

「磁性アタッチメントとMRI」

歯科用磁性アタッチメント装着者のMRI安全基準マニュアル（案）

監修 日本磁気歯科学会 安全基準検討委員会

2012年 月

はじめに

MRI 検査は、近年のめざましい技術進歩によって、装置の高磁場化・高出力化による画質の向上や検査時間の短縮が可能となったことから、医科領域において急激に需要が高まりつつある。それに伴い、体内金属装着者において、人体への為害作用がさらに問題視されるようになった。

現在の歯科治療では、特に高齢者に磁石(磁性アタッチメント)を用いて義歯を維持安定させる処置が普及している。また、高齢者は、様々な全身疾患を有している可能性が高く、さらに口腔領域は MRI 検査頻度が非常に高い頭頸部と近接しているため、磁性アタッチメント(特に口腔内に装着するステンレス製キーパー)の MR 装置に対する安全性について、情報提示が必要である。

日本磁気歯科学会では現状の MR 検査現場での混乱や情報の不統一に対応するため、国際規格 (ASTM 規格) に準じ口腔内に使用する磁性アタッチメントの MRI 検査における安全性について検討のため、**偏向力試験および発熱試験を行い**、MR 装置に対する安全性について検討した。また、生体安全性とは直接関連しないが、口腔内に設置されたキーパーによる**金属アーチファクトの発生が MRI の撮像に及ぼす影響**についても検討を行った。それらの結果を報告すると共に、現時点での日本磁気歯科学会としての指針を、歯科医療従事者および歯科放射線技師を対象としたマニュアルとして報告する。

1. MRI (Magnetic Resonance Imaging,磁気共鳴断層撮像法) とは  
 人体の大部分を占める水素原子核 (proton) と磁場 (核磁気共鳴現象) を利用して、人体内部の情報をコンピュータで画像にする方法です。  
 MR 装置には低磁場から高磁場の装置があり、現時点では 0.3~3.0 T の装置が普及しています。我が国で現在使用されている機種の一覧を示します (表 1)。

2. 歯科用磁性アタッチメントとは

歯科用磁性アタッチメントは磁石構造体 (磁石) とキーパー (磁性ステンレス) からなり、義歯に取り付けられる磁石と口腔内の歯根に取り付けられるキーパーとの間の吸引力により義歯が吸着し維持されます (図 1)。

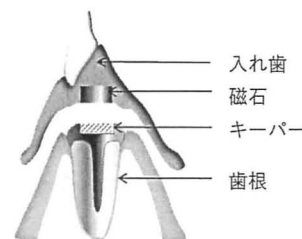


図 1 磁性アタッチメントの構造

口腔内に設置されるキーパーは磁性ステンレスであり、主に SUSXM27、SUS430、SUS447J1、SUS444 (AUM20) のいずれかで製作されています。重量はおおよそ 30 mg~120 mg です。

現在、市販されている歯科用磁性アタッチメントを表 2 に示します。表 3 にステンレス鋼の化学成分を示します。

\*キーパーは磁石ではありませんので、義歯を外して撮像を行った場合、磁石の吸着が損なわれる心配はありません。しかし、義歯を装着したまま撮像を行ったり、MR 室内へ入ると磁石の吸引力が喪失したり、義歯が飛び出したりする危険性がありますので注意してください (図 2)。

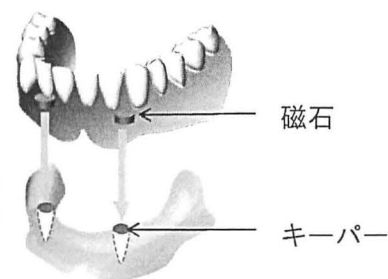


図 2 磁性アタッチメント義歯

3. MR 撮像における磁性アタッチメント装着者の注意点

1) MR 装置の磁場と磁性アタッチメントの力学的影響 (トルク・偏向力)  
 キーパーと口腔内の補綴装置 (根面板、キーパー付きポスト、インプラントなど) の間が緩んでいたり、外れかかっていると MR 装置の磁場により、口腔内でキーパーが脱離して口腔粘膜を損傷したり、誤嚥、誤飲を引き起したりする恐れがあります。口腔内のキーパーと、周囲の歯科用装置が外れていないか確認してください。まれに、MR 装置から受け

る磁力により、被験者がキーパー周囲の違和感や疼痛を訴える事があります。わずかでも異常を訴えた場合には、検査を中止し、歯科医院に連絡するように患者さんに指示してください。

キーパーが 3.0-T の MR 装置によって受ける力学的作用は最も大きいキーパーでおおよそ 9.0 g です。磁場の影響を最も受ける MRI 装置のガントリー（装置の入口）付近で注意が必要になります。

## 2) MR 装置の発熱による影響

磁性アタッチメントのキーパー付き歯科用装置は、MR 撮像中のラジオ波の影響により発熱が認められます。発熱試験の結果では、キーパー付き歯科用装置は、3.0-T MR 装置（Philips 社製 Achieva 3.0T Nova Dual および GE 社製 Signa HDxt 3.0T）での 20 分間の最大 SAR 照射により最大で 0.8 °C の温度上昇を記録しました。RF 照射 6 分程度の時点では、キーパー付き歯科用装置の温度上昇は 0.2 ~ 0.3 °C であり、撮像時間が 15 分以内であれば 0.5 °C を上まわりません。つまり、通常の撮像時間（15 分以内）では、生体への影響はないと考えられます。

