

Artur Weidner
Dr. sc. hum.

An abdominal phantom with anthropomorphic organ motion and multimodal imaging contrast for magnetic-resonance-guided radiotherapy

Fach/Einrichtung: Medizinische Physik/Deutsches Krebsforschungszentrum (DKFZ)
Doktorvater: Prof. Dr. rer. nat. Oliver Jäkel

Der kontinuierliche Fortschritt auf dem Gebiet der Strahlentherapie hat zu erheblichen Verbesserungen bei der Diagnose und Behandlung von Krebs geführt, was zu einer verbesserten Lebensqualität und einer erhöhten Lebenserwartung führt. Die Entwicklung des MR-Linac markierte daher einen Paradigmenwechsel in der Strahlentherapie. Diese Weiterentwicklung ermöglicht die Echtzeit-Visualisierung von Tumoren während der Strahlentherapie mittels Magnetresonanztomographie. Folglich können Behandlungspläne angepasst werden, um Veränderungen in der Tumorgöße zwischen den Sitzungen, wie Tumorverkleinerung, zu berücksichtigen, und um Tumorbewegungen während jeder Strahlungssitzung, beispielsweise aufgrund von Atmung, einzubeziehen. Diese Präzision ermöglicht die Verabreichung einer höheren Strahlendosis direkt an das Zielvolumen, während die Strahlenexposition für nahegelegene Organe minimiert wird.

Das Ziel dieser Arbeit war es, ein anthropomorphes abdominal Phantom zu entwickeln, welches mehreren Anforderungen gerecht werden muss: reproduzierbare Atembewegungen mit induzierten Organbewegungen im Verbund, realistischer Bildkontrast sowohl in der Magnetresonanztomographie als auch in der Computertomographie, anthropomorph geformte Organmodelle und eine Magnetresonanztomographie-kompatible Bewegungssteuerung.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein innovatives anthropomorphes abdominales Phantom für medizinische Bildgebung und Strahlentherapieanwendungen entwickelt. Durch eine Reihe von Experimenten und Analysen wurden die Fähigkeiten und die Nützlichkeit des Phantoms rigoros bewertet.

Die in den Experimenten verwendeten Organmodelle zeigen eine bemerkenswerte Genauigkeit bei der Nachbildung der Relaxationszeiten und Hounsfield-Units realer menschlicher Organe. Diese Validierung unterstreicht die Eignung des Phantoms für die medizinische Bildgebungsforschung, dabei zeigen die Ergebnisse eine enge Übereinstimmung mit Referenzwerten ohne signifikante Unterschiede.

Vergleiche zwischen dem Phantom und Patienten-/Probandendaten zeigten eine gute Übereinstimmung bei der Simulation von ateminduzierten Organbewegungen in einem Verbund während verschiedener Atemmuster (flaches, freies und tiefes Atmen), anatomischer Formen, Kontrast in der Bildgebung und radiologischer Eigenschaften.

Darüber hinaus unterstreicht die Analyse der Organbewegung unter verschiedenen Atemmustern die Fähigkeit des Phantoms, menschliche Organbewegungen zu simulieren, was die Bedeutung der Berücksichtigung von Organbewegungen bei der Behandlungsplanung und Bildgebungsverfahren unterstreicht.

Zusammenfassend zeigte diese Arbeit, dass das entwickelte Phantom verschiedene Atembewegungen und entsprechende Organbewegungen innerhalb einer Verbundstruktur effektiv simuliert. Darüber hinaus wies das Phantom im Vergleich zu Probandendaten einen vergleichbaren Bildkontrast in der Magnetresonanztomographie und Computertomographie Bildgebung aus und zusätzlich konnte Stabilität des Bildkontrasts über einen Zeitraum von mehr als 400 Tagen nachgewiesen werden. Darüber hinaus erwies sich das Phantom als geeignet für einen End-to-End-Test, der den gesamten Strahlentherapieprozess von der Bildgebung und Strahlungsplanung bis hin zur Dosisberechnung und -verabreichung umfasste. Dies beinhaltete das Einsetzen von dosimetrischen EBT3-Filmen in das Lebertumormodell. Ein wichtiges Ergebnis war, dass das Lebertumormodell des Phantoms erfolgreich vom MR-Linac erkannt wurde und die Bestrahlung stoppte, sobald der Tumor aufgrund der Atembewegung das Zielvolumen verließ. Letztendlich wurde eine Dosis von $5,3 \pm 0,42$ Gy innerhalb des Tumormodells berechnet, was eine ausgezeichnete Übereinstimmung mit der geplanten Dosis von 5 Gy darstellt, unter Berücksichtigung der minimalen Abweichung.