

Teil II: Radiologische Diagnostik

9.5 Sicherheitsaspekte: Lösungen

Armin M. Nagel und Andreas K. Bitz

Lösung zu 9.19 Betriebsarten/Patientenüberwachung:

Normale Betriebsart:

Physiologische Belastung des Patienten ist höchst unwahrscheinlich.

Die routinemäßige (Sicht- und Sprechverbindung) Überwachung des Patienten ist angemessen.

Kontrollierte Betriebsart erster Stufe:

Physiologische Belastung des Patienten kann vorliegen.

Patient soll medizinisch angemessen betreut werden, z.B. durch zusätzliche Überwachung diverser physiologischer Parameter (Herzfrequenz, EKG, Blutdruck, Puls-Oxymetrie)

Positive Bewertung eines qualifizierten Mediziners zu der medizinischen Angemessenheit der jeweiligen MR-Untersuchung soll vorliegen.

Mögliche physiologische Belastungen in kontrollierter Betriebsart erster Stufe:

Periphere Nervenstimulation

Wärmebelastung/Belastung des Thermoregulationssystems (SAR)

Physiologische Effekte aufgrund eines erhöhten statischen Magnetfeldes

Physiologische Belastungen sind leicht und treten nur vorübergehend auf.

Kontrollierte Betriebsart zweiter Stufe:

Es liegt eine Exposition vor, bei der ein signifikantes Risiko für den Patienten bestehen kann.

Positives Votum der Ethikkommission wird zwingend benötigt.



Lösung zu 9.20 Statisches Magnetfeld:

Für dia- und paramagnetische Materialien sowie ferromagnetische Materialien unterhalb der Sättigungsmagnetisierung ist die in einem externen Magnetfeld B_0 wirkende Kraft näherungsweise proportional zum Produkt aus dem externen statischen Magnetfeld und dem räumlichen Gradienten des externen statischen Magnetfeldes $\nabla \vec{B}_0$

$$\vec{F} = \nabla U = \nabla \left(\frac{1}{2} \vec{m} \cdot \vec{B}_0 \right) = \frac{\chi V}{\mu_0} \vec{B}_0 \cdot \nabla \vec{B}_0$$

Aufgrund der Abhängigkeit von $\nabla \vec{B}_0$ wirkt die Kraft nur in einem inhomogenen Magnetfeld. Für ferromagnetische Materialien oberhalb der Sättigungsmagnetisierung ist die magnetische Kraft proportional zum räumlichen Gradienten des externen Magnetfeldes $\vec{F} \propto \nabla \vec{B}_0$.

Für die meisten Magnete ist die Kraft in der Nähe der Öffnung der Röhre maximal (vgl. Abbildung 10.5.1a).

Gewebe im menschlichen Körper sind diamagnetisch ($\chi < 0$ mit $|\chi| \ll 1$) und besitzen eine magnetische Suszeptibilität ähnlich der von Wasser ($\chi_{\text{H}_2\text{O}} = -9,05 \cdot 10^{-6}$). Aufgrund der sehr kleinen Suszeptibilitäten ist die magnetische Kraft auf das stationäre menschliche Gewebe vernachlässigbar.

Raubereiche mit einer magnetischen Feldstärke über 500 μT (= 0,5 mT = 5 Gauß) müssen als Kontrollbereich gekennzeichnet sein, zu dem nur unterwiesenes Personal sowie Patienten und Probanden Zugang haben, die vorher über die Gefahren in der MR-Umgebung aufgeklärt wurden.

