

Cyberknife – ein Strahlenskalpell

Moderne Strahlentechnik in der Tumorbehandlung



PD Dr. med. Alexander Muacevic absolvierte seine Facharztausbildung für Neurochirurgie an der LMU München und schloss 2006 seine Habilitation ab. Durch verschiedene Auslandsfortbildungen u. a. am Cyberknife Center Vicenza in Italien setzte er seinen Schwerpunkt auf die moderne Strahlentechnik.



PD Dr. med. Berndt Wowra war nach seinem Studium an der Universität Tübingen u. a. am Tumorzentrum Heidelberg/Mannheim tätig. Im Juli 2005 eröffnete er zusammen mit PD Dr. Muacevic das Cyberknife Zentrum München im Rahmen der integrierten Versorgung mit dem Klinikum der Universität München.

Im Europäischen Cyberknife Zentrum (ECZM) in **München-Großhadern**, dem einzigen in Deutschland, können die Radiochirurgen **PD Dr. med. Alexander Muacevic** und **PD Dr. med. Berndt Wowra** mit moderner Strahlentechnik selbst inoperable Tumore entfernen. Die bildgeführte und robotergestützte Präzisionsbestrahlung ist schmerzfrei und erfordert keine Narkose.

Der Patient liegt auf der Liege im weiß gestrichenen Operationsraum und hört seine Lieblingsmusik von der mitgebrachten CD. Nichts deutet darauf hin, dass dem 65-jährigen Patienten gleich ein lebensbedrohlicher Tumor auf der rechten Lungenseite entfernt werden soll. Schwestern und Anästhesisten sind bei diesem Eingriff nicht nötig, und der Chirurg steht im benachbarten Kontrollraum und überwacht die Bewegungen des „Operators“ am Monitor. Beim Operator handelt es sich um einen Roboterarm, wie man ihn aus den Fertigungsstraßen der Automobilindustrie kennt. Allerdings ist dieser Roboter technisch aufgerüstet, statt einer Greifhand sitzt am Ende eine spezielle medizinische Bestrahlungseinheit.

Von dort aus werden die über einen Linearbeschleuniger erzeugten Präzisionsstrahlen auf den in der Lunge befindlichen Tumor geschossen. 90 Minuten lang mit einer maximalen Dosisrate von 600 cGy pro Minute. Die Strahlen treffen dabei aus 100 bis 150 (aus 1.200 möglichen) Einstrahlrichtungen auf die Krebsgeschwulst, damit das Strahlenskalpell seine tödliche Wirkung nur dort entfaltet, wo der Tumor sitzt. Durch die ionisierende, hochenergetische Photonen-Strahlung werden in den Tumorzellen Schäden am Erbgut (DNA) verursacht, die letztlich zum Zelltod führen. Die Cyberknife-Technologie steuert

dabei die Bestrahlung so, dass die für die Krebszellen tödliche Dosis nur im Zielgebiet (Tumor) erreicht wird, das um-

liegende, gesunde Gewebe jedoch verschont bleibt bzw. durch die Photonen nicht nachhaltig geschädigt wird.



© Cyberknife

Die eigentliche Arbeit für die behandelnden Ärzte und das Cyberknife-Team beginnt schon einige Tage vor dem Strahleneingriff. Mit bildgebenden Verfahren, wie der Computertomographie oder der Magnetresonanztomographie, machen Radiologen Aufnahmen vom Zielgebiet. Da die Bestrahlungstechnik ursprünglich hauptsächlich im Bereich des Gehirns eingesetzt wurde, ist die Zusammenarbeit mit den klassischen Neurochirurgen nach wie vor sehr eng. Das ECZM kooperiert beispielsweise mit dem auch räumlich in unmittelbarer Nachbarschaft liegenden Klinikum der Universität München (LMU) in Großhadern. Über eine Direktleitung in das Institut für Klinische Radiologie werden zudem Bilddaten ausgetauscht und anspruchsvolle Untersuchungen, wie die 3-Tesla Kernspintomographie, direkt in die Computer zur Cyberknife-Behand-

