

Angelika Zabel
Dr. med.

Bestrahlungsplanung abdomineller Großfelder mittels digital rekonstruierter Röntgenbilder aus Spiral-CT-Datensätzen

Geboren am 23.07.1971 in Hildesheim
Reifeprüfung am 23.05.1990 in Heidelberg
Studiengang der Fachrichtung Medizin vom WS 1993/94 bis SS 1999
Physikum am 29.08.1995 an der Universität Heidelberg
Klinisches Studium in Heidelberg
Praktisches Jahr am Universitätsklinikum Heidelberg
Staatsexamen am 18.11.1999 an der Universität Heidelberg

Promotionsfach: Deutsches Krebsforschungszentrum (DKFZ)
Doktorvater: Prof. Dr. med. G. van Kaick

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird erstmals eine neue Methode zur Bestrahlungsplanung abdomineller Großfelder auf der Basis digital rekonstruierter Röntgenbilder aus Spiral-CT-Angiographie-Datensätzen (DRR-CTA) entwickelt, analysiert und klinisch bewertet. Ziel der Studie war der Vergleich der DRR-CTA-Planung hinsichtlich der quantitativen Strahlenbelastung der Risikoorgane bei einer Bestrahlung mit etablierten Techniken der konventionellen Röntgen-Simulatorplanung, sowie die Evaluation der klinischen Anwendung. Die Verifikation erfolgte mittels einer 3D-Planung als Referenzmethode. Darüber hinaus wurde das neu entwickelte CTA-Protokoll auf seine diagnostische Anwendung geprüft. Die durchgeführte Studie untersucht ausführlich die Daten von 23 Patienten (6 Frauen, 17 Männer, mittleres Alter $47,1 \pm 19,8$ Jahre). Die Indikation zum Staging-CT bestand in Hodgkin- (6) bzw. Non-Hodgkin-Lymphomen (3), Hodentumoren (8) oder anderen Malignomen (6). Die Untersuchungen erfolgten in Spiraltechnik (5mm Schichtdicke, pitch 1,5, 0,75sec Rotationszeit, 120kV, 280mA) bei flacher Atmung, um der Bestrahlungssituation identische Verhältnisse zu schaffen. Bei der Bildrekonstruktion wurde die 'slim'-Interpolation und ein standard body kernel (AB50) mit 5mm Inkrement verwendet. Nach Gabe des nicht-ionischen Röntgen-KM Ultravist 300 als bi-phasischer Bolus (50+120ml, 3ml/sec) startete der Scan mit einem Delay von 120sec/35sec. Dichtemessungen nach KM-Gabe erfolgten in vier über das gesamte Scanvolumen (Mitte 10. BWK bis Pfannendach) verteilten, repräsentativen Schichten. Die Meßpunkte lagen in der Aorta (206 ± 58 HE), der V.cava (126 ± 33 HE), der V. portae (181 ± 45 HE), sowie in den parenchymatösen Organen Milz (138 ± 25 HE), Leber (123 ± 29 HE) und Niere (194 ± 48 HE). Nach manueller Entfernung aller knöchernen Strukturen an der CT-Konsole wurden an einer zweiten Workstation die DRR in maximaler Intensitätsprojektion (MIP) aus dem Original- und dem editierten Datensatz berechnet. Nach farbiger Hervorhebung der kontrastierten Strukturen wurden beide mit unterschiedlicher Transparenz überlagert. Somit gelang die simultane Darstellung von Organen, Gefäßen und Knochen in einem DRR-CTA. Dieses kann direkt zur Definition des Zielvolumens bzw. der Lage der Satellitenblenden verwendet werden. Es konnte gezeigt werden, daß die geometrische Ungenauigkeit bei Verwendung einer Parallelprojektion (z.B. koronares MRA-Bild) statt einer Zentralprojektion (DRR-CTA) pro cm Feldlänge /-breite um 0,9mm und pro cm Objektdicke um 1,1mm zunimmt. Prinzipiell ist es möglich, auch aus MRA-Datensätzen DRR zu berechnen. Die Entscheidung für die Spiral-CTA fiel aufgrund der fehlenden gerätetechnischen

Bildverzeichnungen, geringere Artefaktanfälligkeit und der Darstellung des Knochens zur korrekten Feldübertragung auf den Patienten sowie der Möglichkeit zur exakten Lagerung entsprechend der Therapiesituation. Darüber hinaus ist eine Dosisberechnung auf der Basis der Dichteinformation möglich. Die vom KM-Enhancement abhängige Darstellungsqualität der Strukturen auf den MIP wurde durch Einteilung in 3 Kategorien (71% der beurteilten Strukturen ließen sich der Kategorie 1 zuordnen, 13% bzw. 15% der Kategorie 2 bzw. 3) bewertet. Unabhängig von der DRR-CTA-Planung erfolgte bei 6 Patienten in der Routine eine infradiaphragmale Röntgen-Simulatorplanung mit Modifizierung anhand von CT-Schichten bezüglich des Milzstiels in klinisch üblicher Technik. Beide irregulären Felder jedes Patienten wurden digital überlagert und auf mögliche Abweichungen geprüft. Das Zielvolumen (Milz, retroperitoneale LK) wurde bei beiden Planungsmethoden jeweils vollständig erfaßt. Die Mitbestrahlung der linken Niere ließ sich aufgrund ihrer topographischen Beziehung zum Milzstiel (70% im oberen Nierendrittel) nicht vermeiden. Die planimetrisch bestimmte mittlere Flächenbelastung der linken Niere konnte bei der DRR-CTA-Planung um durchschnittlich 10,8% (4,7 bis 20,9%) verringert werden. Alle 23 Patienten erhielten jeweils eine 3D-, eine Röntgen-Simulator- und eine DRR-CTA-Planung. Der quantitative Vergleich der räumlichen Dosisverteilung erfolgte mittels Dosis-Volumen-Histogramme. Bei der DRR-CTA-Planung gelang eine hochsignifikant geringere Belastung der Risikoorgane linke Niere ($p < 0,001$), rechte Niere ($p < 0,01$) und Darm ($p < 0,001$) bei vollständiger Erfassung des Zielvolumens im Vergleich zur konventionellen Planung. Im direkten Vergleich zum 3D-Plan ist die Differenz des prozentualen Volumenanteils unterhalb der 30%-Isodose beim Röntgen-Simulatorplan jeweils größer ($p < 0,001$) als beim DRR-CTA-Plan. Es konnte daher gezeigt werden, daß der DRR-CTA-Plan zwar nicht ganz so gut wie der 3D-Plan ist, jedoch hochsignifikant ($p < 0,001$) besser als der Röntgen-Simulatorplan. Im Vergleich zur konventionellen Methode werden beim DRR-CTA-Plan durchschnittlich 17% des Volumens der linken Niere geringer belastet. Da die Felddefinition ähnlich der Simulatorplanung direkt auf dem DRR-CTA erfolgt, entsteht hier kein zusätzlicher Zeitaufwand. Es konnte erstmals eine neue Planungsmethode vorgestellt werden, welche die Vorteile der 3D-Planung (exakte individuelle Felddefinition) beinhaltet, jedoch für den Strahlentherapeuten weniger zeitintensiv und somit für die klinischen Routine praktikabler ist. Aufgrund der erzielten Reduktion des Bestrahlungsvolumens von Strukturen außerhalb des Target bei vollständiger Erfassung des Zielvolumens, ist im Langzeitverlauf eine Verminderung therapiebedingter Nebenwirkungen und Spätkomplikationen bei gleicher Heilungsrate zu erwarten.