

Torsten Moser
Dr. sc. hum.

Physikalisch-technische und klinische Untersuchung eines laser-optischen Systems zur Verbesserung der Lagerungsgenauigkeit in der fraktionierten Strahlentherapie

Promotionsfach: Medizinische Physik

Doktorvater: Prof. Dr. rer.nat. W. Schlegel

In der fraktionierten Strahlentherapie wird dem Patienten die verschriebene Dosis während täglicher Behandlungen in Teildosen (Fraktionen) verabreicht. Dabei muss der Patient bei jeder Behandlung sehr genau gelagert, d.h. repositioniert, werden. Nur wenn die Lagerung bei der Erstellung des Planungs – CTs und bei der Behandlung selbst gleich sind, wird die Dosisverteilung wie geplant appliziert. Der Lagerungsgenauigkeit kommt also eine hohe Bedeutung zu.

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit einem kommerziellen laser-optischen Systems zur Verbesserung der Lagerungsgenauigkeit für die Strahlentherapie. Das System besteht aus einem Laserscanner, welcher die Oberfläche des Patienten mit einer Laserlinie abtastet und die Reflektion der Linie wieder aufnimmt und daraus ein dreidimensionales Oberflächenmodell des Patienten errechnet. Durch Vergleich mit einer Referenzaufnahme wird eine Verschiebungsvorschrift abgeleitet, mit der die Lage des Patienten anschließend korrigiert werden kann. Das System wurde auf seine physikalisch-technischen Eigenschaften hin untersucht und in einer Studie mit 120 Patienten in der klinischen Anwendung getestet.

Die physikalisch-technischen Eigenschaften wurden mittels Phantommessungen untersucht und die Stabilität des Systems durch Routinetests geprüft. Die klinische Anwendung des Systems wurde an einem Tomotherapie-Beschleuniger untersucht. Diese Beschleuniger vereinen CT und Linearbeschleuniger und sind für Patienten gedacht, die besonders von einer hohen Genauigkeit in der Bestrahlung profitieren können. Zur täglichen Behandlung gehört ein Megavoltage Computertomogramm (MVCT) zur Überprüfung der aktuellen Lage des Zielgebiets relativ zur Position während der Bestrahlungsplanung. Damit wird täglich die Patientenlagerung überprüft und korrigiert, indem mit Hilfe der Patientencouch Verschiebungen durchgeführt werden. Dies ist eine geeignete Referenzmethode um das laser-optische System zu evaluieren.

Es wurden an jeweils 20 Patienten in den sechs definierten Behandlungsregionen *Pelvis*, *Upper Abdomen*, *Thorax*, *Breast*, *Head & Neck* und *Brain* unterschiedliche Fragestellungen untersucht: I) die Übereinstimmung der vorgeschlagenen Lagerungskorrektur mit der MVCT-basierten Lagerungskorrektur, II) die Genauigkeit der Detektion von Verschiebungen des Patienten und III) die Größe der Lageveränderungen während der Behandlungsfraktion. Die Patienten wurden zu Behandlungsbeginn bei zehn Fraktionen jeweils dreimal gescannt, einmal nach der initialen Lagerung anhand von Hautmarkierungen, dann nachdem die Lagerung anhand des MVCT korrigiert worden ist und schließlich nach Ende der Bestrahlung. Die Auswertung der Daten erfolgte retrospektiv und die mit dem laser-optischen System berechneten Lagerungskorrekturen wurden nicht in der Therapie angewendet.

Das Lasersystem benötigt eine Referenzaufnahme, mit dem der aktuelle Scan verglichen werden kann. Dafür gibt es zwei Optionen. Die Referenz kann mit dem System selbst erzeugt werden oder sie kann als Oberflächenkontur aus dem Planungs-CT eingebunden werden. Die

oben genannten Fragestellungen wurden für beide Arten von Referenzaufnahmen getrennt untersucht.

Die Untersuchung der physikalisch-technischen Eigenschaften ergab eine Tag-zu-Tag Variation, die für die laterale und longitudinale Richtung von meist unterhalb 0.5 mm und für die vertikale Achse bei 1 mm liegt. Die Reproduzierbarkeit in der Detektion von Verschiebungen eines starren Phantoms war besser als 1.5 mm.

Bei der Anwendung des Systems auf Patienten ergaben sich die folgenden Ergebnisse:

I) Die Korrekturvorschläge des Lasersystems weichen in der Summe der Translationen zwischen 2 und 7 mm (abhängig von der Behandlungsregion) von den Korrekturvorschlägen des MVCT ab. Dabei liegt die Streuung zwischen 2 und 5 mm (Abstand 25% - 75% Quantil). Es ergibt sich die folgende Reihenfolge der Patientengruppen hinsichtlich des Median-Abstands von Null und der Streuung: *Brain < Head & Neck < Thorax < Breast < Pelvis < Upper Abdomen*.

II) Die tatsächlich angewendete Verschiebung wird analog dieser Reihenfolge mit einer Median-Abweichung von Null von ca. 1 mm (*Brain, Head & Neck*), 3 mm (*Thorax, Breast*) und 6 mm (*Pelvis, Upper Abdomen*) erkannt. Auch die Streuung liegt vergleichbar bei 2 bis 5 mm.

