

„Entwicklung eines Verfahrens zur Reduzierung des notwendigen Sicherheitssaums bei sich bewegenden Zielvolumina in der Hochpräzisionsstrahlentherapie“

Von Susanne Kräckmann

Zusammenfassung

Die Bestrahlung atmungsbewegter Tumoren stellt eine Herausforderung für die moderne Strahlentherapie dar. In der vorliegenden Arbeit werden zu Beginn die physikalischen, technischen und medizinischen Grundlagen vorgestellt, um dem Leser den Einstieg in die komplexe Thematik zu erleichtern. Des Weiteren werden verschiedene Techniken zur Bestrahlung atmungsbewegter Zielvolumina vorgestellt. Auch wird auf die Sicherheitssäume eingegangen, die notwendig sind, um Fehler in der Bestrahlungskette beim Festlegen des Planungszielvolumens für die Bestrahlung auszugleichen.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Konzept entwickelt, wodurch sich der Sicherheitssaum von bewegten Tumoren in der Radiochirurgie mit dem Tumor-Tracking-System des Cyberknives noch weiter verkleinern lässt. Somit kann die sogenannte therapeutische Breite der Behandlung weiter vergrößert werden kann. Dafür wurden ein 4D-CT und ein Gating-System in den klinischen Betrieb aufgenommen. Die entwickelte Technik basiert auf den zehn individuellen Atemphasen des 4D-CTs und lässt eine Berücksichtigung bewegter Risikostrukturen bereits während der Bestrahlungsplanung zu. Diese Methode wurde mit aktuellen Bestrahlungstechniken mittels eines Vergleichs der Bestrahlungspläne anhand von zehn Patientenfällen verglichen. Zur Erstellung der Bestrahlungspläne kamen die Bestrahlungsplanungssysteme von Varian (Eclipse 13.5) und Accuray (Multiplan 4.6) zum Einsatz. Es wurden insbesondere die Bestrahlungsdosen an den Risikoorganen und die Volumina ausgewählter Isodosen betrachtet. Hier zeigte sich eine klare Abhängigkeit von der Belastung des gesunden Gewebes von der verwendeten Bestrahlungstechnik. Dies lässt die Schlussfolgerung zu, dass mit einer Reduzierung des Sicherheitssaums, welcher abhängig von der verwendeten Planungs- und Bestrahlungstechnik ist, eine Vergrößerung der therapeutischen Breite einhergeht. Zusätzlich bleibt bei einer geringen Belastung des umliegenden gesunden Gewebes die Möglichkeit für eine weitere Bestrahlung offen.

Anschließend wurden anhand von berechneten Testplänen Messungen an einem für diese Arbeit modifizierten Messphantom am Varian Clinac DHX und am Cyberknife VSI durchgeführt. Hier wurden die beim Planvergleich verwendeten Bestrahlungstechniken verwendet, um einen Abgleich von berechneter und tatsächlich applizierter Dosis zu erhalten. Das verwendete Messphantom simuliert die Atmung des Patienten und lässt gleichzeitig eine Verifikation der Dosisverteilung mit EBT3-Filmen sowie Messungen mit Ionisationskammern zu. Es zeigte sich, dass für die Techniken, welche aktiv die Atmung berücksichtigen (Synchrony am Cyberknife und Gating am Varian Clinac), selbst im Niedrigdosisbereich eine gute Übereinstimmung zwischen Messung und Berechnung der Dosisverteilung vorliegt. Sobald die Bewegung des Zielvolumens bereits bei der Bestrahlungsplanung berücksichtigt wird, steigt die Übereinstimmung weiter an. Für Techniken, welche die Atmung lediglich bei der Zielvolumen-Definition einbeziehen (ITV-Konzept), liegen sowohl die mit Ionisationskammern gemessenen Werte als auch die Übereinstimmung von berechneter und gemessener Dosisverteilung außerhalb des Toleranzbereichs.

Eine weitere Frage dieser Arbeit befasst sich mit der Treffsicherheit des Tumor-Tracking-Systems des Cyberknifes (Synchrony). Hier wurden Messungen mit dem XSightLung-Phantom und unterschiedlichen Sicherheitssäumen, welche die Bewegung des Tumors ausgleichen sollen, durchgeführt. Dies geschah sowohl mit dem für das Phantom vorgesehenen Würfel mit Einschüben für EBT3-Filme als auch mit einem Film-Sandwich aus Flab-Material zur Untersuchung einer dreidimensionalen Dosisverteilung. Die Analyse der Filme ergab, dass es zumindest an einem Phantom mit einer einfachen kraniokaudalen Bewegung nicht nötig ist, die Bewegung des Zielvolumens durch einen asymmetrischen Sicherheitssaum in Bewegungsrichtung zu kompensieren um die Abdeckung des Zielvolumens mit der gewünschten Dosis zu gewährleisten.

Durch diese Arbeit konnten zusätzlich weitere wertvolle Erkenntnisse für den klinischen Alltag gewonnen werden: bei der Untersuchung der Bewegung von Tumoren in freier Atmung sowie bei maximaler Inspiration und Expiration zeigte sich, dass zum Teil die Tumorbewegung in maximalen Atemlagen (3-Phasen-CT) deutlich von der freien Atmung abweicht. Dies lässt den Schluss zu, dass für eine Bestrahlung in freier Atmung ein 4D-CT die Tumorbewegung deutlich realistischer widerspiegelt als ein 3-Phasen-CT, zumal letzteres eine größere Dosisbelastung für den Patienten bedeutet. Ebenfalls konnte anhand einer retrospektiven Untersuchung von Lungentumoren gezeigt werden, dass für die Berechnung von Bestrahlungsplänen für Tumoren in inhomogenem Gewebe der Ray-Tracing-Algorithmus die Dosis im Zielvolumen teilweise sehr stark überschätzt. Um eine realistische Dosisverteilung zu erhalten, sollte deshalb insbesondere bei Tumoren in der Lunge auf den Monte-Carlo-Algorithmus zurückgegriffen werden.