Lösung zu 9.21 Geschaltete Magnetfeldgradienten:

Mögliche physiologische Effekte:

- Periphere Nervenstimulation (PNS)
- Stimulation des Herzmuskels
- Magnetophosphene
- Lärmbelastung
- Induktionsgesetz

- $$\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = -\vec{\nabla} \times \vec{E}$$



Im Untersuchungsraum müssen daher sowohl der Patient als auch das Bedienpersonal (ggf. auch die anwesende betreuende Person) Gehörschutz tragen. Der Gehörschutz muss so ausgelegt sein, dass er den Schalldruckpegel unter 99 dB(A) reduziert. Bei Schwangeren sollte zusätzlich im Messprotokoll der "Flüster-Modus" (engl. "whisper mode") eingeschaltet werden. Bei allen Patienten und insbesondere bei Patienten mit eingeschränktem Bewusstsein oder sedierten Patienten ist auf einen korrekten Sitz des Gehörschutzes zu achten.

Lösung zu 9.22 Hochfrequente Felder

Eine Gefährdung von Patienten und anderen Personen während der Exposition in hochfrequenten Feldern besteht durch eine mögliche Erwärmung von Körpergewebe aufgrund des Wärmeeintrages durch absorbierte Feldenergie im verlustbehafteten biologischen Gewebe. Übermäßige Energieabsorption sowie auch eine beeinträchtigte Thermoregulation des exponierten Körpers können zur Schädigung des Gewebes führen. Insbesondere kann es in der Umgebung von metallischen Implantaten zu starken Erwärmungen kommen. Ebenso kann die Funktionsweise von aktiven Implantaten beeinflusst werden.

Die spezifische Absorptionsrate SAR bestimmt sich aus der auf die Masse bezogenen in einem Gewebevolumen umgesetzten Verlustleistung:

$$SAR = \frac{d}{dt} \left(\frac{\Delta W_V}{\Delta m} \right) = \frac{\Delta P_V}{\rho \Delta V} = \frac{1}{2 \Delta V} \iiint_{\Delta V} \frac{\sigma(\vec{r})}{\rho(\vec{r})} |\vec{E}(\vec{r})|^2 dV$$

mit der lokal absorbierten Energie ΔW_V , der lokalen Verlustleistung P_V , dem Volumenelement ΔV mit der Masse Δm , der elektrischen Leitfähigkeit $\sigma = \omega \epsilon_0 \epsilon_r''$ und dem Betrag der elektrischen Feldstärke $|\vec{E}|$.

Die Repetitionszeit (TR) kann vergrößert werden. Dies hat eine Reduzierung der zeitlich-gemittelten absorbierten Leistung im Körper zur Folge, da die Pause zwischen den HF-Pulsen vergrößert wird. Die Anzahl der Schichten kann verringert werden. Zusätzlich kann für manche Messprotokolle der Modus „reduzierte SAR“ (engl. low SAR) verwendet werden. Hierbei werden bestimmte HF-Pulse verwendet, die eine geringere SAR aufweisen.



Lösung zu 9.23 Medizinische Geräte/Implantate

MR-sicher: Es bestehen keine Gefährdungen. Die verwendeten Materialien für solche Geräte und Implantate sind typischerweise nicht elektrisch leitfähig, nicht metallisch, und nicht magnetisch.

Bedingt MR-sicher: Geräte und Implantate, deren Sicherheit in der MR-Umgebung nur unter bestimmten Bedingungen gegeben ist. Diese können einzuhaltende Bedingungen für das statische Magnetfeld, den räumlichen Gradienten des statischen Magnetfeldes, die Schaltung der Gradientenfelder und das Hochfrequenzfeld enthalten. Es können auch weitere Einschränkungen zur Gewährleistung der Sicherheit notwendig sein, so z.B. für die räumliche Anordnung der Geräte. Bei Verwendung solcher Geräte und Implantate sind die Herstellerangaben zwingend zu befolgen.

Informationen über die räumliche Verteilung des statischen Magnetfeldes sowie des räumlichen Gradienten des statischen Magnetfeldes für das jeweilige MR-System können aus dem Kompatibilitätsdatenblatt des Betreiberhandbuchs entnommen werden.

MR-unsicher: Geräte und Implantate, die ein untragbares Risiko für Patienten, medizinisches Personal oder andere Personen darstellen. Diese Geräte und Implantate dürfen nicht in den MR-Kontrollbereich eingebracht werden.

