14. APT Seminar der DRG, Münster

### MR-Bildgebung und Implantate -Wechselwirkungen der elektromagnetischen Felder mit Implantaten

**Michael Bock** 

Abt. Medizinische Physik in der Radiologie (E020) Deutsches Krebsforschungszentrum Heidelberg



### **dkfz.** Motivation: Implantate im MRT

#### **Risiken von Implantaten**

- · Mechanische Kräfte auf Implantate
- · Bildartefakte
- Erhitzungen
- · Fehlfunktionen von elektronischen Geräten

# Warum sind Implantate nicht generell eine MR-Kontraindikation?

- Patienten mit Implantaten profitieren von MR-Untersuchungen, da sie zur Kontrolle oft engmaschig untersucht werden
- MR-Untersuchungen ersparen den Patienten eine hohe kumulative Strahlendosis

### **dkfz.** MR-Risiken: statisches Feld *B*<sub>0</sub>

#### Magnetische Kraft

- Ferro- oder paramagnetische
  Objekte werden angezogen
- Größte Kraft im Streufeld des Magneten (fringe field)
- Kraft ist proportional dB/dz
- aktiv abgeschirmte Magnete sind gefährlicher
- Sicherheit kann nicht allein auf Feldstärke bezogen werden
- Kraft verschwindet im Iso-Zentrum



## dkfz. Dokumentierte Unfälle mit MR-Systemen









### **dkfz.** MR-Risiken: statisches Feld *B*<sub>0</sub>

#### Drehmoment

- Magnetische Objekte richten sich im statischen Feld aus
- Drehmoment wirkt am stärksten im Iso-Zentrum T = M x B



 $B_{c}$ 

## dkfz. Artefakte

#### Suszeptibilität

- Lokale Verzerrung des Magnetfeldes durch Suszeptibilitätssprünge
- - Suszeptibilität des Materials relativ zur Umgebung (Δχ)
  - Form des Objekts
  - · Oberflächenbeschaffenheit
  - Richtung des Grundmagnetfeldes B<sub>0</sub>





Ladd ME et al., Biopsy Needle Susceptibility Artifacts. Magn Reson Med 36:646-651 (1996)

## dkfz. Suszeptibilitätsartefakte: Form der Nadelspitze



Müller-Bierl B et al., Numerical modeling of needle tip artifacts. Med Phys 31, 579-587 (2004)

## dkfz. Artefakte

#### Wirbelströme

- Gradientenschaltungen induzieren in elektrisch leitenden (Kreis-)Strukturen Wirbelströme
- Wirbelströme erzeugen
  Magnetfelder, die der Ursache (Gradient) entgegenwirken
   (Lenz'sche Regel)
- Verzerrungen des lokalen Gradientenfeldes
- · Bildfehlkodierungen
- · Lösung: schlechte Leitfähigkeit



Cu

а

55 Hz/px

Zeit

## dkfz. Artefakte

#### HF-Abschirmung

- Hochfrequenz-Anregung treibt in elektrisch leitenden Strukturen Ströme
- Im Inneren von leitenden Strukturen wird das HF-Feld abgeschwächt
- HF-Anregungswinkel wird kleiner (Kontraständerung)
- In Empfangsspulen wird weniger Spannung induziert (Signalabschwächung)



Wang Y et al., *Quantitative Evaluation of Susceptibility and Shielding Effects of Nitinol, Platinum, Cobalt-Alloy, and Stainless Steel Stents.* Magn Reson Med 49:972–976 (2003)

### dkfz. Hochfrequenzerhitzung

#### Problem

- Elektrische Feld des HF-Senders koppelt mit leitenden Strukturen
- $\Delta T > 50$  K an Katheterspitze
- Erhitzung minimal bei zentrumsnaher Katheterlage
- Erhitzung ist längenabhängig



### dkfz. Hochfrequenzerhitzung



A. Bücker, Univ. Aachen

### dkfz. Führungsdraht aus Plastikfaser

#### Designkriterien

- keine Hochfrequenzerhitzung
- Mechanische Stabilität
- Flexibilität
- Biokompatibilität

#### Krueger S,..., Buecker A: Magn Reson Med 60: 1190-1196 (2008)



C







### **dkfz.** Hochfrequenzerhitzung

#### Resonanzlänge

• HF-Wellenlänge in Gewebe:

 $\lambda \propto rac{1}{\sqrt{arepsilon} \cdot B_0}$ 

- $\epsilon$  in Gewebe  $\approx 80$
- Wellenlänge (<sup>1</sup>H)
  - 1.5 T : 52 cm
  - 3.0 T : 26 cm
  - 7.0 T : 11 cm



Ladd M et al., *Reduction of Resonant RF Heating in Intravascular Catheters Using Coaxial Chokes*. Magn Reson Med 43:615–619 (2000)