lungsplanung eingelesen. Bei diesem Konzept profitieren die Patienten einerseits vom hohen klinisch-akademischen Niveau, andererseits kann ein Maximum an Flexibilität bei der Koordination der Vorstellungs- und Behandlungstermine gewährt werden. In gemeinsamen Fallkonferenzen besprechen die Experten des Uniklinikums mit den Radiochirurgen von Cyberknife die bestmögliche Behandlungsmethode. Denn nicht jeder Tumorpatient ist ein Kandidat für das schmerzlose Strahlenskpell. Das gilt für Patienten mit einer bösartigen Geschwulst im Gehirn ebenso wie für solche mit onkologischen Befunden an der Wirbelsäule oder inneren Organen. In Frage kommen nur Tumore mit einer guten Abgrenzung zum gesunden Gewebe und einer bestimmten Größe. Auch sollte der Tumor klar definiert sein, eine Behandlung von mehreren im Körper

verstreuten Metastasen ist damit nicht möglich.

Stellt sich heraus, dass die Cyberknife-Technologie die geeignete Behandlungsmethode ist, arbeiten Radiochirurgen und Physiker an der OP-Planung. Festgelegt werden die Gebiete, die geschont werden müssen, jene, durch die die Strahlen zum Tumor geschossen werden, und natürlich die dreidimensionale Struktur des Tumors, die zerstört werden soll. Der Computer errechnet aus allen Informationen dann die besten Strahlengänge, so dass die Dosis im Zentrum, aber auch jene am Rand der

Von dem Roboterarm aus werden die über einen Linearbeschleuniger erzeugten Präzisionsstrahlen auf den Tumor geschossen.



Geschwulst stimmt und optimale Wirkung zeigt.

Bei dem zuvor genannten, im Cyberknife-Operationsraum liegenden Patienten passte die Diagnose. Ein Lungenkarzinom auf der linken Lungenseite wurde bereits operiert. Später bildete sich jedoch auch auf der gegenüberliegenden Seite ein weiterer Tumor. Hier war ein operativer Eingriff nicht mehr möglich. Als Alternative zu einer Chemotherapie oder einer herkömmlichen, vier Wochen dauernden Bestrahlung wurde die Cyberknife-Radiochirurgie als Behandlungsmethode gewählt. Vor der eigentlichen Behandlung wurde ein 5 mm kleines Metallplättchen Computertomographie-assistiert in den Tumor gelegt. Dieses dient als Orientierungspunkt für den Roboter, den Tumor zu orten.

Die rahmenlose Radiochirurgie der Cyberknife-Technologie macht solche

ambulant durchgeführt. Die Behandlung ist schmerzfrei, erfordert keine Narkose oder Fixierung des Körpers. Durch die intelligente, bildgeführte Robotertechnik bewegt sich der Roboter mit der Tumorbewegung während des Atmens mit, was erstmalig eine punktgenaue Hochpräzisionsbestrahlung auch von bewegten Organen wie z. B. der Lunge ermöglicht.

Bei bewegten Zielvolumen kann seit Neuestem die Organbewegung dynamisch angepasst werden. Nach dem Einsatz des Markers im Bereich des Zielgebietes wird die innere Organbewegung mit Hilfe des Bildführungssystems definiert. Gleichzeitig wird mit LED-Dioden, die auf der Brustoberfläche des Patienten angebracht sind, die Atembewegung gemessen. Die Software kann die Information aus laufend gemachten Röntgenbildern mit der ursprünglichen

gitally Reconstructed Radiographs), die aus dem für die Dosisplanung erforderlichen CT-Datensatz errechnet werden. Aus dem mathematischen Vergleich der DRRs mit den aktuellen digitalen stereoskopischen Projektionsaufnahmen wird bestimmt, um welchen Betrag die aktuelle Position der Zielstruktur vom Sollwert abweicht. Sofern die Abweichung im Toleranzbereich des Robotersystems, etwa 10 mm in jede Richtung, liegt, korrigiert das System diese Abweichung automatisch; der sechs-gelenkige Roboterarm steuert nach. Bei größeren Abweichungen schaltet das System ab, damit keine gesunden Strukturen geschädigt werden.