## 3) キーパーアーチファクトによる読像への影響

キーパーによる金属アーチファクトの出現を阻止することは困難です。アーチファクトは MR 装置の静磁場強度や装置の性能に大きく左右されますが、一概に高磁場装置の方が金属アーチファクトの影響が大きくなるとは限りません。スピンエコー法（SE 法）におけるアーチファクトの範囲はおおよそ半径 4~8cm であり、キーパーの設置部位によってアーチファクトの出現部位が変わり影響が異なります。MRI で撮像する部位や選択された撮像方法、すなわち疑われる疾患によって、読像の可否が決まります。撮像部位が口腔底、舌、咽頭などの口腔周囲組織である場合や、撮像に磁化率の影響を強く受ける撮像方法を用いる場合には、アーチファクトにより、撮像は困難となります。

キーパーの除去が必要と判断された場合、歯科医院にて簡単にキーパーを除去する事が可能ですので、患者または歯科医師まで指示してください。

下顎犬歯部と上顎第2第臼歯にキーパーが設置された場合の予想されるスピネコー法でのアーチファクトの範囲（図3、図4）。

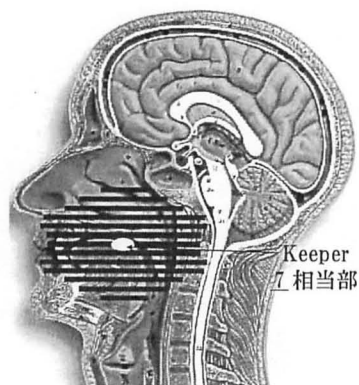


図3 アキシャル断面

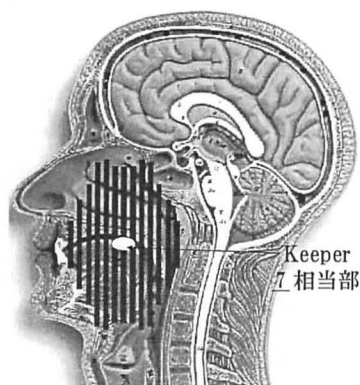


図4 コロナル断面

#### キーパーの除去について

口腔、舌、咽頭などの口腔周囲組織を撮像する場合、アーチファクトにより、読像は困難になります。この場合、キーパーの除去が必要です**がキーパーをKB法により根面板に設置しておく**と容易に除去できます**（図5、6）**。

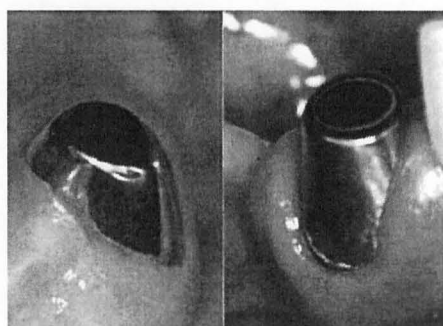


図5 鑄接法(左)とKB法(右)

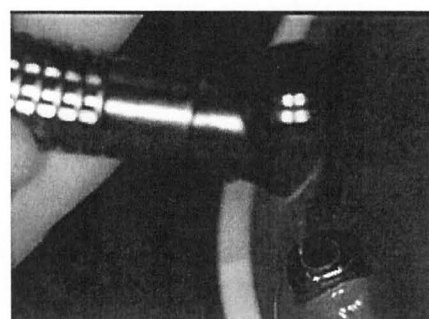


図6 KB法で合着されたキーパーの除去

なお、磁性アタッチメントの磁石とキーパーのセット以外で現在市販されている**鑄造用磁性合金を応用した磁性アタッチメント義歯は、通常用いるキーパーよりも多量の磁性合金を用いるため、アーチファクトや発熱の影響が大きくなります。安全性の観点では使用を推奨致しません。**

表 1

社名	GEヘルスケアジャパン		シーメンス旭メディック		東芝メディカルシステムズ		フィリップスエレクトロニクスジャパン		フィリップスエレクトロニクスジャパン		島津製作所	
機種名	SIGNA Contour	0.5 T	MAGNETOM Avento	1.5 T	EXCELART	1.5 T	INTERA 1.0T	1.0 T	APERTO	0.4 T	EPIOS 5	0.5 T
	SIGNA Profile	0.2 T	MAGNETOM Symphony	1.5 T	EXCELART VG	1.0 T	INTERA 1.5T	1.5 T	MRP-20	0.2 T	EPIOS 10	1.0 T
	SIGNA 1.0T	1.0 T	MAGNETOM Harmony	1.0 T	FLEXART	0.5 T	GYROSCAN ACS-NT	1.5 T	MRP-20EX	0.2 T	EPIOS 15	1.5 T
	SIGNA 1.5T	1.5 T	MAGNETOM P8	0.2 T	OPART	0.35 T	GYROSCAN NT5	0.5 T	MRP-5000ad	0.2 T	EPIOS PD 250	1.5 T
	Signa HDxt 3.0T	3.0 T	MAGNETOM Vision	1.5 T	VISART	1.5 T	GYROSCAN T10-NT	1.0 T	MRP-7000	0.3 T	MAGNEX α シリーズ	0.5 T
	EXCITE HD 3.0T	3.0 T	MAGNETOM Cencerto	0.2 T	MRT-50	0.5 T	Panarama 1.0T	1.0 T	MRP-7000AD	0.3 T	MAGNEX 50 シリーズ	0.5 T
	EXCITE HD 1.5T	1.5 T	MAGNETOM Impact	1.0 T	MRT-200	1.5 T	Achieva 3.0T	3.0 T	AIRIS	0.3 T	MAGNEX 100 シリーズ	1.0 T
	MR Vectra	0.5 T	MAGNETOM Trio	3.0 T			Achieva 1.5T	1.5 T	AIRIS II comfort	0.3 T	SMT-50	0.5 T
	Sierra	1.5 T	MAGNETOM Verio	3.0 T					AIRIS mate	0.2 T	SMT-150	1.5 T
	RESONA	0.5 T	MAGNETOM ESSENZA	1.5 T					AIRIS Elite	0.3 T	ECLIPSE	1.5 T
			MAGNETOM Open viva	0.2 T					AIRIS Vento	0.3 T		
			MAGNETOM Allegra	3.0 T					OASIS	1.2 T		
									MRH-500	0.5 T		
								ECHELON Vega	1.5 T			

