクトを呈していた。TE=4.0msecよりもさらにTEを延ばせばより大きなアーチファクトを呈すると予想されるが、今回の検討では脳動脈瘤の塞栓術後経過観察目的のMRAでTEを長めに設定して用いられる頻度は低いと考え、その検討は行わなかった。

このcoilの手元端接合部が比較的大きなcoil塊の内部にあった場合には、磁化率アーチファクトがMRAに影響を及ぼさない場合もあると思われる。しかし、フィニ

ッシングcoilとして用いられた場合などで、脳動脈瘤の頸部近傍に手元端接合部が位置した場合や親血管内に逸脱した場合には親動脈に強い偽狭小化所見を呈することとなると考えられる。プラチナcoil自体も磁化率アーチファクトを起こしうるが、1.5Tにおいては比較的小さなものであることが報告されている^{1,3,9)}。また、3.0Tにおいてもその影響は小さなものであることがすでに報告されている⁵⁾。

従来、coilに起因した信号低下が親動脈の偽狭窄所見を呈することも知られているが、TEを短縮することで改善が得られ、MRAによる経過観察の有用性を否定するものではないとされている¹⁾。磁化率アーチファクト

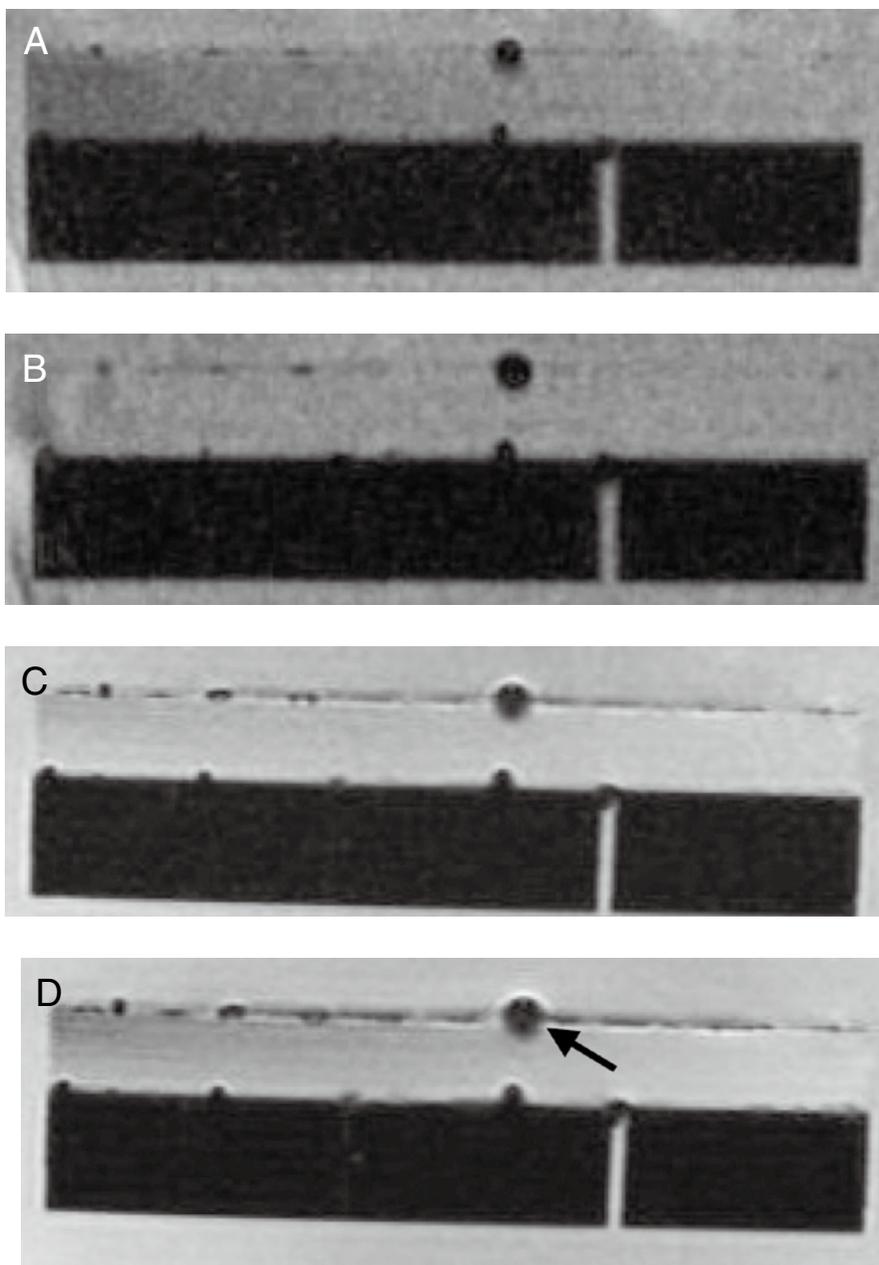


Fig. 2 Source images of 3D TOF-MRA with different TE on a 1.5 or 3.0T MR system. Size of the susceptibility artifact is increased with the following sequences. Measured diameters of the artifacts are 3.5mm on TE=2.6msec, 1.5T (A), 4.6mm on TE=4.0msec (B), 1.5T, 4.8mm on TE=2.7msec, 3.0T (C), 5.3mm on TE=4.0msec, 3.0T (arrow) (D).

