

Felix Zibold

Dr. med.

Helikale Tomotherapie bei bewegten Objekten – Analyse der Oberflächendosis bei der Radiotherapie des Mammakarzinoms

Promotionsfach: Radioonkologie

Doktorvater: Prof. Dr. med. Klaus Herfarth

Die helikale Tomotherapie stellt ein innovatives Verfahren der intensitätsmodulierten Strahlentherapie mit Image-Guidance dar. Es ermöglicht die Behandlung komplex geformter Tumoren bei gleichzeitiger Schonung des umliegenden gesunden Gewebes. Einen solchen Tumor stellt das Mammakarzinom dar, das durch die unmittelbare Nähe zu Herz und Lunge und die Beweglichkeit der Thoraxwand aufgrund der Atmung einige Schwierigkeiten bezüglich Risikoorganschonung, Dosishomogenität im Zielbereich sowie Oberflächendosis bei der Bestrahlung verursachen kann.

Bisher konnten die dadurch resultierenden Probleme mit der konventionellen, 3D-konformalen Radiotherapie, in den meisten Fällen adäquat gelöst werden. Bei einigen Mammakarzinompatientinnen, welche komplexe Zielvolumina in Form von beidseitigem Mammakarzinom, parasternaler Tumorkokalisation oder einer starken Trichterbrust aufweisen, zeigte sich, dass die 3D-konformale Radiotherapie bei diesen Fällen an ihre Grenzen stößt. Hier kommt die helikale Tomotherapie zum Einsatz, die auch die genannten Zielvolumina hochkonformal bei gleichzeitiger Schonung der Risikoorgane mit hoher Intensität bestrahlen kann. Aufgrund multipler tangentialer Felder ist eine relativ hohe Dosisapplikation auch am Haut-Luft-Übergang möglich. Dabei ergibt sich jedoch folgender Konflikt: Durch die atmungsbedingte Bewegung der Thoraxwand könnte die Dosishomogenität im Zielvolumen, insbesondere im Bereich der Oberfläche verschlechtert werden, wobei die Gefahr von Hot und Cold Spots besteht.

Diese Dissertation gibt Aufschluss über den Effekt von atembewegungsinduzierten Störungen auf die Oberflächendosis bei der Behandlung des Mammakarzinoms mit helikaler Tomotherapie und ermöglicht einen Vergleich zur konventionellen 3D-konformalen Radiotherapie.

Um die Dosisgradienten zu untersuchen, die in der transversalen Ebene der Atembewegung herrschen, wurden mit einem statischen Thoraxphantom mittels Fehlpositionierungen Oberflächendosen an verschiedenen definierten Orten innerhalb dieser Ebene gemessen. Dabei wurden zwei verschiedene Bestrahlungspläne mit unterschiedlichen PTV-Definitionen verwendet: PTVHaut hatte eine ventrale Begrenzung exakt auf Hautniveau, während sich diese Begrenzung bei PTVLuft 10 mm ventral in der Luft befand. Im Plan PTVHaut wurde ein relativ geringer Gradient im Bereich der Atemexkursion gemessen, wodurch dieser Plan eine geringe Tendenz zur Unterdosierung an der Oberfläche bei anteriorer Fehlpositionierung erkennen lässt. Demgegenüber wurde im Plan PTVLuft ein starker Gradient gemessen, womit dieser Plan bei anteriorer Fehlpositionierung zur deutlichen Überdosierung der Oberfläche neigt. Um diese Erkenntnisse weiter zu vertiefen und dosimetrische Effekte von atembewegungsinduzierten Störungen innerhalb dieser Gradienten zu quantifizieren, wurde ein eigens für diese Untersuchung in Kooperation mit dem DKFZ entwickeltes dynamisches Thoraxphantom

entwickelt und konstruiert. Dieses bewegte sich auf der transversalen Ebene, in der mit dem statischen Phantom die Gradienten gemessen wurden. Neben der Atemfrequenz wurde auch das Ausmaß der Atembewegung in einem für den Menschen typischen Größenbereich variiert. Bei dieser Untersuchung wurden bei der helikalen Tomotherapie Variationen der Oberflächendosis relativ zur Normaldosis in einem Intervall von 1,5 % bis 3,9 % beobachtet. Bei einer identischen Untersuchung mit 3DCRT betrug das Ausmaß der Dosisvariation maximal 1,5 %. Damit konnte bei beiden Therapieverfahren kein signifikanter Einfluss von atembewegungsinduzierten Störungen auf die Oberflächendosis nachgewiesen werden, da sich die gemessenen Dosisvariationen stets unterhalb der fehlerfreien Nachweisgrenze der TLDs von rund 5 % bewegten. Die in statischer Position gemessene Variation der Oberflächendosis lag bei der 3DCRT mit einer Differenz von 0,22 Gy deutlich unter derjenigen, die mit HT gemessen wurde. Die PTV-Definition ergab in dieser Untersuchung keinen nennenswerten Unterschied in den Oberflächendosisvariationen.

Um die Ergebnisse der statischen und dynamischen Phantomexperimente nun möglichst realitätsnah den in-vivo-Bedingungen gegenüberzustellen, wurden die Oberflächendosen statistisch aufgearbeitet, die im Rahmen der Qualitätssicherung bei Patientinnen gemessen wurden. Hierbei ergab sich eine durchschnittliche Oberflächendosis im Zielbereich von $1,66 \pm 0,132$ Gy bei HT (n=179) und $1,42 \pm 0,108$ Gy bei der 3DCRT (n=70). Diese Ergebnisse spiegeln einen statistisch signifikanten Unterschied $p < 0,001$ der gemessenen Oberflächendosen im Zielbereich wider. Die an der kontralateralen gesunden Brust gemessenen Oberflächendosen lagen bei 3DCRT deutlich unter denen, die bei HT gemessen wurden. Dabei sollte jedoch berücksichtigt werden, dass es sich um ein verschiedenes Patientinnenkollektiv handelte. Zusammenfassend fiel die HT durch hohe Dosiskonformalität und eine günstigere Dosis im Zielbereich auf, während sich die 3DCRT durch eine wesentlich kürzere Bestrahlungsdauer und geringere Oberflächendosen an der kontralateralen gesunden Brust auszeichnete. Insgesamt stimmten die Ergebnisse der Oberflächendosismessungen im Zielbereich gut mit den im theoretischen Modell ermittelten Ergebnissen überein.

Es bleibt also festzuhalten, dass die HT eine homogene und reproduzierbare Oberflächendosis mit geringen Abweichungen bei der Radiotherapie des Mammakarzinoms ermöglicht. Als Bestrahlungsplan ist eine PTV-Definition mit ventraler Begrenzung exakt auf Hautniveau eine vernünftige Methode um Dosisabweichungen durch Fehlpositionierungen zu minimieren. Der Effekt von atembewegungsinduzierten Störungen auf die Oberflächendosis ist bei einer normal atmenden Patientin als minimal einzustufen.