表 2

製造	商品名		吸着面	磁石構造体		キーパー		吸引力		材質	その他		
				吸着径 (mm)	高さ (mm)	吸着径 (mm)	高さ (mm)	gf	N		磁石構造体	キーパー	
愛知製鋼	マグフィットEX	600W	楕円	3.8×2.8	1.8	3.8×2.8	1.0	600	5.9	磁石: Nd-Fe-B ヨーク: AUM20* キーパー: AUM20* *SUS444相当		鋳接用	
		400W	楕円	3.4×2.4	1.5	3.4×2.4	0.8	400	3.9			鋳接用	
	マグフィットDX	DX800	円	φ4.4	1.3	φ4.0	0.8	800	7.8			鋳接用	
		DX600	円	φ4.0	1.2	φ3.6	0.7	600	5.9			鋳接用	
		DX400	円	φ3.4	1.0	φ3.0	0.5	400	3.9			鋳接用	
	マグフィットSX2	S	円	φ4.7	1.4-1.8	φ3.3	7.5	400	3.9			スライド機構	レジコーピング用
		L	円	φ5.2	1.6-2.0	φ3.7	7.7	600	5.9				
	マグフィットRKR/マグフィットDXC	RKDX-FL	円	φ4.4	1.3	φ4.0	5.8	800	7.8			フラットタイプ	
		RKDX-FS	円	φ4.0	1.2	φ3.6	5.7	600	5.9			ドームタイプ	
		RKDX-D	円	φ4.4	1.4	φ4.4	6.0	600	5.9			スクリュー式	
	リムーブキーパー インプラント用各種		円	4.5×4.0	1.2	φ3.6(最外径φ4.0)	0.8/1.6	600	5.9				
ジーシー	ギガウスC	C300	楕円	3.2×2.45	1.3	2.8×2.45	0.6	300	2.9	磁石: Nd-Fe-B ヨーク: SUSXM27 キーパー: SUSXM27		鋳接用 キーパーボンディング用	
		C400	楕円	3.5×2.7	1.3	3.1×2.7	0.6	400	3.9				
		C600	楕円	4.1×3.3	1.3	3.7×3.3	0.7	600	5.9				
		C800	楕円	4.5×3.8	1.3	4.5×3.6	0.8	800	7.8				
	ギガウスD	D400	円	φ3.0	1.3	φ3.0	0.6	400	3.9				
		D600	円	φ3.6	1.3	φ3.6	0.7	600	5.9				
		D800	円	φ4.2	1.3	φ4.2	0.8	800	7.8				
		D1000	円	φ4.9	1.3	φ4.9	0.8	1000	9.8				
NEOMAXエンジニアリング	ハイコレックススリム	2513	円	φ2.5	1.3	φ2.5	0.8	230	2.3	磁石: Nd-Fe-B ヨーク: SUS447J1 キーパー: SUS447J1		鋳接用	
		3013/3013PK	円	φ3.0	1.3	φ3.0	0.8/5.8	330	3.2			鋳接用/ レジコーピング用	
		3513/3513PK	円	φ3.5	1.3	φ3.5	0.8/5.8	470	4.6			鋳接用	
		4013	円	φ4.0	1.3	φ4.0	0.8	640	6.3				
		4513	円	φ4.5	1.3	φ4.5	0.8	780	7.6				
	ハイパースリム	2513	円	φ2.5	1.3	φ2.5	0.8	240	2.4	磁石: Nd-Fe-B ヨーク: SUSXM27 キーパー: SUS447J1		鋳接用 ダイレクトボンディング用	
		3013	円	φ3.0	1.3	φ3.0	0.8	400	3.9				
		3513	円	φ3.5	1.3	φ3.5	0.8	560	5.5				
		4013	円	φ4.0	1.3	φ4.0	0.8	730	7.2				
		4513	円	φ4.5	1.3	φ4.5	0.8	880	8.6				
		4813	円	φ4.8	1.3	φ4.8	0.8	980	9.6				
		5213	円	φ5.2	1.3	φ5.2	0.8	1100	10.8				
		5513	円	φ5.5	1.3	φ5.5	0.8	1200	11.8				
ニッシン	フィジオマグネット	25	円	φ2.5	1.3	φ2.5	0.8	240	2.4	磁石: Nd-Fe-B ヨーク: SUSXM27 キーパー: SUS447J1		ダイレクトボンディング用	
		30	円	φ3.0	1.3	φ3.0	0.8	400	3.9				
		35	円	φ3.5	1.3	φ3.5	0.8	560	5.5				
		40	円	φ4.0	1.3	φ4.0	0.8	730	7.2				
		45	円	φ4.5	1.3	φ4.5	0.8	880	8.6				
		48	円	φ4.8	1.3	φ4.8	0.8	980	9.6				
		52	円	φ5.2	1.3	φ5.2	0.8	1100	10.8				
		55	円	φ5.5	1.3	φ5.5	0.8	1200	11.8				