III) Während der Therapie erfolgt bei *Brain und Head & Neck* Fällen fast keine Bewegung (<0.5 mm Streuung), was sicher auf die Anwendung von rigiden Lagerungshilfen zurückzuführen ist. Für *Thorax und Breast* ist die Streuung unter 3 mm und bei *Pelvis und Upper Abdomen* unter 5 mm.

Bei Verwendung der Kontur aus dem Planungs-CTs als Referenz fällt eine systematische Abweichung in vertikaler Richtung für alle Entitäten auf. Die Medianwerte sind um 3 bis 9 mm unter die Nulllinie verschoben. Zudem sind die Streuungen etwas größer. Bei Verwendung der mit dem Lasersystem erstellten Referenz wurde diese systematische Abweichung nicht festgestellt.

Das System weist physikalisch-technisch eine zufriedenstellende Stabilität auf, jedoch liegt in der Variabilität der Ergebnisse der täglich durchgeführten Kalibrierung als Indikator für die Systemstabilität eine Schwäche des Systems. Die Reproduzierbarkeit in der Detektion von Verschiebungen eines starren Phantoms erfolgt mit hoher Präzision. Es wurde eine Korrelation in der Reproduzierbarkeit zwischen Translationen und Rotationen gefunden, die darauf zurückgeführt wurde, dass das System nur eine Kamera besitzt, wodurch die für das System sichtbare Patientenoberfläche eingeschränkt ist.

Bei der Patientenstudie im klinischen Umfeld ergaben sich folgende Diskussionspunkte:

I) Die Untersuchung von Patienten nach Körperregionen zeigt eine deutliche Abstufung in der Reproduzierbarkeit. Behandlungsregionen, die mit Lagerungshilfen hochpräzise gelagert werden können wie z.B. das Gehirn und der Kopf-Hals Bereich, ergibt sich auch eine gute Übereinstimmung der Korrekturen von Lasersystem und MVCT. Für Tumoren im Thorax oder in der Mamma ist die mittlere Reproduzierbarkeit das System dagegen nur noch bei ca. 5 mm und je weiter man sich der Unterbauchregion nähert, desto unsymmetrischer und breiter gestreut ist die Verteilung. Für Präzisionsanwendungen im Körperstammbereich, wie z.B. der stereotaktische Radiochirurgie, ist das System daher nicht geeignet.

II) Die tatsächlich angewendete Verschiebung wird ohne systematische Verschiebung erkannt, wobei die Reproduzierbarkeit in der Reihenfolge *Brain, Head & Neck, Thorax, Breast, Upper Abdomen, Pelvis* abnimmt.

III) Die mit dem System während der Bestrahlung festgestellte Patientenbewegung könnte z.B. dafür genutzt werden, die Größe des Sicherheitssaums um das Planungszielvolumen so festzulegen, dass die Patientenbewegungen nicht zu einer Unterdosierung im Tumor führen.

Ursachen für die systematische Abweichung bei der Verwendung der Referenz aus dem Planungs-CT können entweder in der Information (Art der Bilder; gegebenenfalls ist die notwendigen Segmentierung des Planungs-CTs störanfällig) oder in der Registrierung des MVCTs liegen (mögliche Veränderung der Lagebeziehung zwischen Körperoberfläche und Zielregion im Patienten). Um den Umstand, dass die MVCT-Registrierung auf die Tumorregion und nicht auf die Oberfläche durchgeführt wurde, als Ursache auszuschließen wurden die MVCTs zusätzlich auf die Oberfläche registriert. Die daraus resultierenden Unterschiede streuen symmetrisch und zeigen keine systematische Abweichung, so dass sie als Ursache für eine systematische Abweichung nicht infrage kommen. Die Ursache für die systematische Abweichung ist daher in der Verwendung unterschiedlicher Modalitäten bei der Referenz-Erstellung zu suchen.

Für die mit dem Lasersystem erstellte Referenz war die Übereinstimmung mit der MVCT-Korrektur deutlich besser und die Streuung geringer. Deshalb ist die Verwendung der mit dem Lasersystem bei der ersten Bestrahlung erzeugten Referenzaufnahme für die klinische Anwendung besser geeignet.

Schlussfolgerung: Das System kann grundsätzlich für die Lagerungskorrektur in der fraktionierten Strahlentherapie eingesetzt werden. Ein mögliches Anwendungsszenario könnte in der Kombination mit einem radiologischen Bildgebungsverfahren liegen, mit dem die Lagerung bei der ersten Bestrahlung kontrolliert und gegebenenfalls korrigiert wird. Die mit dem Lasersystem zu diesem Zeitpunkt erstellte Referenz könnte für die Lagerungskorrekturen bei den folgenden Fraktionen verwendet werden. Eventuell muss die Lagerungskontrolle mittels radiologischer Bildgebung und die anschließende Erstellung der Referenzaufnahme im weiteren Behandlungsverlauf stichprobenhaft wiederholt werden. Ein solches Vorgehen würde die mit den Lagerungskontrollen verbundene Strahlenexposition des Patienten signifikant verringern.