

Projektorbasierte erweiterte Realität in der interstitiellen Brachytherapy

Robert Krempien¹, Sascha Däuber², Harald Hoppe², Wolfgang Harms¹,
Oliver Schorr², Heinz Wörn² und Michael Wannemacher¹

¹ Abt. Klinische Radiologie - Schwerpunkt Strahlentherapie -,
Universität Heidelberg, INF 400, 69120 Heidelberg

² Institut für Prozessrechentechik und Robotik,
Universität Karlsruhe, 76128 Karlsruhe
Email: robert_krempien@med.uni-heidelberg.de

Zusammenfassung. Operationsplanungssysteme bieten die Möglichkeit der Planung von brachytherapeutischen Eingriffen vor der Nadelimplantation. Dies erlaubt es eine tumorwirksame Dosis im Zielvolumen zu gewährleisten unter Berücksichtigung einer optimierten Nadelgeometrie zum Erreichen einer homogenen Dosisverteilung und unter Berücksichtigung von umgebenden Risikostrukturen. Der entscheidende Schritt von der Planung zur intraoperativen Umsetzung bleibt jedoch die sinnvolle Bereitstellung der präoperativ gewonnenen Daten ohne die erzielte Genauigkeit wieder ganz oder teilweise einzubüßen. Während die Verwendung von Navigationssystemen zwar die Möglichkeit eröffnet chirurgische Geräte mit den entsprechenden Planungsdaten am Monitor zu überlagern ist eine Methode die Planungsdaten unmittelbar im Operationfeld sichtbar zu machen sinnvoll. Das vorgestellte System ermöglicht die genaue Referenzierung der aktuellen Patientenlage mit den Planungsdaten und die Visualisierung von Planungsdaten auf dem Patienten (Operationsplan, Tumorlage und Form, Risikostrukturen) bei geringster Beeinträchtigung des Brachytherapeuten sowie des Implantationsablaufes. Das vorgestellte System ermöglicht eine Verbesserung der bestehenden brachytherapeutischen Behandlungen und kann eventuell neue Therapiemöglichkeiten erschließen.

1 Einleitung

Problemstellung Die interstitielle Brachytherapie ist eine hochwirksame Bestrahlungstechnik in der Behandlung von Kopf-Hals-Tumoren, Brusttumoren, Gynäkologischen Tumoren, Prostata-Karzinomen und Weichteiltumoren [1-3]. Die interstitielle Brachytherapie beschreibt die chirurgische Implantation von radioaktiven Quellen in einen malignen Tumor. Ursprünglich wurden hierbei radioaktive Drähte oder Nadeln direkt in einen Tumor eingebracht. Heutzutage hat sich das Afterloading Verfahren durchgesetzt. Hier werden zunächst über Hohl-nadeln Plastikkatheter in einen Tumor implantiert. Eine einzelne schrittbewegte Quelle wird dann zu Bestrahlung verwendet. Die Qualität eines brachytherapeutischen Implantates hängt von der Möglichkeit der Abdeckung des Zielvolumens

(PTV), der Implantatgeometrie, einer homogenen Dosisverteilung und umgebenden Risikostrukturen ab. Das heißt die Genauigkeit der Nadelimplantation ist entscheidend für den Erfolg der Brachytherapie.