61

表 3

ステンレス 鋼材の種類	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	N	その他
SUS444	0.025以下	1.00以下	1.00以下	0.040以下	0.030以下	17~20.00	1.75~2.50	0.025以下	Ti, Nb, Zr(単体もしくは組み合わせ)8 ×(C%+N%)~0.80
SUSXM27	0.010以下	0.40以下	0.40以下	0.030以下	0.020以下	25~27.50	0.75~1.50	0.015以下	-
SUS447J1	0.010以下	0.40以下	0.40以下	0.030以下	0.020以下	28.5~32.00	1.5~2.50	0.015以下	-



# 磁性アタッチメントの安全性試験方法

## 検討項目

- 1, 偏向力試験 (ASTM F2052-06e1)
- 2, 高周波による発熱試験 (ASTM F2213-02a)
- 3, アーチファクト測定 (ASTM F2119-07)

## MR 装置

GE 社製 Signa HDxt 3.0T

Philips 社製 Achieva 3.0T Nova Dual

## 調査する歯科用金属

表 4. 実験に使用する検体

Material	Trade name	Composition	Dimension (mm)	Weight (g)
Keeper	GIGAUSS D400	UNS S44627	$\phi 3.0 \times 0.6$	0.034
	GIGAUSS D600	UNS S44627	$\phi 3.6 \times 0.7$	0.058
	GIGAUSS D1000	UNS S44627	$\phi 4.9 \times 0.8$	0.119
Dental implant	SETio FIXTURE 10 mm ( $\phi 3.8$ ) Custom abutment	Ti		0.663
Casting alloy	Pallatop 12 Multi	12% Au, 20% Pd, 50% Ag, 15% Cu		0.941

## 1, 偏向力の測定

規格 ASTM F2052-06e1

偏向力とは、静磁場によるインプラント等の部品に働く吸引力を磁力と比較して測定する方法で、紐で吊るした部品が、重力と吸引力に引かれる合成力を測定する。装置の磁場の傾斜が最も大きくなる部位を予備実験にて求め、図7に示すような偏向力測定器を設置し、被検体を糸で吊るし、装置の持つ磁力により吸引される角度である「偏向度  $\alpha$ 」が、45度以内であれば、被検体が日常的に受けている重力の影響よりも装置から受ける影響の方が小さいため安全であるとする試験である。

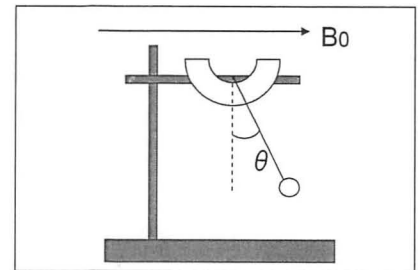


図7. 偏向力測定器 模式

### MR 装置

Philips 社製 Achieva 3.0T Nova Dual

### 測定方法

アクリル板に設定した支点到極細の糸 (15mm, 2mg) を固定し、検体を吊り下げ、吸引力によって生じる振れ角度  $\theta$  が測定できる自作の測定器具を作製。

MR 装置の検体に対する吸引力は、磁場中心よりもガントリ開口部付近で最も強くなることが知られている。MR 装置の磁場傾斜の最も強いガントリ開口部付近をガウスメータにて測定し決定する。(Philips 社製 Achieva 3.0T Nova Dual では磁場中心からの距離 83cm、テーブルからの高さ 14.5cm)

検体を瞬間接着剤にて紐に固定し、振れ角度を測定する。振れ角度より偏向力を算出する。

計算方法  $F = mg \tan \theta$  (m : 検体の質量, g : 重力加速度,  $\theta$  : 振れ角度)

## 偏光力試験測定結果

偏光力試験の結果を図 8、9 に示す。各キーパーは、磁場に強く吸引され、90 度を大きく上まわり、偏向度の測定が不可能であった。そのため、各キーパーに重りを付加し、偏向度が 45 度以下になる重さを求めた。図 8 に各キーパーの偏向度 45 度以下までに有する加重量のグラフを示す。D 400 では 3 グラム、D600 では 5 グラム、D1000 では 9 グラムの加重が必要であった。図 9 に各キーパーの偏向度より求めた偏向力を示す。D400 では 2697.4 ダイン、D600 では 4022.6 ダイン、D1000 では 8460.3 ダインであった。

