

Kai Schubert  
Dr. sc. hum.

## **Untersuchungen zur Verwendung eines Niederfeld-Magnetresonanztomographen in der Bestrahlungsplanung extracerebraler Tumore**

Geboren am 28.07.1967 in Fulda  
Reifeprüfung am 02.06.1987 in Köln  
Studiengang der Fachrichtung Physik vom SS 1989 bis WS 1995/96  
Vordiplom am 18.06.1991 an der Universität Heidelberg  
Diplom am 31.10.1995 an der Universität Heidelberg

Promotionsfach: Radiologie  
Doktorvater: Prof. Dr. rer. nat. W. Schlegel

In der vorliegenden Arbeit wurde die Einbindung eines offenen Niederfeld-MR-Tomographen in die Bestrahlungsplanung extracerebraler Tumore untersucht.

Viele Fortschritte in der Strahlentherapie basieren auf der Weiterentwicklung der bildgebenden Verfahren, da eine genaue Kenntnis der Lage des Tumors und der Risikoorgane die Grundlage der Bestrahlung bildet. MRT-Bilder besitzen einen exzellenten Weichgewebekontrast und ermöglichen somit eine gute Abgrenzung des Tumors von umliegendem Gewebe, Fett oder Flüssigkeiten.

Im Rahmen der Arbeit wurden zunächst koronare Bilder des offenen MR-Tomographen direkt, d. h. ohne Korrekturen, verwendet, um zu überprüfen, ob die MRT-Informationen einen Nutzen für die Behandlung von Patienten mit thorakalen Tumoren bringen. Hierzu wurden MRT-Bilder an einem Subtraskop optisch mit Simuloraufnahmen überlagert. Dabei wurde untersucht, ob die Größe der Bestrahlungsfelder durch die MRT-Informationen beeinflusst wird.

Aus der Kontrolle der AP-PA-Bestrahlungsfelder am Subtraskop bei Patienten mit Bronchialkarzinom ergab sich bei einem Drittel der untersuchten Patienten eine Optimierung der individuellen Satellitenblenden. Besonders die Tumorausläufer ins Lungenparenchym und die Infiltration ins Mediastinum sowie der Lymphknotenbefall im Mediastinum und im aorto-pulmonalen Fenster konnten in den MRT-Bildern besser abgegrenzt werden.

Durch die offene Bauweise des Tomographen kommt es in den Bildern stärker als bei geschlossenen Geräten zu Verzeichnungen durch Magnetfeldinhomogenitäten. Diese sollten bestimmt und korrigiert werden, um den Einsatz der digitalen Bilder in dem Prozeß der Bestrahlungsplanung zu ermöglichen. Zu diesem Zweck wurde ein Computerprogramm (COSIMA, COrrrection SIMulation MAtching) entwickelt, das sowohl die Bestimmung als auch die Korrektur der Verzeichnungen durchführt.

Die Korrektur erfolgt anhand von Messungen mit einem im Rahmen dieser Arbeit entwickelten, modular aufgebauten Phantom. Für einen Bereich, der von den Abmessungen des Phantoms abhängt, werden 3D-Korrekturpolynome bestimmt, die die Verzeichnung beschreiben und mit Hilfe derer die Bilder korrigiert werden können.

Die mittlere maximale Verzeichnung im gesamten Meßbereich (max. Entfernung zum Isozentrum ca. 21 cm) betrug vor der Korrektur 22,2 mm (Median: 2,5 mm). Durch die Verzeichnungskorrektur ließen sich die Abweichungen soweit reduzieren, daß sich ein Maximalwert von 12,3 mm (Median: 0,9 mm) ergab. Bei Einschränkung auf einen Bereich von

15 cm um das Isozentrum des Magneten ergab sich nach Korrektur eine maximale Verzeichnung von lediglich 2,13 mm (Median: 0,84 mm). Die Phantommessungen und die Bestimmung der Korrekturpolynome sind im Routinebetrieb einmal pro Woche durchzuführen. Selbst die Verwendung von Polynomen aus einer eine Woche alten Messung liefert noch einen Bereich von 15 cm um das Isozentrum, der weniger als maximal 2,42 mm verzeichnet (Median: 1,14 mm).

Nach der Korrektur der koronaren MRT-Bilder wurden diese bei der Planung von AP-PA-Bestrahlungsfeldern am Therapiesimulator unterstützend für Patienten mit Bronchialkarzinomen eingesetzt. Hierzu wurde die selbst entwickelte Software COSIMA um ein Modul für die Anpassung der unterschiedlichen Projektionsgeometrien und die Korrelation der Bilder erweitert.

Bei der Verwendung des in der vorliegenden Arbeit entwickelten Systems zur rein digitalen Einbindung der MRT-Information in die BPL am Therapiesimulator bestätigte sich der Informationszugewinn, der schon am Subtraskop erkennbar war.

Die verzeichnungskorrigierten MRT-Bilder werden am Bildschirm mittels eines Landmark-Matching-Algorithmus mit den Bildern des RBV korreliert und die MRT-Information digital übertragen. Durch das neu entwickelte Verfahren wurde die Präzision und Zuverlässigkeit der Bestrahlungsplanung am Therapiesimulator gesteigert.

Der diagnostische Gehalt von transversalen MRT-Bildern sollte in der 3D-BPL genutzt werden. Für Patienten mit lokalisiertem Prostatakarzinom wurden transversale T1-gewichtete Bilder akquiriert und mit COSIMA korrigiert. Anschließend wurden sie in das BPL-System eingelesen und dort mit dem BPL-CT korreliert, wodurch die Übertragung der MRT-Informationen in die CT-Bilder möglich war. Es wurde untersucht, inwieweit sich die bessere Abgrenzbarkeit der Prostata und der Samenblasen auf die Größe des eingezeichneten Organs selbst und auf die Festlegung des klinischen Zielvolumens auswirkt.

Bei den Patienten mit einem Prostatakarzinom waren die allein auf MRT-Basis konturierten Volumina der Organe (Prostata und Samenblasen) um den Faktor 1,7 kleiner als die entsprechenden in den CT-Bildern eingezeichneten Volumina. Bei den klinischen Zielvolumina ergab sich ein Faktor von 1,64.

Die Einbindung der MRT-Informationen führt in der Regel zu einer Reduktion des Zielvolumens und daraus folgend zu einer Einengung der Bestrahlungsfelder. Auf diese Weise können gesunde Gewebe geschont und Nebenwirkungen reduziert werden. Die Verwendung des offenen Tomographen ist in diesem Zusammenhang nicht nur möglich, sondern in einigen Fällen, z. B. bei Patientenlagerung mit den Armen über dem Kopf, sogar unerlässlich.

Die in der vorliegenden Arbeit durchgeführten retrospektiven Studien bei Patienten mit Bronchialkarzinomen, und Prostatakarzinomen haben den Nutzen der MRT-Bilder gezeigt. Diese Informationen sollten daher bereits bei der initialen Zielvolumendefinition unterstützend eingesetzt werden. Auch bei weiterführenden Studien bei Patienten mit Prostatakarzinom wird zur Optimierung der Positionierung des Patienten mittels verschiedener Lagerungshilfen voraussichtlich nicht auf den Einsatz eines offenen Tomographen zu verzichten sein.