

Abdallah Ibraheem Mohammad Qubala

Dr. sc. hum.

Klinische Implementierung eines Oberflächendetektionssystems an der Gantry eines Schwerionentherapiezentrum

Fach/Einrichtung: Medizinphysik/Radioonkologie und Strahlentherapie

Doktorvater: Prof. Dr. Oliver Jäkel

Die oberflächen-geführte Strahlentherapie (deutsch für: Surface-Guided Radiotherapy, SGRT) etablierte sich in den letzten 10 Jahren rasch in der Strahlentherapie. Hauptanwendungen der SGRT sind die Patientenpositionierung, -überwachung und atemgesteuerte Bestrahlung. Aufgrund der Tatsache, dass SGRT kein bildgebendes Verfahren ist, gilt SGRT als komplementäres Verfahren für bild-geführte Strahlentherapie. Dabei wird die räumliche 3D-Information der Patientenhautoberfläche aufgenommen und mit der Referenzoberfläche in Echtzeit registriert bzw. verglichen. Die wesentlichen Vorteile der SGRT-Verfahren bestehen in der strahllosen und nichtinvasiven Anwendung vor und während der Bestrahlung, während Nachteile, wie z. B. Okklusionen durch den eigenen Körper, Immobilisierungsgeräte, Raumkomponenten (wie die Gantry-Nozzle) oder die Unfähigkeit, sehr dunkle Hautfarben abzubilden, den Nutzen von SGRT limitieren können.

Hauptsächlich wurden zwei essentielle Behandlungsunsicherheiten im Rahmen der vorliegenden Arbeit behandelt, (i) die interfraktionelle Patientenpositionierung und (ii) die intrafraktionellen atembedingten Positionsabweichungen. Während sich die erste Forschungsarbeit mit der Optimierung des Patientenpositionierungsablaufs anhand der Hautoberfläche beschäftigte, befassten sich die zwei weiteren Arbeiten mit der Erfassung von vierdimensionalen Computertomografien (4DCTs) und der atembasierten Gating-Technik mithilfe der Hautoberfläche.

Die Einführung einer neuen Technologie in die Patiententherapie erfordert nicht nur technische, sondern auch klinische Tests, Evaluationen und Studien an Patientinnen/en und/oder Probandinnen/en, um die Reliabilität, Genauigkeit, Qualität und Limitationen der neuen Technologie zu bestimmen. Denn die Ergebnisse der technischen Experimente mithilfe von Phantomen weichen von der klinischen Situation in der realen, klinischen Praxis ab. Aus diesem Grund sind Ergebnisse von Phantomexperimenten mit größter Vorsicht in die klinische Routine zu übertragen.

Anhand der ersten Publikation wurde festgestellt, dass die Verwendung von AlignRT als Ergänzung zur planaren kV-Bildgebung die Patientenpositionierung optimieren kann und die Positionierungsgenauigkeit vor der Bestrahlung ohne zusätzliche Dosis bzw. Bildgebungsstrahlung erhöhen kann. Basierend auf unseren retrospektiven Studiendaten führte die Verwendung von SGRT zur Patientenpositionierung nicht nur zu einer

signifikanten Reduzierung der gesamten Lagerungs- und Registrierungszeit, sondern auch zur deutlichen Minimierung der Wiederholungsrate der kV-planaren Bildgebung, wodurch sich die Effizienz des klinischen Behandlungsablaufs erhöhte. Somit wurde die Zuverlässigkeit unserer einzigartigen, spinnennetzartigen SGRT-Installation zur Patientenpositionierung bestätigt.

Außerdem wurde anhand von bestimmten Patientenfällen festgestellt, dass SGRT das Potenzial besitzt, oberflächliche anatomische Veränderungen in den Eingangskanälen zu erkennen. Solche anatomischen Veränderungen können potenziell die Reichweite der applizierten Partikel und damit die Dosisverteilung in dem Zielvolumen und den Risikoorganen beeinflussen. Das ist von besonderer Bedeutung in oberflächlichen Zielvolumina, bei denen das interne Tumorziel mit der Haut der Patientinnen/en korreliert. Beispiele hierbei waren Indikationen wie Chondrosarkome, wo die Gesäßmuskulatur mit der Hautoberfläche korreliert.

In der zweiten Publikation wurde die Leistung des oberflächen-geführten SimRT-Systems bei der Generierung von 4DCT-Bildern im Vergleich zum, auf dem Drucksensor basierten, Anzai-System validiert. Zu diesem Zweck wurden die zeitliche und räumliche Detektionsgenauigkeit der applizierten Atemsignale anhand des SimRT-Systems bewertet. Außerdem wurde die Rekonstruktionsgenauigkeit der anhand des SimRT-Systems erfassten 4DCT-Datensätze analysiert. Dabei wurden reguläre, irreguläre Atemmuster und ein kommerzielles anthropomorphes Phantom an dem SOMATOM Confidence® CT-Scanner verwendet.

Im Gegensatz zum Anzai-System zeigte das SimRT-System eine genauere, stabilere und robustere Atemsignalverfolgung, unabhängig vom Atemmuster, der Amplitude und der Periode. Dies führte nicht nur zu einer präziseren zeitlichen und räumlichen Genauigkeit, sondern auch zu einer realistischeren an die Atmung angepassten Behandlungsplanung. Darüber hinaus wurde bewiesen, dass das SimRT-System für sowohl phasen- als auch amplitudenbasierte 4DCT-Rekonstruktionen verwendet werden kann.

In der letzten Publikation wurde ein umfassender End-to-End-Test für einen oberflächen-basierten klinischen Behandlungsablauf durchgeführt. Die drei kommerziellen SGRT-Module (SimRT, AlignRT und GateRT) wurden hier einbezogen, beginnend mit der 4DCT-Bildakquisition durch SimRT, gefolgt von der Positionierung des Phantoms durch AlignRT und der Gating-Technik durch GateRT. Dabei wurden die Zuverlässigkeit, Machbarkeit, Genauigkeit und Qualität der atemgesteuerten Bestrahlung an der Ionenstrahl-Gantry unter klinischen Bedingungen untersucht.

Basierend auf den Phantommessungen zeigten unsere Ergebnisse klinisch angemessene räumliche und zeitliche Genauigkeiten der drei untersuchten Systeme in den oben genannten klinischen Anwendungen, im Vergleich zu internationalen Richtlinien und institutionellen Toleranzen. Weiterhin wurde ermittelt, dass die bei der Gating-Technik in freier Atmung resultierende dosimetrische Genauigkeit inklusive der geometrischen Strahlmerkmale innerhalb unserer institutionellen Toleranzen liegen. Schließlich wurde die Kommunikation zwischen unserer Anlage und der Gating-Schnittstelle überprüft. Dabei resultierten klinisch akzeptable Latenzzeiten, die innerhalb der internationalen Richtlinien liegen.

Zusammenfassend ist SGRT ein zuverlässiges, klinisch akzeptiertes und weit verbreitetes Instrument, das die Effizienz, Sicherheit und Qualität der Strahlentherapie verbessern und optimieren kann. Sowohl Patienten als auch das klinische Personal können von den SGRT-Techniken profitieren.