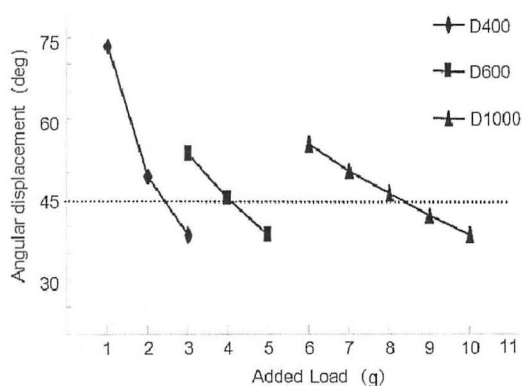


図 8 各キーパーの偏向度が 45 度以下になるまでに要した荷重量

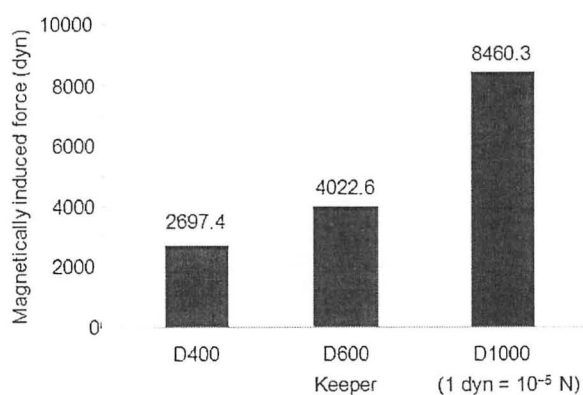


図 9 各キーパーの偏向力

## 2, 加温試験

規格 ASTM F2213-02a

この試験は、体内に埋め込まれた電子回路を内在しないインプラントが、MRI 検査においてラジオ波によって発熱し、患者に傷害をもたらす危険性がないか確認するための試験である。測定にはファントムを使用し、最も発熱が見込まれる試験条件を設定することによって、それぞれの試験体に起こりうる最大の発熱を測定する。

### MR 装置

GE 社製 Signa HDxt 3.0T

Philips 社製 Achieva 3.0T Nova Dual

### 測定部位

キーパー付きインプラント 歯肉縁相当部

キーパー付きインプラントポスト先端部

キーパー付き根面板 歯肉縁相当部

キーパー付き根面板 ポスト先端部



図 10. 左:キーパー付きインプラント 右:キーパー付き根面板

### 測定方法

測定機器：蛍光ファイバー式温度計

(FL-2000；安立計器) 2 台

温度計は熱電対温度計にて校正し、ファイバーセンサーの先端が測定部位に接するように設定する。

温度測定は、撮像開始 2 分前から撮像後 2 分間までとし、1 秒ごとに測定する。発熱は、20 分間の RF 照射における最大温度上昇で評価する。



図 11. 蛍光ファイバー式温度計 (FL-2000)

ファントム:

生体等価ファントム (表皮と等価)

組成

- ・精製水 4 l
- ・クールアガー  
(10 %カラギーナン; 新田ゼラチン)
- ・食塩 0.9 %

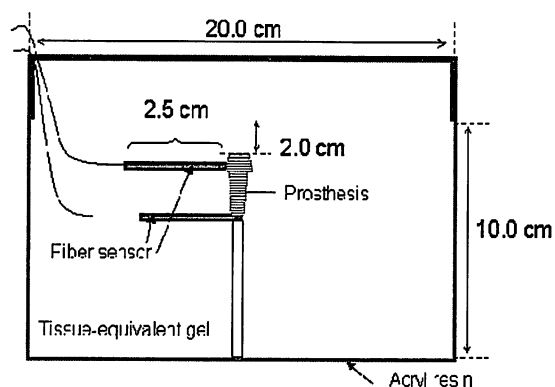


図 12. ファントムと検体の位置

人体等価ファントムと実験室温度が等しくなるように、撮像室に 12 時間以上放置後、実験を行う。

人体等価ファントムは、人体の軟組織と電気的特性が等価となるように蒸留水に塩化ナトリウムを 0.9 %、また、温度測定中にファントム内溶液が移動しないような十分な粘性を持たせるため、クールアガーを 10 %溶解する。測定に際し、十分な大きさをもつアクリル容器 (20×20×20) の容器に 10cm までゲルを満たし、重量は 4 kg 重とする。検体は表面より 2 cm の位置に埋没する。

撮像シーケンス (撮像条件は最大 SAR となるように設定)

表 5. 撮像シーケンス

MRI system	Achieva 3.0T Nova Dual	Signa HDxt 3.0T
Coil	Body-coil	Body-coil
Pulse sequence	T-SE	T-SE
Time (min)	20.02	20.19
TR (ms)	586	2340
TE (ms)	15	8.104
ETL	4	126
Flip angle	90°	90°
Number of slices	5	5
Slice thickness (mm)	10	5
Band width (Hz)	2003.2	166.67
FOV (mm)	200	200
NSA	19	51
Body-averaged SAR (W/kg)	0.9	3.0

### 加温試験 測定結果

ラジオ波照射の間、歯科補綴装置の温度は徐々に上昇した。ゲルの温度は 20 分間の RF 照射で Achieva 3.0 T Nova Dual では+0.3℃, Signa HDxt 3.0 T では+0.4℃上昇した。根面板およびインプラントの温度上昇は、ともに辺縁歯肉相当部の方がポスト先端部よりも大きい結果となった。1 分毎の温度上昇の平均値および標準偏差を図 13、14 に示す。根面板の最大上昇温度は、Achieva 3.0 T Nova Dual で+0.6℃, Signa HDxt 3.0 T で+0.8℃であった。根面板の最大上昇温度は、Achieva 3.0 T Nova Dual で+0.4℃, Signa HDxt 3.0 T で+0.6℃であった。すべての計測点において上昇温度は 1.0℃を超えなかった。