についての対応策はTEを短縮することが一般的である。特に脳動脈瘤の経過観察においては関心領域を限定して、できる限り短いTEと小さいボクセルサイズを使用することでcoilに由来する磁化率アーチファクトを小さなものにすることができ、その結果、血管造影検査よりも瘤内残存血流についての評価における優位性が得られたと報告されている¹¹⁾。しかし、日常診療における条件設定については装置の性能に負うところが多く、臨床的

に問題とならないようにできるかどうかはそれぞれの施設の状況によるというのが現実であろう。

MR検査における安全性と画質の評価は、人体内に留置する製品については当然行われるべきものであると考えられる。3.0T MRIにおいてもGDCの安全性と画質の検討が報告され⁵⁾、また、Neuroform (Boston Scientific, Natick, MA, USA) でも同様の検討がすでに報告されている⁷⁾。今後は我が国において開発される製品において

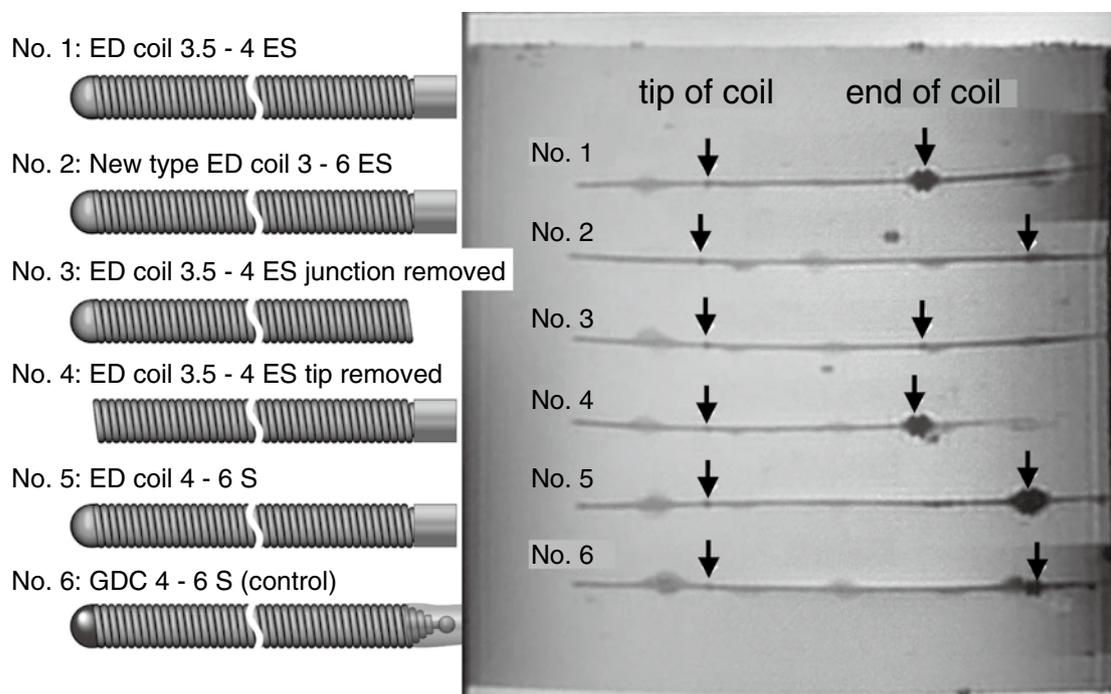


Fig. 3 Schema of the tested coils and T2* images of the coils on the phantom. The number on the schema indicates the number on the T2* image. Tip of the coil and end of the coil on the phantom are indicated by arrows. Definite susceptibility artifacts are observed for No.1, 4 and 5. These artifacts originate from parts of the junction between the coil and delivery wire. No artifact is observed for No.2 or No.3. For No.2, the junction part is provided from a different supplier. The junction part is removed for No.3.
ES : extra soft, S : soft