Nach der Behandlung konnte der Patient das Behandlungszentrum verlassen und noch am selben Tag seiner beruflichen Tätigkeit nachgehen. Die Kontrolluntersuchung war zwei Monate nach der Bestrahlung anberaumt. Ein Vergleich des Operationsgebietes zeigte das Ergebnis: Während auf dem ersten Bild, aufgenommen zwei Tage vor der Bestrahlung, die mit Metallplättchen markierte Metastase deutlich zu sehen war, war auf der nächsten Aufnahme, zwei Monate nach der einmaligen Präzisionsbestrahlung, der Tumor vollständig verschwunden.

Dennoch ist die Cyberknife-Technologie kein chirurgisches Allheilmittel gegen Krebs. Die Methode hat seine Grenzen. Je größer der Tumor ist, desto größer muss der Durchmesser der einzelnen Strahlen sein. Damit steigt auch die Belastung für das umliegende Gewebe, ein Problem gerade beim sehr empfindlichen zentralen Nervensystem. Hier sind Tumore mit einem Durchmesser über drei Zentimeter bereits kritisch. Gänzlich ausgeschlossen sind Geschwülste, die ins Gewebe wuchern. Nicht geeignet ist die Methode auch für Menschen in akuter Lebensgefahr. Aber für all jene, die mit Cyberknife behandelt werden können, ist diese schmerzlose Therapie ein enormer Fortschritt, da auch stationäre Krankenhaus- oder Rehaufenthalte für den Patienten entfallen.

PD Dr. med. Alexander Muacevic und

PD Dr. med. Berndt Wowra

Nach der Behandlung kann der Patient das Behandlungszentrum verlassen und noch am selben Tag seiner beruflichen Tätigkeit nachgehen.

Eingriffe erst möglich. Der Patient muss nicht mehr fixiert oder ruhig gestellt werden. Durch ein ausgeklügeltes, rechnergestütztes Rückkopplungssystem können selbst leichte Bewegungen von der Bestrahlungseinheit ausgeglichen werden. Im Bereich der Wirbelsäule, so haben die Studien am ECZM gezeigt, reichen mittlerweile die knöchernen Strukturen aus, um die Zielregion ständig im Fokus zu behalten (Journal of Neurosurgery Spine: Vol. 5, October 2006). Mit dem so genannten Xsight Spine Tracking System, das weltweit erstmalig im Münchner Zentrum eingesetzt wurde, wird die Behandlung schonender für den Patienten und zugleich sicherer, weil den Betroffenen ein chirurgischer Eingriff zur Implantation der Marker erspart bleibt und Schmerzen sowie eventuell dadurch auftretende Komplikationen vermieden werden können.

Beim 65-jährigen Patienten mit Lungentumor wurde die eigentliche Behandlung



Der Tumor befand sich an der Stelle, wo zwei Monate nach der einmaligen Bestrahlung nur noch Narbengewebe zu sehen ist (Pfeil).
© Cyberknife

Aufnahme vergleichen und so die Positionierung des Tumors vorherberechnen. Die Bestrahlungseinheit auf dem Roboterarm denkt gleichsam mit und berechnet die Bewegungen des Körpers voraus. Auf diese Weise bleibt der Tumor ständig im Brennpunkt der Strahlen.

Beim digitalen Bildortungssystem handelt es sich um stereoskopisch auf Siliziumdetektoren projizierende Röntgenröhren, die mit der Steuerungssoftware des Cyberknife rückgekoppelt sind. Vergleichsgrundlage für die jeweiligen Positionsaufnahmen vor und während einer radiochirurgischen Behandlung sind entsprechende synthetische Projektionsaufnahmen, so genannte DRRs (Di-