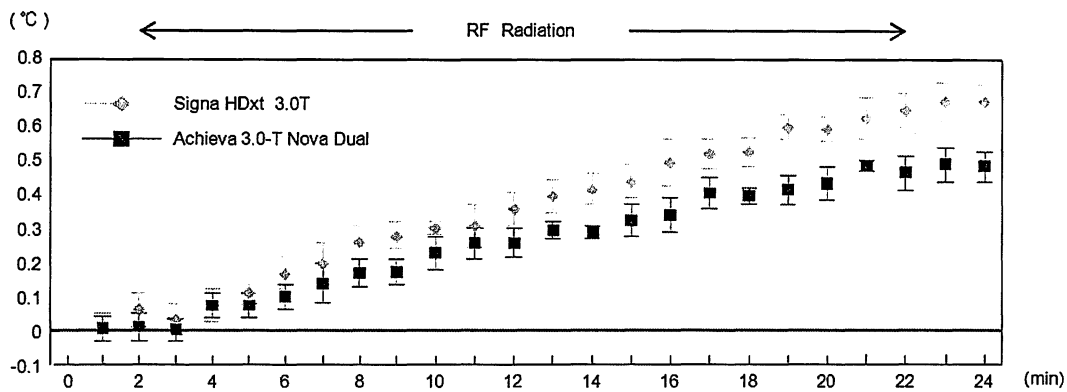


図 13 Achieva 3.0T Nova Dual と Signa HDxt 3.0T でのキーパー付き根面板の RF 照射と各分の平均温度上昇

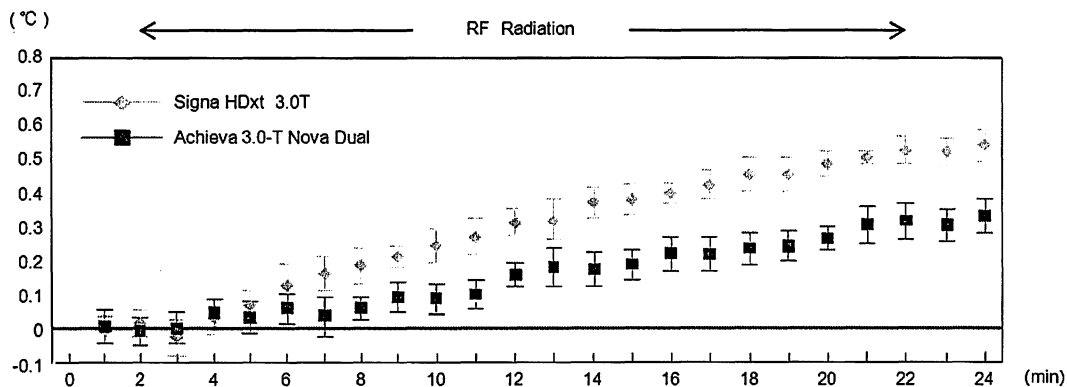


図 14 Achieva 3.0T Nova Dual と Signa HDxt 3.0T でのキーパー付きインプラントの RF 照射と各分の平均温度上昇

### 3 アーチファクトの測定

規格 ASTM F2119-07

金属が MR 画像に及ぼすアーチファクトの大きさを検討した。

#### MR 装置

Philips 社製 Achieva 3.0T Nova Dual

#### ファントム

20×20×20mm のアクリル容器の中央に、アクリル棒を設置。検体は瞬間接着剤にてアクリル棒に固定する。ファントム内溶液は、シリコンオイルとする。

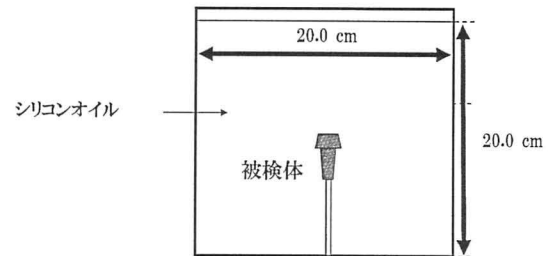


図 15 ファントム側面観

#### 試験体

表 6 MRI 撮像を行った検体

材料	製品名	組成	製造
鑄造用磁性合金	アトラクティ P (208495)	Au, Ag, Pd, Co	徳力本店
キーパー	GIGAUSS D600 (0804141)	SUSXM27 UNS S44627	GC
歯科用金銀 パラジウム合金	パラトップ12マルチ (D671367)	Au, Pd, Ag, Cu	デンツプライ三金



図 16-1 鑄造用合金根面板  
(0.927 g)



図 16-2 キーパー付き根面板  
(0.941 g)

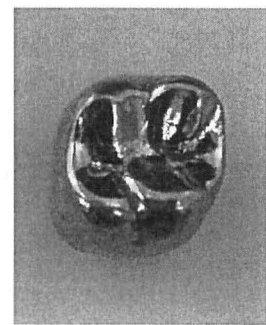


図 16-3 全部鑄造冠  
(2.58 g)

撮像シーケンス 表7 MRI撮像に用いたシーケンス

撮像シーケンス	スピネコー法 T2強調画像	グラジエントエコー法 T2強調画像
FOV read	250 mm	250 mm
Slice thickness	5.0 mm	5.0 mm
TR	4500 ms	25 ms
TE	100 ms	2.3 ms
Flip angle	90 deg	20 deg
Band width	58.0 KHz	56.5 KHz
Echo spacing	11.3 ms	
Turbo factor (ETL)	15	

### アーチファクト試験測定結果

アーチファクト試験の結果を図15、16、17に示す。

スピネコー法 コロナル像およびアキシシャル像、また、グラジエントエコー法 アキシシャル像の比較では、全部金属冠のアーチファクトが小さいのに対して、铸造用磁性合金のアーチファクトはファントム容器の大きさを上まわった。また、キーパー付き根面板との比較では、アトラクティの方が大きい結果となった。これは、キーパー付き根面板のキーパーが0.034グラムであるのに対してアトラクティが0.927グラムとおよそ25倍の強磁性体の質量の違いを有していることによると考えられる。アーチファクトの影響を受けやすいグラジエントエコーでは、各被検体ともスピネコー法よりも大きい結果となった。

### スピネコー法 コロナル像の比較

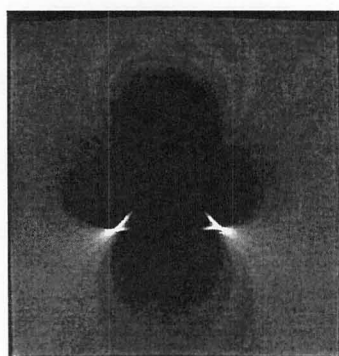


図17-1 铸造用合金根面板

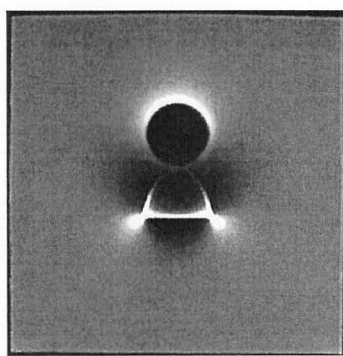


図17-2 キーパー付き根面板

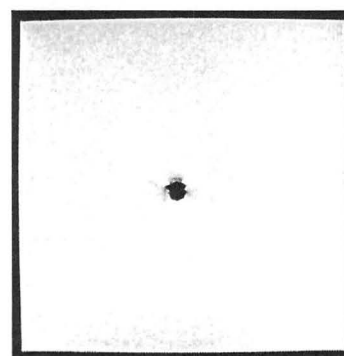


図17-3 全部铸造冠



スピネコー法 アキシャル像の比較

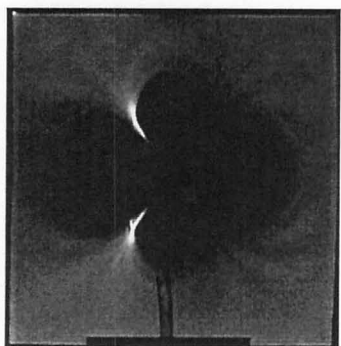


図 18-1 鋳造用合金根面板

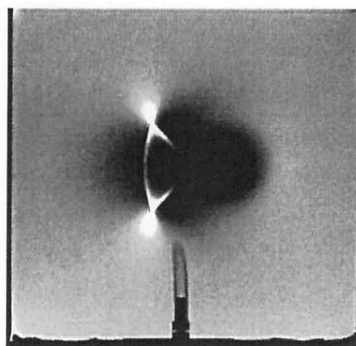


図 18-2 キーパー付き根面板

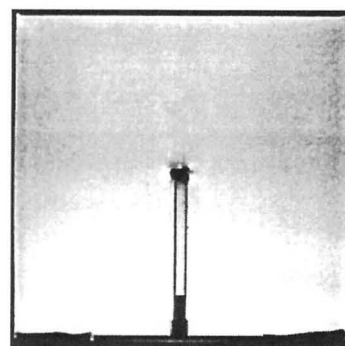


図 18-3 全部鋳造冠

グラジエントエコー法 アキシャル像の比較

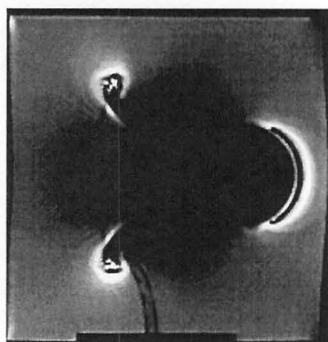


図 19-1 鋳造用合金根面板

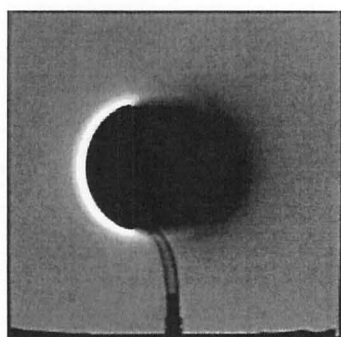


図 19-2 キーパー付き根面板

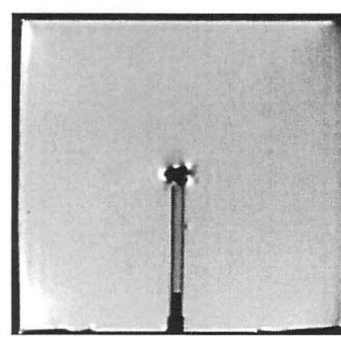


図 19-3 全部鋳造冠

## 考察

磁性アタッチメントの使用と MRI の需要の増加により、多くの磁性アタッチメント義歯使用患者が MRI 検査を受診することが予想される。主な問題は磁性アタッチメントの発熱と磁気により誘導された吸引力による危険性である。本研究は口腔内に装着され、可撤できない磁性アタッチメントのキーパーと MRI との適合性を評価した。

SAR 値は MRI の発熱に関する安全性の報告には必ず使用され、発熱の指標とされている。しかし現時点では、SAR 値は MRI 装置ごとに算出方法が異なり、異なる装置間において必ずしも相関性がなく、問題視されている。したがって、インプラントの安全性を判断するのに MRI 装置のコンソール画面に表示される SAR 値をもちいるのは危険な場合もある。よって、全ての MRI 装置によりすべての体内金属に対して安全試験にて確認する必要がある。

今回の磁性アタッチメントの発熱試験では、実際の臨床使用の形状を想定して検体を作製し試験を行った。現時点で最も静磁場強度を有する二つの 3.0-T MRI 装置を使用し、各装置とも最大の発熱が見込まれるように、出力である SAR 値が最大になるように撮像シーケンスを設定し測定を行った。その結果、磁性アタッチメントの発熱は小さく、1 度を上回らなかった。最大 SAR が 0.9 W/kg である Achieva での最大上昇温度はインプラントで約 +0.4°C、根面板で約 +0.5°C であった。SAR が 3.0 W/kg である Signa での RF 発熱の評価は、最大上昇温度はインプラントで約 +0.6°C、根面板で約 +0.8°C であった。温度上昇は Signa の方が Achieva よりも大きかった。しかし、温度上昇の程度は制御画面に表示された SAR 値に比例しなかった。

キーパー付き根面板は支台歯の歯根に設置され、またインプラントは歯槽骨に埋入される。支台歯に設置された磁性アタッチメントが温度上昇を引き起こした場合、歯根のセメント質への為害作用、歯根膜の破壊、歯槽骨の壊死、または疼痛を起こす可能性がある。Eriksson らは、根管内の温度が 50 - 60°C 以上になると硬組織のタンパク変性が起こる可能性があるとしている。また、歯槽骨に埋入されたインプラントの発熱では、インプラントの脱落、歯槽骨の壊死または疼痛を引き起こすことが危惧される。Eriksson や Albrektsson によると、44 - 47°C (体温の 7 - 10°C 以上) の歯槽骨の温度変化で歯槽骨壊死を誘発させるとしている。さらに Ramsköld らの報告によると、歯周組織が 1 分間あたり 10°C の温度上昇をすると、歯に隣接した組織に有害となるが、血管の新生に優れているため、骨と較べて影響は少ないとしている。

今回の検討では、磁性アタッチメントの温度上昇は、口腔内の組織が安全とされる制限の 10°C にほど遠い。また、全て医療用インプラントに対して、組織の損傷および患者に不快感を与えないように規格 (SENELEC 規格 prEN45502 - 2 - 3) にて定められている指標である 2.0°C も上回らなかった。

体内金属である磁性アタッチメント装着者が MRI 検査を行うにあたって、もう一つの懸念事項は、MRI 装置の強力な磁場による磁性アタッチメントへの力学的作用である。MRI 検査での力学的評価は、偏向力試験によって行われる。ASTM 規格の偏向力試験では、偏

向力が 45°以下ならば力学的作用は地磁気による重力よりも小さいので安全とされる。本実験では、キーパーは質量が非常に小さいわりに磁化率が大きいため、キーパーに作用する力学的作用は大きく、測定された角度は 90°以上であった。しかし各キーパーに 3.0 - 9.0 g の負荷を与えることで 45°以下になることが実証された。臨床ではキーパーを単体で用いる事は考えにくく、歯科補綴装置に歯科用セメントにて合着させるか鑄造して使用される。また、キーパーの補綴装置への合着力、根面板の歯根への合着力、およびインプラント体の骨への結合力は十分であるため、偏向力に対して十分に拮抗すると考えられた。しかし、長期使用による劣化や衝撃により、キーパーが脱離しかけている可能性も否定できないため、検査前にキーパーの合着状態を確認することが重要である。

キーパーによるアーチファクトは、装置の静磁場強度と金属の磁化率に比例し、周波数エンコード用傾斜磁場強度に反比例する。そのため、MR 装置の静磁場強度や装置の性能、キーパーの大きさや数、または撮像方法に大きく左右さる。実際の臨床では、低磁場装置では SNR の向上のために、周波数域（バンド幅）が狭く設定されているため、一概に高磁場装置の方が金属アーチファクトの影響が大きくなるとは限らない。

アーチファクトの大きさへ影響を与える因子は多数あり、大きさを定量化することは不可能であるが、スピンエコー法（SE 法）におけるアーチファクトの範囲はおおよそ半径 4~8cm であった。アーチファクトの影響を小さくしたい場合には、SE 法では 1 ピクセル当たりの周波数域の小さいシーケンスを選択する必要がある。GRE 法ではそれに加え、エコータイム（TE）が短い撮像方法を選択する必要がある。装置の種類により BW の設定が出来ない場合は、TE を変化させることで連動して変化させるとよい。しかし、これらの設定を行うと、画像の SNR が低下することに加えて、アーチファクトの縮小効果には限度がある。そのため、MRI で撮像する部位や選択された撮像方法が磁化率の影響を強く受ける場合には撮像は困難となり、歯科医院にてキーパーの除去が必要になる。そうした場合、医師、MRI 検査担当者、歯科医師および磁性アタッチメント装着者の連携が重要である。