

Das Cyberknife: Schmerzfreie Chirurgie der nächsten Generation

Strahlenmesser lässt inoperable Tumoren verschwinden

VON A. MUACEVIC, B. WOWRA, J.-C. TONN

Es klingt wie Science-Fiction: Der (wache) Krebspatient liegt unter dem Cyberknife, einer robotergeführten Bestrahlungseinheit. Während der Roboter ständig jede kleinste Patientenbewegung ausgleicht, wird der Tumor hochpräzise und schmerzfrei mit Photonen beschossen. Eine Narkose entfällt. Unser Beitrag schildert, was hinter dem Begriff „Cyberknife-Radiochirurgie“ steckt, bei welchen Tumoren sie heute schon eingesetzt wird und was man sich für die Zukunft erwartet.

Priv.-Doz. Dr. med. Alexander Muacevic
Europäisches Cyberknife Zentrum, München-Großhadern



— Die Cyberknife-Technologie ermöglicht eine nicht invasive, schmerzlose radiochirurgische Behandlung von Tumoren vor allem im Bereich des Hirns, der Wirbelsäule und innerer Organe. Die tumorzerstörende Strahlendosis wird dabei hochpräzise und unter Schonung der umliegenden Strukturen auf ein genau definiertes Zielvolumen gerichtet.

In der Regel wird die gesamte Strahlendosis in einer Sitzung appliziert. Falls klinisch erforderlich lässt sich die Dosis aber auch in mehrere Sitzungen (zwei bis fünf) aufteilen. Dadurch können sowohl Läsionen in sehr sensiblen Körperbereichen als auch größere Tumoren effektiver behandelt werden. Eine Narkose oder spezielle Körper-Rahmensysteme (stereotaktischer Rahmen) sind nicht erforderlich.

Das Cyberknife-System ist für eine ambulante Behandlung ausgelegt. Ein stationärer Krankenhaus- oder Rehabilitationsaufenthalt oder eine Anschlussheilbehandlung entfällt in den meisten Fällen. Die Behandlungszeit liegt je nach Lokalisation, Größe und behandeltem Organ im Mittel zwischen 60 und 90 Minuten.

■ Priv.-Doz. Dr. med. Alexander Muacevic, Priv.-Doz. Dr. med. B. Wowra, Europäisches Cyberknife Zentrum, München-Großhadern; Prof. Dr. med. Jörg-Christian Tonn (Direktor), Neurochirurgische Klinik, Klinikum der LMU München

Wie funktioniert das Cyberknife?

Die Cyberknife-Technologie verbindet zwei Komponenten: Die **Bestrahlungseinheit** besteht aus einem Photonenstrahler (6 MeV LINAC, Dosisrate 4 Gy/Min.), der an einen Roboterarm gekoppelt ist. Damit können prinzipiell alle Körperregionen erreicht werden. Typisch sind bis zu 1200 Einstrahlrichtungen pro Sitzung. Das **Robotersystem** ist mit einem computergesteuerten Lokalisierungssystem

verbunden, welches hochauflösende digitale Bilder erzeugt (Abb. 1).

Der Patient wird über die automatische Liege in die exakte Position gebracht. Der Roboter gleicht eventuelle Patientenbewegungen innerhalb von 10 mm automatisch aus. Die digital rekonstruierten Röntgenbilder (DRRs) des Planungs-CTs werden dabei mit den projizierten Röntgenaufnahmen des Echtzeit-Bildführungssystems kontinuierlich abgeglichen.



Abb. 1 Cyberknife-System mit Behandlungstisch, Röntgendetektoren, an der Decke befestigten Röntgenröhren, Roboter und Linearbeschleuniger (LINAC).

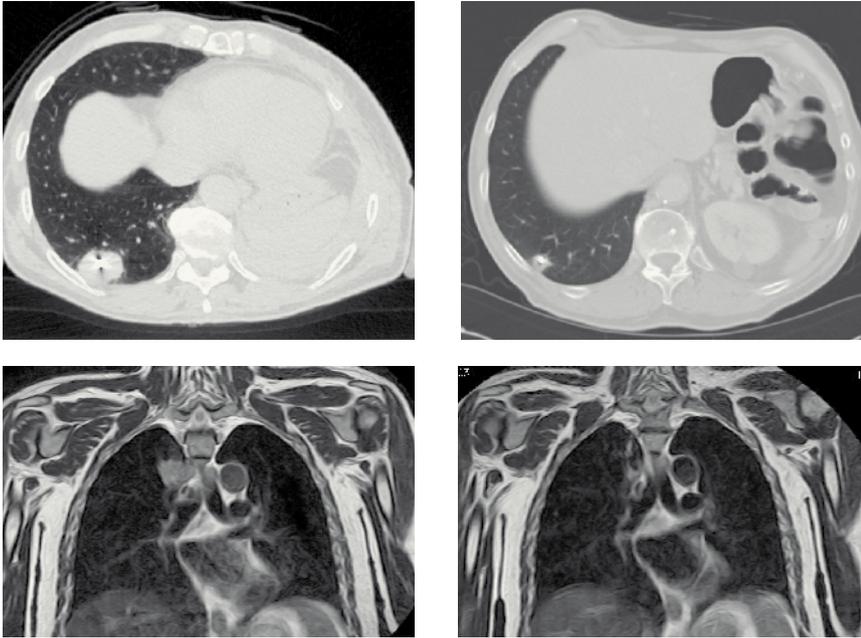


Abb. 2 Pulmonale Metastase (oben) und paraspinale Metastase (unten) eines Nierenkarzinoms, jeweils vor und nach Cyberknife-Behandlung.

Dynamische Positionskorrektur für bewegliche Organe

Bei bewegten Zielvolumina kann die Organbewegung gemessen und die Bestrahlung dynamisch angepasst werden. Nach perkutaner Markerimplantation im Bereich des Zielvolumens wird die innere Organbewegung mithilfe des Bildführungssystems definiert. Gleichzeitig wird die Atembewegung des Patienten mit auf der Brustoberfläche positionierten LED-Dioden gemessen. Die Software steuert mithilfe eines Korrelationsmodells, welches die innere und äußere Bewegung berücksichtigt, die kontinuierliche Präzisionsbestrahlung des sich bewegenden Organs. Der Roboter bewegt sich also entsprechend der Bewegung des Tumors in Echtzeit mit.

Hohe Präzision mit rahmenloser Technologie

Die rahmenlose Cyberknife-Technologie ermöglicht eine Präzision, die mit den herkömmlichen rahmenbasierten Radiochirurgiesystemen vergleichbar ist. So werden Gesamtgenauigkeiten (inkl. Bildgebung, Planung und Behandlung) für die kraniale Behandlung von $0,42 \pm 0,4$ mm und die spinale Behandlung von $0,53 \pm 0,6$ mm erreicht.

Wie läuft die Behandlung ab?

Für jede Behandlung wird eine Computertomografie (CT) und ggf. eine Kernspintomografie (MRT) durchgeführt. Je nach Krankheitskonstellation kann dies entweder unmittelbar oder schon Tage vor der eigentlichen Behandlung erfolgen. