

Lukas Thomas Rotkopf
Dr. med.

Analyse der Magnetresonanztomografie von Lungen- und Muskelgewebe mittels Gaußscher Phasennäherung

Fach/Einrichtung: Deutsches Krebsforschungszentrum (DKFZ)

Doktorvater: apl. Prof. Priv.-Doz. Dr. med. Dr. rer. nat. Christian Herbert Ziener

Das Ziel dieser Forschungsarbeit war die Entwicklung neuartiger biophysikalischer Modelle der Signalentstehung bei der Untersuchung von Lungen- und Muskelgewebe mittels Magnetresonanztomographie sowie deren numerische und experimentelle Validierung. Hierfür wurde die komplexe Magnetisierungsdynamik mittels einer Gaußschen Näherung der akkumulierten Phase modelliert. Diese Arbeit gliedert sich in zwei Teilprojekte:

Entwicklung und Validierung eines Modells der MRT-Signaldynamik von Lungengewebe

Ausgehend von einer Kumulanten-Entwicklung der akkumulierten Phase wurde in diesem Projekt ein Modell der Signaldephasierung in Lungengewebe etabliert. Es konnte gezeigt werden, dass dieses neuartige Modell sowohl die Geometrie als auch Blutfluss- und Suszeptibilitätseffekte korrekt berücksichtigt. Die berechneten Signal-Zeit-Verläufe und korrespondierenden Linienformen zeigen eine hohe Übereinstimmung mit Finite-Elemente-Simulationen und eine bessere Annäherung als die Alveolar-Surface-Approximation. Für die experimentelle Validierung wurde eine Single-Voxel-Spektroskopiesequenz modifiziert und die optimalen Messparameter bestimmt. Trotz des niedrigen Wassergehalts von Lungengewebe konnten so Messungen mit einem hohen Signal-zu-Rauschen-Verhältnis durchgeführt werden. Die gemessenen Werte und Linienformen eines gesunden Probanden stimmen mit den Modellvorhersagen überein und erlauben eine Ableitung der relevanten Struktur- und Funktionsparameter.

Untersuchung des Einflusses der Mikrostruktur von Muskelgewebe auf das MRT-Signalverhalten

Die Geometrie dieses Modells basiert auf einer modifizierten Version des Kroghschen Kapillarmodells. Mittels einer Finite-Differenzen-Approximation des Diffusionsoperators und einer analytischen Beschreibung des Larmorfeldes konnten die Kumulanten nach ausführlichen Berechnungen mathematisch elegant als Matrixgleichungen formuliert werden. Diese Formulierung hat gegenüber der alternativen Beschreibung als unendliche Summe über Expansionsterme viele Vorteile. Das entwickelte Modell, genannt Gaussian Local Phase, zeigte von allen betrachteten Modellen die beste Übereinstimmung mit den numerischen Simulationen und konnte als einziges Verfahren die Oszillationen der Gesamtmagnetisierung korrekt vorhersagen. Eine effiziente Implementierung der Gaussian Local Phase erster und zweiter Ordnung benötigte deutlich weniger Rechenzeit als alle anderen betrachteten Verfahren und war um mehr als eine Größenordnung effizienter als Finite-Elemente-Methoden.

Die beiden beschriebenen Modelle können aufgrund ihrer hohen Genauigkeit und Flexibilität als Ausgangspunkt für weitere Entwicklungen der Beschreibung der MRT-Signaldynamik dienen.