

## **„Einfluss der Geometrie und Struktur von Körpermodellen auf die lokale Energiedeposition in der Hochfeld MRT“**

### ZUSAMMENFASSUNG

Die hohen Grundmagnetfeldstärken und neuen Anregungsverfahren der modernen Magnetresonanztomographie (MRT) ermöglichen viele Verbesserungen der medizinische Diagnostik, wie beispielsweise eine erhöhte Bildqualität, oder kürzere Untersuchungszeiten. Sie gehen aber auch einher mit einer Zunahme der spezifischen Absorptionsrate (SAR), welche als Maß für die Wärmeentwicklung im Patienten bei der MRT verwendet wird und festen Sicherheitsschranken unterliegt. Besonders bei der Ultra-Hochfeld (UHF) MRT ( $\geq 7 T$ ) stellen diese eine echte Limitierung dar. Eine genaue Bestimmung der SAR ist daher notwendig, um das Potential der Ultra-Hochfeld-MRT bestmöglich nutzen zu können. Die SAR wird in Computersimulationen mit Hilfe von Körpermodellen ermittelt. Inwieweit die berechneten Felddaten eines Körpermodells auf den Patienten übertragbar sind, wurde im Rahmen dieser Dissertation genauer betrachtet. Hierbei liegt das Augenmerk vor allem auf dem Auftreten von lokalen SAR-Konzentrationen (Hotspots) und ihrer Intensität. Einige grundlegende Bedingungen zur Entstehung von Hotspots werden im Vorfeld anhand eines Kugelschalenmodells aufgezeigt. Im Anschluss daran werden mögliche Vereinfachungen von Körpermodellen untersucht. Hierbei wird der Teil des Körpers bestimmt, der für eine genaue Feldberechnung innerhalb des field of view (FOV) der Kopfspule notwendig ist. Zudem werden in verschiedenen Simulationen Gewebe und Strukturen ermittelt, welche für die SAR-Überwachung relevant sind. Ziel dieser Arbeit ist hierbei auch, den Prozess der Erstellung neuer Körpermodelle durch eine vereinfachte Segmentierung und kürzere Rechenzeiten zu verbessern. Des Weiteren werden einige Aspekte betrachtet, welche die Modellierung an sich betreffen. Dies ist einmal der Einfluss einer veränderten Lage der Modelle innerhalb der Kopfspule, da eine Bewegung des Patienten während einer MR-Untersuchung nicht immer ausgeschlossen werden kann. Außerdem wird die Modellierung des HF-Schirms der Bohrung des MRT in die Simulationen mit einbezogen und auch eine Nachjustierung der Kopfspule auf die genaue Resonanzfrequenz durchgeführt. Abschließend wird der Einfluss einer Umkehrung der Polarisationsrichtung des HF-Signals auf die SAR-Verteilung simuliert.

In dieser Promotionsarbeit wird aufgezeigt, dass für Feldberechnungen des Kopfes die Schultern des Modells zwar erforderlich sind, aber für sie eine homogene Gewebestruktur ausreichend ist. Für ein derartiges Modell wäre die Rechenzeit um etwa 50 % reduziert und eine Segmentierung zur Modellerstellung erheblich vereinfacht. Auch das Fehlen des zweiten großen HF-Schirms der Bohrung und eine leichte Verstimmung der Spule erweisen sich als zulässige Vereinfachungen der Simulation. Eine veränderte Lage des Modells von bis zu 2 cm hingegen verursacht deutliche Schwankungen der SAR von  $\pm 14$  %.

Die Positionsverschiebung zeigt größeren Einfluss auf die SAR, als die zuvor angesprochenen Vereinfachungen und muss daher in Bezug auf die SAR-Überwachung berücksichtigt werden. Beim direkten Vergleich der verwendeten Modelle untereinander zeigen sich Gemeinsamkeiten der SAR-Verteilung im Kopf. Besonders das Auftreten der Hotspots höchster Intensität an vergleichbarer Position in den drei Modellen spricht für eine Übertragbarkeit von SAR-Informationen.

## **„Einfluss der Geometrie und Struktur von Körpermodellen auf die lokale Energiedeposition in der Hochfeld MRT“**

### **SUMMARY**

The high static magnetic fields and new technologies of modern magnetic resonance imaging (MRI) provide a variety of advantages for medical diagnostics, like improved image quality and reduced total examination time. However, they also contribute to an increase of the specific absorption rate (SAR), which is used as a measure for tissue heating in the patient during a magnetic resonance (MR) examination and is subject to strict safety margins. These margins represent restrictive limitations, especially for ultra-high field (UHF) MRI ( $\geq 7 T$ ). Accurate prediction of SAR for ultra-high field MRI is necessary to best exploit its potential.

SAR can be determined in numerical calculations using human model datasets. One objective of this study is to clarify, if and to what extent results gained from numerical calculations for a certain human model can be applied to the actual patient. Here, the appearance of locally increased SAR (hotspots) and their intensity is of major interest. Prior to the numerical calculations, some basic behavior and conditions for hotspot appearance will be highlighted, based on a multilayered sphere. In the following, possible simplifications of the human models will be investigated. The part of the model, which is necessary for exact field calculations within the field of view (FOV) of the head-coil, has to be determined. In addition, several simulations have been performed to point out the tissues and structures that are most relevant for SAR monitoring. A further objective of this thesis is to simplify the segmentation and reduce calculation time and therefore improve the process of creating human models. Also, some issues have been taken into account that are related to the modeling itself, like for instance the influence of small shifts of the model within the head-coil, as a motion of the subject during an MR-examination cannot always be excluded. Furthermore, the influence of a large bore radiofrequency (RF)- shield and the effects of retuning the coils to different load conditions have been examined. Finally, the inversion of the circular polarized HF-pulse and its influence on SAR-distribution have been investigated numerically.

The results show that the shoulders are indeed necessary for precise field calculations of the head, but a homogeneous structure of the shoulders proved to be sufficient. The segmentation effort for creating such a model is significantly reduced, and simulation time is decreased by about 50 %. Further simplifications of the calculations by omission of the second large RF-shield of the bore as well as minor retuning of the RF-coil show only minor impact on the results. Small shifts of the model of up to 2 cm can have a significant influence of  $\pm 14\%$  on the SAR. This influence could even be stronger than the influence of the model simplifications described above and therefore has to be considered when monitoring the SAR. A direct comparison of the models shows similarities of the SAR-distribution for the head. In particular the highest ranked hotspots appear at comparable positions for the three models. This result supports a transferability of SAR-information between subjects.