2 Stand der Forschung

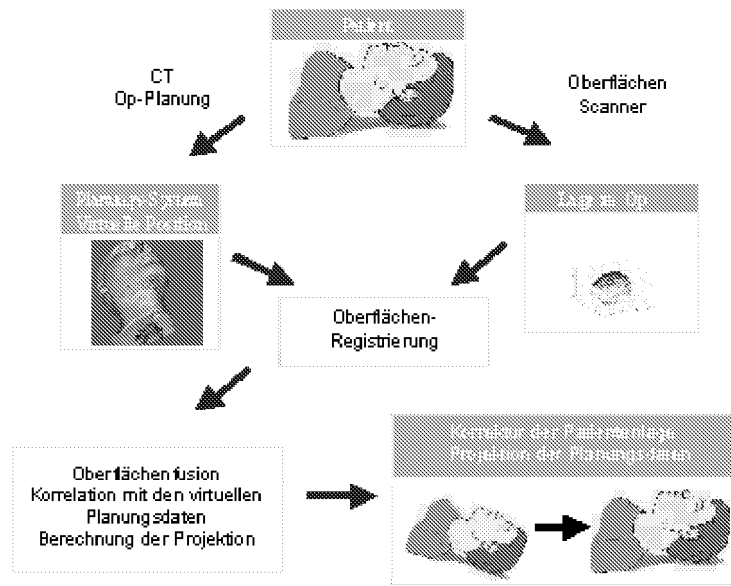
Heutzutage wird die Platzierung der Nadeln vor der Therapieplanung durchgeführt. Der Behandlungsplan wird auf der Basis der erreichten Nadelpositionen erstellt. Die Implantation wird anhand von präoperativem Bildmaterial und der klinischen Situation im Operationssaal durchgeführt. Das Erreichen einer optimalen Nadelverteilung hängt in erster Linie von der Erfahrung des Therapeuten ab. Der Brachytherapeut muss in der Lage sein, sich die Tumorlokalisation im dreidimensionalen Raum vorzustellen, anhand dieser Vorstellung eine optimale Nadelverteilung im Zielvolumen im Geiste visualisieren und diese dann operativ umzusetzen. Fehler in der Nadelimplantation können nur durch eine Veränderung der individuellen Standzeiten der Quelle an den einzelnen möglichen Quellpositionen bis zu einem gewissen Grad ausgeglichen werden. Neuerdings erlauben Operationsplanungssysteme die virtuelle präoperative Planung von Eingriffen mit hohen Genauigkeitsanforderungen [4]. Detaillierte Planungen dieser Eingriffe können am Computer unter Zuhilfenahme entsprechenden Planungssysteme und geeignet aufbereiteter Daten aus bildgebenden Verfahren (CT, MRT) durchgeführt werden [5]. Diese Systeme bieten die Möglichkeit der Planung von brachytherapeutischen Eingriffen vor der Nadelimplantation [6]. Dadurch kann eine sichere Implantation der Nadeln im Zielvolumen gewährleistet werden unter Berücksichtigung einer optimierten Nadelgeometrie zum Erreichen einer homogenen Dosisverteilung und unter Berücksichtigung von umgebenden Risikostrukturen. Der entscheidende Schritt von der Planung zur intraoperativen Umsetzung bleibt jedoch die sinnvolle Bereitstellung der präoperativ gewonnenen Daten ohne die erzielte Genauigkeit wieder ganz oder teilweise einzubüßen. Zum einen muss die Registrierung der aktuellen Patientenlage mit der virtuellen Patientenlage in den Planungsdaten in Übereinstimmung gebracht werden. Zum anderen müssen die Planungsdaten des Operationsplanungssystems während der Operation im Kontext der aktuellen Situation bereitgestellt werden.

Wesentlicher Fortschritt durch den Beitrag Das vorgestellte System bieten die Möglichkeit der Planung von brachytherapeutischen Eingriffen vor der Nadelimplantation und ermöglicht die genaue Referenzierung der aktuellen Patientenlage mit den Planungsdaten und die Visualisierung von Planungsdaten auf dem Patienten (Operationsplan, Tumorage und Form, Risikostrukturen) bei geringster Beeinträchtigung des Brachytherapeuten sowie des Implantationsablaufes.

