



Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg
Medizinische Fakultät Mannheim
Dissertations-Kurzfassung

**Prospektive Evaluierung eines ultraschallbasierten
Monitoringsystems bei bildgeführter stereotaktischer
Körperbestrahlung von Oberbauchorganen in Atemanhalt**

Autor: Lena Hiltrud Vogel
Institut / Klinik: Klinik für Strahlentherapie und Radioonkologie
Doktormutter: Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. J. Boda-Heggemann

Die stereotaktische Körperbestrahlung (Stereotactic Body RadioTherapy, SBRT) hat in den letzten Jahren als lokal ablative Therapieoption bei der Behandlung von Oligometastasen und Primärtumoren im Thorax/ Oberbauch zunehmend an Bedeutung gewonnen. Bei der SBRT wird in wenigen Fraktionen eine hohe Strahlendosis auf den Tumor appliziert, gleichzeitig sorgt ein steiler Dosisgradient außerhalb des Zielvolumens für eine Schonung der umgebenden gesunden Organe. Für die Applikation des Bestrahlungsplans ist eine hohe Präzision bei der Lokalisierung und Repositionierung der Zielstruktur notwendig. In der Klinik für Strahlentherapie und Radioonkologie der Universitätsmedizin Mannheim (UMM) wird, um eine maximale Präzision zu erreichen, die SBRT von Oberbauchorganen bildgeführt im wiederholten, computergesteuerten Atemanhalt (Deep Inspiration Breath-Hold, DIBH) mit dem ABC-System (Active Breathing Coordinator, Elekta AB, Stockholm, Schweden) durchgeführt. Dabei wird durch Akquirierung eines DIBH-CBCTs (Cone-Beam Computertomogramm) vor jeder Fraktion die Position der Organe an ein Referenz-Planungs-CT angepasst und der Tumor ausschließlich während des DIBH bestrahlt. Somit kann über die Lage des Tumors im Patienten vor jeder Fraktion (interfraktionell) vor der Bestrahlung eine exakte Aussage getroffen werden, nach Beginn der Bestrahlung (intrafraktionell) gibt es allerdings abgesehen von der Tiefe des Atemanhalt keine bildgebende Information über die aktuelle Position. Um dieses Problem zu lösen, werden derzeit diverse röntgenbasierte Systeme eingesetzt, diese benötigen jedoch invasiv implantierte Marker und führen für den Patienten zu einer zusätzlichen Strahlenbelastung. Ultraschallbasiertes Monitoring bietet die Möglichkeit zu bestrahlende Strukturen in Echtzeit, dreidimensional, non-invasiv und komplett ohne zusätzliche Strahlenbelastung zu überwachen.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Evaluation des 4D-Ultraschallsystems Clarity Anticosti (Elekta AB, Stockholm, Schweden), das experimentell während SBRT in wiederholtem Atemanhalt bei primären und sekundären Oberbauchtumoren eingesetzt wurde. Durch das Ultraschallsystem können Zielstrukturen, wie zum Beispiel der Tumor selbst oder Surrogatstrukturen (Pfortader, Lebervene), in Echtzeit detektiert und verfolgt werden. Der Einsatz erfolgte bei 13 Patienten mit 15 Läsionen in Leber, Milz und Nebenniere, die in den letzten drei Jahren in der UMM bestrahlt wurden. Zusätzlich zu der Position der Zielstruktur im Ultraschall wurden die Positionen der Diaphragmakuppe in den CBCT-Projektionen und die eines Oberflächenmarkers (Straymarker) registriert. Die Lage der Diaphragmakuppe in den CBCT-Projektionen wurden offline durch Korrekturmaßnahmen vom Detektor der CBCT-Einheit auf die reale Situation im Patienten übertragen.

Das Ultraschallsystem wurde von allen Patienten gut toleriert und konnte mit einem zusätzlichen Zeitaufwand von durchschnittlich 8 ± 4 Minuten (3-20 Minuten) in die klinische Routine integriert werden. Von insgesamt 706 mit dem Ultraschallsystem aufgezeichneten Atemanhalten konnten 74 % in 84 Fraktionen korrekt detektiert werden. Bei 385 der 706 Atemanhalt waren gleichzeitig Daten der kraniokaudalen Diaphragmabewegung im CBCT, das als Goldstandard definiert wurde, vorhanden. Im CBCT ergab sich unter allen Atemanhalten eine Restbewegung < 2 mm in 59 %, eine Restbewegung von 2-5 mm in 36 %, eine Restbewegung von 5-8 mm in 4 % und eine Restbewegung > 8 mm in 1 %. Unter den Atemanhalten mit einer Restbewegung > 2 mm im CBCT zeigten 88 % eine statistische Korrelation (= Pearson's Correlation Coefficient $\geq 0,5$) zwischen Diaphragma- und Ultraschallbewegungen, wobei zwischen 2-5 mm, 5-8 mm und über 8 mm je 90 %, 80 % und 50 % korrelierten. In 11 der 15 SBRT-Serien machten korrelierende Atemanhalt einen Anteil > 80 % aus. Beim Vergleich von Ultraschall und Oberfläche korrelierten 73 % der 156 Atemanhalt, die im CBCT

eine Restbewegung > 2 mm hatten, und 72 %, 87 % und 75 % in den Subgruppen 2-5 mm, 5-8 mm und > 8 mm. Bei 4 Atemhalten lagen keine Oberflächendaten vor.

Ultraschallbasiertes Monitoring ist eine vielversprechende, schnelle, nicht-ionisierende und nicht-invasive Methode um Zielstrukturen im Weichteilgewebe während Präzisionsradiotherapie zu repositionieren und zu detektieren. Die Daten zur Restbewegung während der Atemhalte entsprechen den Ergebnissen anderer, bereits publizierter Studien. Ultraschallbasiertes Monitoring zeigt in den meisten Fällen eine statistische Korrelation mit den Bewegungen der Diaphragmakuppe, somit besteht im Falle einer großen Restbewegung die Möglichkeit einer Intervention in Echtzeit. Dadurch kann die Bestrahlungspräzision effektiv bis zu einer quasi-statischen Situation erhöht werden. Die offline-Bestimmung der Restbewegung der Diaphragmakuppe während eines CBCTs im wiederholtem Atemhalt benötigt keine zusätzliche Markerimplantation und kann bei der Entwicklung von Monitoring-Methoden für den Vergleich mit weiteren Techniken zur Bewegungsdetektion von Nutzen sein.