### dkfz. Signalübertragung ohne Erhitzung

#### Elektronische Auftrennung

- elektronische Elemente zur Auftrennung der Leitung
- Mantelwellensperren Ladd ME, Quick HH: *Magn Reson Med* 43: 615-619 (2000)
- PIN-Dioden Umathum R, et al. ISMRM 2006, p. 1402
- Transformatoren

Weiss S, et al. *Magn Reson Med* 54:182-189 (2005)

 Abstand verringert sich mit der Feldstärke (40 cm bei 1.5 T)





#### Krafft A et al: Magn Reson Mater Phy 19: 257-266 (2006

### dkfz. Herzschrittmacher

#### Problem

- . Lange Elektrodenkabel
- Variable Positionierung im Patienten
- Variable Positionierung des Patienten



Aus: Oberle M. Modeling and Validation in MR Coil Design using SPEAG Solutions. Magdeburg 2009

## dkfz. Herzschrittmacher: Erhitzung der Kabel



Nordbeck P. Measuring RF-Induced Currents inside Implants: Impact of Device Configuration on MRI Safety of Cardiac Pacemaker Leads. ISMRM 2008 (Toronto), S. 899



#### Simulation des HF-Feldes ohne Implantat





Hoch aufgelöste Simulation mit Implantat in einer Box mit festen Randwerten

Aus: Oberle M. Modeling and Validation in MR Coil Design using SPEAG Solutions. Magdeburg 2009





Aus: Oberle M. Modeling and Validation in MR Coil Design using SPEAG Solutions. Magdeburg 2009

### **dkfz**. EnRhythm MRI<sup>™</sup> Medtronic

MR-kompatibler Schrittmacher

- Keine magnetischen Komponenten
- Schutz der Elektronik vor HF-Induktion (Abschirmung)
- CapSureFix MRI SureScan<sup>™</sup> Elektrode:

"Dabei wurde die Geometrie des Elektrodenkörpers so modifiziert, dass Wechselwirkungen mit den Gradienten und Hochfrequenzfeldern des MRT und damit auch eine Erhitzung der Elektrodenspitze verhindert werden können."



## dkfz. Hip Joint



From: S. A. Mohsin, PhD Thesis

## dkfz. Hip Joint



From: S. A. Mohsin, PhD Thesis

## **dkfz.** CranioFix Implantat bei 7 Tesla?





CranioFix, Aesculap

MR-sicher bis 3T



Shellock FG, Shellock VJ: Cranial Bone Flap Fixation Clamps: Compatibility at MR Imaging. Radiology 207; 822-825 (1998)

### dkfz. Erwärmungsmessungen



## dkfz. Artefakte

#### Fast SE Sequence

- TR/TE = 12000/57ms
- Flip angle = 120°
- BW = 100Hz/pix
- pixel size =  $0.5 \times 0.5 \times 1$  mm

#### **GRE** Sequence

- TR/TE = 8.8/3.14 ms
- Flip angle = 14°
- BW = 300 Hz/pix
- pixel size = 0.5 × 0.5 × 1 mm



Daten: Jaane Rauschenberg

### **dkfz.** Glioblastom-Patient mit CranioFix @ 7 Tesla



#### 3D FLASH @ 7T

TR/TE= 6.6/2.4 ms,  $\alpha$ = 12°, BW= 310 Hz/px, Matrix= 448<sup>2</sup>

#### fast SE T2 @ 7T

TR/TE= 12000/57 ms,  $\alpha$ = 120°, BW= 100 Hz/px, Matrix= 624x768

## dkfz. RFID Tags

#### Patientenidentifikation

- RFID Armband
- Patient kann eindeutig identifiziert werden
- Nicht ansprechbare Patienten
- während einer OP







Steffen T et al. Safety and reliability of RFID in Magnetic Resonance Imaging and Computed Tomography. Patient Safety in Surgery 4:2 (2010)

## dkfz. Zusammenfassung

#### **Statisches Feld**

- Kraftwirkung im Streufeld
- Drehmoment
- · Suszeptibilitätsartefakte

#### Gradientenfelder

· Wirbelströme

#### Hochfrequenzfelder

- Abschirmung
- Erhitzung
- Fehlfunktion von elektronischen Schaltungen

Nicht-magnetische Komponenten Suszeptibilitätsanpassung

#### Schlecht leitendes Material

Segmentation Resonanzlängen vermeiden HF-Abschirmung

## **dkfz.** Just be very careful in the design!





#### SPEAG AG, Zürich

· Dr. Michael Oberle

Univ. Jena

. Dr. Thies Jochimsen

#### DKFZ

- . Dr. Jaane Rauschenberg
- · Jens Gröbner