3 Methoden

Das System besteht aus einem Video Projektor, zwei CCD Kameras und einem 'state of the art' PC (800 Mhz CPU, 256 Mbyte RAM) und einem Operationsplanungssystem. Letzteres ermöglicht es anhand der präoperativen Bilder

Abb. 1. Basierend auf einem Planungs-CT wird mittels eines Planungssystems ein virtueller Plan für die Brachytherapie erstellt. Nach Segmentierung der Patientenoberfläche, eventueller Risikostrukturen und des Tumors wird der Zugangsweg der Brachytherapie-Nadeln sowie deren Verteilung im Tumor bestimmt. Die Position des Patienten im Op wird mittels eines Oberflächenscanners erfasst und mit der virtuellen Patientenoberfläche des Planungs-CT registriert. Mittels des Videoprojektors werden die Planungsdaten (Tumurlage, Risikostrukturen, Zugangsweg und Einstichrichtung) auf den Patienten projiziert. Mittels Online-Referenzierung können die Daten der jeweils geänderten Patientenposition angepasst werden.

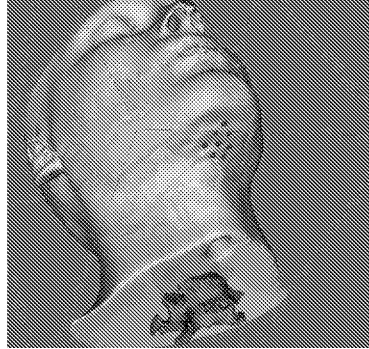


einen Implantationsplan für die Brachytherapie zu erstellen und diesen an das Projektorsystem weiterzugeben. Nun wird die aktuelle Patientenlage mit Hilfe eines sog. Oberflächenscanners erfasst. Dabei wird eine Serie von Streifenmustern („kodierte Licht“) auf die Körperoberfläche projiziert und die Bildfolge von zwei CCD-Kameras aufgenommen. Im Rechner werden die so gewonnenen Bilder unter Beachtung der sich ausbildenden Moiré-Muster ausgewertet und liefern eine Menge von dreidimensionalen Raumkoordinaten (Punktwolke) zurück, die alle auf der Oberfläche des Patienten liegen. Daraus lässt sich die augenblickliche dreidimensionale Lage des Patienten rekonstruieren und diese mit den Planungsdaten abgleichen. Der Videoprojektor ermöglicht es die Planungsdaten nach Anpassung auf die aktuelle Patientenlage auf die Patientenoberfläche zu projizieren (Abb. 1) [7].

4 Ergebnisse

Im vorliegenden Beitrag wird ein System vorgelegt, welches in der Lage ist die aktuelle Patientenoberfläche zu erfassen und diese mit der virtuellen Lage des

Abb. 2. Virtuelle Planung der Brachytherapie. Nach Segmentierung des Tumors werden die Einstichstellen der Brachytherapienadeln sowie deren Zugangsweg unter Berücksichtigung eventueller Risikoorgane definiert.

