

Sebastian Klüter  
Dr. sc. hum.

## **Verifikation von Bestrahlungsplänen bei helikaler Tomotherapie durch unabhängige Dosisberechnung**

Fach/Einrichtung: DKFZ (Deutsches Krebsforschungszentrum)  
Doktorvater: Prof. Dr. rer. nat. Wolfgang Schlegel

Die Verifikation von Bestrahlungsplänen ist ein wesentlicher Teil der Qualitätssicherung in der intensitätsmodulierten Strahlentherapie (IMRT). Eine Möglichkeit der Verifikation besteht in der rechnerischen Überprüfung der Bestrahlungspläne durch Monitoreinheiten-Kontrollen oder die unabhängige Berechnung von dreidimensionalen Dosisverteilungen.

Helikale Tomotherapie ist eine besondere Form der IMRT. Während der Patiententisch sich kontinuierlich vorwärtsbewegt, werden durch einen rotierenden Linearbeschleuniger eine Vielzahl einzelner Bestrahlungsfelder appliziert, die mittels eines binären Multileafkollimators fluenzmoduliert werden. Die unabhängige Dosisberechnung für Bestrahlungspläne helikaler Tomotherapie ist zur Zeit mit keinem kommerziellen Bestrahlungsplanungssystem möglich. In der Abteilung Radioonkologie des Universitätsklinikums Heidelberg wird daher jeder Tomotherapie Bestrahlungsplan durch eine individuelle Messung dosimetrisch verifiziert.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde eine Methode zur unabhängigen Berechnung der dreidimensionalen Dosisverteilungen basierend auf Patienten-CT-Datensätzen für Bestrahlungspläne helikaler Tomotherapie entwickelt. Das Verfahren verwendet das am Deutschen Krebsforschungszentrum entwickelte Bestrahlungsplanungssystem VOXELPLAN und einen Pencil-Beam Dosisberechnungsalgorithmus. Die Tomotherapie Bestrahlungspläne wurden in ein VOXELPLAN-kompatibles Format konvertiert. Entsprechend den 51 Projektionen pro Rotation bei helikaler Tomotherapie erfolgte die Dosisberechnung für 51 statische Gantrywinkel pro Rotation. Für jede Projektion eines Plans wurde die modulierte Fluenz aus dem Tomotherapie-Bestrahlungssinogramm berechnet. Dabei wurden MLC-spezifische Korrekturen angewendet, um aus programmierten Leaföffnungszeiten effektive Leaföffnungszeiten zu berechnen.

Die Dosisberechnung wurde ausführlich anhand von Messungen kommissioniert und im Vergleich mit der Tomotherapie Dosisberechnung für 15 einfache IMRT-Pläne mit zylindrischen Zielvolumina validiert. Die unabhängige Dosisberechnung wurde dann für 41 Bestrahlungspläne klinischer Patienten angewendet. Die Auswertung erfolgte voxelbasiert und mittels Dosis-Volumen-Histogrammen im Vergleich mit den primären, im Tomotherapie Planungssystem berechneten Dosisverteilungen. Insgesamt zeigte sich eine gute Übereinstimmung aller untersuchten Bestrahlungspläne, bis auf drei Ausnahmen lagen alle mittleren voxelbasierten Abweichungen zwischen 3,1 % und -2,9 %. Anhand von 10 Prostata-Bestrahlungsplänen und 10 Kopf-Hals-Bestrahlungsplänen werden mögliche Referenzwerte und Toleranzen für den klinischen Einsatz diskutiert, die in zukünftigen Untersuchungen anhand einer größeren Patientenzahl überprüft und auch für weitere Indikationen festgelegt werden können.

Die unabhängige Dosisberechnung kann zusätzlich zur Simulation der Auswirkungen von Abweichungen bei der Bestrahlung in helikaler Tomotherapie genutzt werden. Als Beispiel

wurde hier untersucht, welche Auswirkungen auf die Dosisverteilungen von Gantrywinkelabweichungen und damit auch Fehlpositionierungen von Patienten im Sinne von Rotationen um die Längsachse ausgehen. Die Ergebnisse zeigen, dass bereits Abweichungen von wenigen Grad zu Unter- und Überdosierungen führen können, je nach Beschaffenheit der zugrundeliegenden Bestrahlungspläne. Dies verdeutlicht die Wichtigkeit von täglichen Lagekontrollen der Patienten mittels MVCT bei helikaler Tomotherapie und zeigt, welche Abweichungen auftreten können, wenn auf Lagekontroll- CTs verzichtet wird.

Die in der vorliegenden Arbeit entwickelte Methode kann zur Verifikation von Bestrahlungsplänen bei helikaler Tomotherapie eingesetzt werden. Innerhalb eines umfassenden Gesamt-Qualitätssicherungskonzeptes bietet sie die Möglichkeit der Workflowoptimierung und eventuellen Einsparung zeitaufwändiger Verifikationsmessungen. Die Verwendung der Patienten-CTs und die Berechnung dreidimensionaler Dosisverteilungen bieten einen deutlichen Informationsgewinn gegenüber alleinigen Messungen in homogenen Phantomen und können so insgesamt die Patientensicherheit erhöhen. Da durch unabhängige Dosisberechnungen keine maschinenbezogenen Fehler detektiert werden, können bei einem vollständigen Ersatz der Verifikationsmessungen durch Rechnungen weitere Qualitätssicherungsmaßnahmen notwendig werden, zum Beispiel die Messung von Leaföffnungszeiten mit dem systemeigenen Detektorarray. Die Simulation von Abweichungen in Bestrahlungsplänen ermöglicht einen umfangreichen Einsatz in der Qualitätssicherung und bildet außerdem eine Grundlage für vielfältige weitere Untersuchungen.