も必要な検査項目として軽視されることがないように望まれる。

今回認められた磁化率アーチファクトは3D TOF MRAの撮像条件設定を変更することでは完全に対応できないほど強いものであると考えられ、他の対策法を考える必要がある。造影MRAは脳動脈瘤塞栓術後の経過観察での有用性はあまり高くはないとも言われているが⁸⁾、MR装置の性能向上に伴って造影MRAでのこのアーチファクトへの対応が期待される。また、比較的侵襲性の低い検査法として、造影剤の静脈注入を併用した三次元回転血管造影があげられる¹⁰⁾。金属からの影響が少ない画像が得られる可能性は高いと考えられるが、このアーチファクトへの対応策としての報告はまだない。

まとめ

脳動脈瘤塞栓術後の3D TOF MRAを用いた経過観察においてはED coilの手元端接合部に由来する磁化率アーチファクトが起こりうる。本実験から、その原因は特定部品の鉄とニッケルの含有が多量であったためと判明した。生体に留置する製品については安全性に加え、経過観察における画質についても評価が必要である。

文献

- 1) Anzalone N, Righi C, Simionato F, et al. Three dimensional time-of-flight MR angiography in the evaluation of intracranial aneurysms treated with Guglielmi detachable coils. AJNR 21:746-752, 2000.
- 2) Costalat V, Lebars E, Sarry L, et al. In vitro evaluation of 2D-digital subtraction angiography versus 3D-time-of-flight in assessment of intracranial cerebral aneurysm filling after endovascular therapy. AJNR 27:177-184, 2006.
- 3) Derdeyn CP, Graves VB, Turski PA, et al. MR angiography of saccular aneurysm after treatment with Guglielmi detachable coils: preliminary experience. AJNR 18:279-286, 1997.
- 4) Hartman J, Nguyen T, Larsen D, Teitelbaum GP. MR artifacts, heat production, and ferromagnetism of Guglielmi detachable coils. AJNR 18:497-501, 1997.
- 5) Hennemeyer CT, Wicklow K, Feinberg DA, et al. In vitro evaluation of platinum Guglielmi detachable coils at 3T with a porcine model: safety issues and artifacts. Radiology 219:732-737, 2001.
- 6) Majoie CB, Eprengers ME, van Rooij WJ, et al. MR angiography at 3T versus digital subtraction angiography in the follow-up of intracranial aneurysms treated with detachable coils. AJNR 26:1349-1356, 2005.

- 7) Nehra A, Moran CJ, Cross DT 3rd, et al: MR safety and imaging of neuroform stents at 3T. AJNR 25:1476-1478, 2004.
- 8) Pierot L, Delcourt C, Bouquigny F, et al: Follow-up of intracranial aneurysms selectively treated with coils: Propective evaluation of contrast-enhanced MR angiography. AJNR 27:744-749, 2006.
- 9) Shellock FG, Detrick MS, Brant-Zawadski MN: MR compatibility of Guglielmi detachable coils. Radiology 203:568-570, 1997.
- 10) Toyota S, Iwaisako K, Takimoto H, et al: Intravenous 3D digital subtraction angiography in the diagnosis of unruptured intracranial aneurysms. AJNR 29:107-109, 2008.
- 11) Yamada N, Hayashi K, Murao K, et al: Time-of-flight MR angiography targeted to coiled intracranial aneurysm is more sensitive to residual flow than is digital subtraction angiography. AJNR 25:1154-1157, 2004.

JNET 2:119-124, 2008

要 旨

【目的】 3D Time-of-flight (TOF) magnetic resonance angiography (MRA) は離脱式coilによる脳動脈瘤塞栓術後の経過観察に有用であり、広く臨床応用されている。本研究の目的は1.5Tと3.0T MR装置を使用して、本邦で使用されている各種coilによるアーチファクトを評価することである。**【対象と方法】** 現在市販されている10種類のcoilを用いて実験を行った。自作のファントムにcoilを伸展した形状で固定し、T2*と3D TOF MRAのシーケンスを用いて検査した。アーチファクトを認めたものでは発生の原因を検索する目的で、coil成分の検討を追加した。**【結果】** coil自体からのアーチファクトは本実験で使用したすべてのcoilにおいてごくわずかで、臨床問題とはならないと思われた。ただし、Anti-Unraveling機構を有するElectro Detach coil (カネカ, 大阪) のcoilの離脱部分において比較的大きな磁化率アーチファクトが認められ、その大きさは3.0Tで4 mm以上であった。その原因は鉄とニッケルの含有量が高かったことによると判明した。**【結論】** 離脱式coilの部品からのMRIでのアーチファクトが確認された。生体に留置する製品については治療効果のみではなく、経過観察時の画像診断における画質についても十分な評価がなされるべきである。