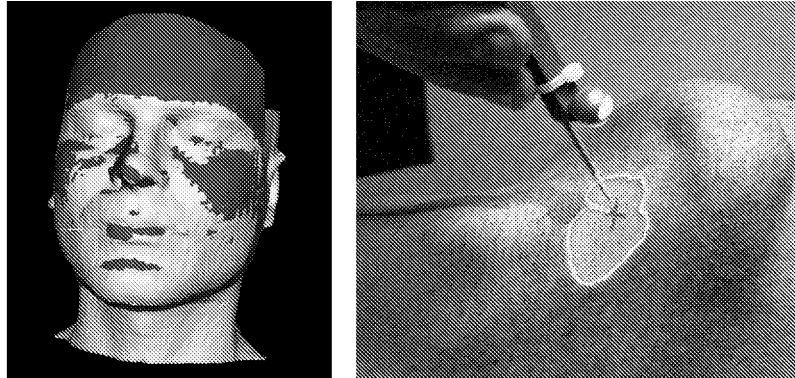


Patienten in den Planungsdaten abzugleichen (Abb. 1). Die präoperativ festgelegten Planungsdaten (Abb. 2) können mit einem Videoprojektor direkt auf dem Patienten sichtbar gemacht werden. Dabei kann sowohl auf Markerschrauben zur Registrierung als auch auf eine Fixierung des Patienten verzichtet werden, wobei dessen Bewegungen über aufgeklebte passive Marker nachverfolgt werden. Die Genauigkeit der Projektion beträgt derzeit ± 1 mm ohne und ± 3 mm mit Nachverfolgung der Patientenlage, während der Operationsplan momentan mit 0.5 Hz nachgeführt werden kann. Die Möglichkeit der Patientenreferenzierung über den Oberflächenscan erlaubt es die aktuelle Patientenlage digital zu erfassen. Damit sind sowohl die reale als auch virtuelle Lage des Patienten in digitaler Form vorhanden und können miteinander abgeglichen werden. Der Videoprojektor ermöglicht es die Planungsdaten nach Anpassung auf die aktuelle Patientenlage auf die Patientenoberfläche zu projizieren. So können sowohl Einstichpunkte der Brachytherapienadeln, wie auch Tumor- und Risikostrukturen und ihre Lokalisation während der Operation auf der Patientenoberfläche bereitgestellt werden (Abb. 3).

5 Diskussion

Operationsplanungssysteme bieten die Möglichkeit der Planung von brachytherapeutischen Eingriffen vor der Nadelimplantation. Dies erlaubt es eine tumorwirksame Dosis im Zielvolumen zu gewährleisten unter Berücksichtigung einer optimierten Nadelgeometrie zum Erreichen einer homogenen Dosisverteilung und unter Berücksichtigung von umgebenden Risikostrukturen. Der entscheidende Schritt von der Planung zur intraoperativen Umsetzung bleibt jedoch die sinnvolle Bereitstellung der präoperativ gewonnenen Daten ohne die erzielte Genauigkeit wieder ganz oder teilweise einzubüßen. Während die Verwendung von Navigationssystemen zwar die Möglichkeit eröffnet chirurgische Geräte mit den entsprechenden Planungsdaten am Monitor zu überlagern ist eine Methode die Planungsdaten unmittelbar im Operationsfeld sichtbar zu machen sinnvoll. Das vor-

Abb. 3. Links: Registrierung der aktuellen Patientenlage mit der virtuellen Lage im CT. Rechts: Projektion des Tumors und einer Nadelposition auf die Patientenoberfläche.



gestellte System ermöglicht die genaue Referenzierung der aktuellen Patientenlage mit den Planungsdaten und die Visualisierung von Planungsdaten auf dem Patienten (Operationsplan, Tumorage und Form, Risikostrukturen) bei geringster Beeinträchtigung des Brachytherapeuten sowie des Implantationsablaufes. Das vorgestellte System ermöglicht eine Verbesserung der bestehenden brachytherapeutischen Behandlungen und kann eventuell neue Therapiemöglichkeiten erschließen.

Literaturverzeichnis

1. Shasha D, Harrison LB, Chiu-Tsao ST. The role of brachytherapy in head and neck cancer. *Semin Radiat Oncol.* 1998;8:270-81
2. Harms W, Krempien R, Hensley FW, *et al.* M 5-year results of pulsed dose rate Brachytherapy applied as a boost after breast-conserving therapy in patients at high risk for local recurrence from breast cancer *Strahlenther Onkol* 2002; 178:11;607-614.
3. Zietman AL. Localized prostate cancer: brachytherapy. *Curr Treat Options Oncol.* 2002;3:429-36.
4. Peters TM. Image-guided surgery: from X-rays to virtual reality. *Comput Methods Biomech Biomed Engin.* 2000;4:27-57..
5. Hassfeld S, Brief J, Krempien R, *et al.* Computer-assisted oral, maxillary and facial surgery. *Radiologe.* 2000;40:218-26
6. Krempien R, Hassfeld S, Harms W, *et al.* A new computer assisted real time 3D navigation system for interstitial brachytherapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 51S:197, 2001
7. Hoppe H, Daeuber S, Kuebler C, Raczkowski J, Woern H A new, accurate and easy to implement camera and video projector model. *Stud Health Technol Inf.* 2002;85:204-206