

Jens Gröbner
Dr. sc. hum.

Neue Messtechniken zur Bestimmung der Exposition von magnetischen und elektrischen Feldern in der Ultrahochfeld-Magnetresonanztomographie

Promotionsfach: DKFZ (Deutsches Krebsforschungszentrum)
Doktorvater: Prof. Dr. Dr. Wolfhard Semmler

In der Ultrahochfeld-Magnetresonanztomographie, bei der Magnetfelder von über 3 Tesla eingesetzt werden, sind die Effekte und Risiken durch magnetische und elektromagnetische Felder gegenüber MR-Systemen niedriger Feldstärken erhöht. Ziel dieser Arbeit war es deshalb, neue Messsysteme zu entwickeln, mit denen die Exposition magnetischer und elektrischer Felder, sowohl in der Ultrahochfeld-MRT, als auch klinischen MRT überwacht werden kann. Für diese Zielstellung sollte zum einen eine adäquate Magnetfeldsonde entwickelt und konstruiert werden, die eine Messung der Exposition durch das statische Magnetfeld und der Bewegungen von MR-Personal und Patienten im magnetischen Streufeld ermöglicht. Zum anderen sollte ein Messsystem entwickelt werden, mit dem das hochfrequente elektrische Feld, das die MR-Sendespulen während der Bildaufnahme emittieren, erfasst werden kann.

Durch die Kombination dreier orthogonaler kalibrierter Hallsensoren und Induktionsspulen konnte die Magnetfeldexposition von MR-Personal und Probanden ermittelt werden. Mit Einführung der Änderung des magnetischen Flusses $d\Phi/dt$ als neuen Expositionsparameter und gleichzeitiger Messung der Parameter des Grundmagnetfeldes B_0 und der Änderung der magnetischen Flussdichte dB/dt konnte die Art der Exposition bestimmt werden. Anhand des Parameters $d\Phi/dt$ war es möglich, die Exposition durch Rotation von der Exposition durch translatorische Bewegungen zu trennen. Die Sonde lieferte an MR-Systemen verschiedener Feldstärken verlässliche Ergebnisse, so dass erstmalig die Magnetfeldexposition von Probanden und MR-Personal bei 1,5T-, 3T-, und 7T-MR-Systemen miteinander verglichen werden konnte. Durch das einfache und robuste Design der Messsonde ist die Instandhaltung und Wartung unkompliziert. Darüber hinaus können aufgrund der breiten Verfügbarkeit der kommerziellen Komponenten bei Bedarf Duplikate hergestellt werden, um mit mehreren Probanden oder an verschiedenen MR-Systemen gleichzeitig zu messen.

Das in dieser Arbeit entwickelte Messsystem wurde weiterhin genutzt, um die Datenlage der Exposition von hohen statischen Magnetfeldern in der Ultrahochfeld-MRT zu verbessern. Dazu wurden B_0 , dB/dt und $d\Phi/dt$ an insgesamt 25 MR-Physikern und MTRAs bei ihrer täglichen Arbeit im Magnetraum erfasst. Zusätzlich wurde die Exposition von drei Probanden während der MR-Untersuchung detektiert. Es konnte gezeigt werden, dass selbst alltägliche Arbeiten im MR-Raum die aktuellen Grenzwerte und „Action Values“ [22, 43, 45] überschreiten können [31, 32]. Darüber hinaus wurde erstmals der Nachweis erbracht, dass die Magnetfeldexposition von Probanden durch die Bewegung im Streufeld hauptsächlich durch Rotationsbewegungen und nur zu einem geringen Anteil durch Translationsbewegungen verursacht wird.

Neben den starken Magnetfeldern in der Ultrahochfeld-MRT sind ebenso die hohen elektrischen Wechselfelder der MR-Sendespulen sicherheitsrelevant. Deshalb ist es von großer Bedeutung, die genaue Verteilung der elektrischen Felder innerhalb der Sendespulen zu kennen, um etwaige „Hot-Spots“ durch die konstruktive Überlagerung von elektrischen Feldern frühzeitig zu detektieren. Dazu wurde in dem zweiten Teil dieser Arbeit ein neues optisches Messsystem zur Erfassung hochfrequenter elektrischer Felder entwickelt. Das aus

einem Dipol und einer Reglereinheit bestehende Messsystem wurde über Lichtleiter verbunden, so dass die Signalerfassung und -auswertung galvanisch voneinander getrennt werden konnte. Dadurch war es möglich, die entstehenden elektrischen Felder während der Standardbildgebung ohne Störungen der Bildaufnahme zu messen [33], wie es bei der klassischen resistiven Signalübertragung der Fall wäre. Zudem konnte durch die integrierte intelligente Regelung jede Pulsform mit unterschiedlich langen Pausen zur Kartografierung des elektrischen Feldes genutzt werden.

Zur Kalibrierung der Dipole für verschiedene Sendefrequenzen wurde eigens eine Kalibrierzelle entwickelt. Mit dieser sogenannten TEM-Zelle war es möglich, die elektrischen Felder quantitativ zu bestimmen. Durch die Kalibrierung konnten neu konstruierte Sonden in kürzester Zeit (~ 5 min) für die Messung hochfrequenter elektrischer Felder vorbereitet werden. Die Kalibrierung der Sonden blieb auch nach mehrmaliger Benutzung über Wochen hinweg erhalten, so dass keine Nachjustierung oder Rekalibrierung vorgenommen werden musste. Das in dieser Arbeit entwickelte optische Messsystem kann insbesondere auch für Spulenneuentwicklungen genutzt werden, um Kenntnisse über den Verlauf des hochfrequenten elektrischen Feldes innerhalb der Hochfrequenzspulen zu erhalten.

Durch beide in dieser Arbeit neu entwickelten Messsysteme konnten die wichtigsten Parameter der elektromagnetischen Exposition in der Ultrahochfeld-MRT erfasst werden. Die Systeme können bei der täglichen Arbeit in der Umgebung von MR-Systemen angewendet werden, um zum einen die Magnetfeldexposition von MR-Personal und Probanden zu überwachen und zum anderen die Verteilung der elektrischen Felder von neu entwickelten MR-Sendespulen zu erfassen und potentielle Gefahren für Patienten auszuschließen.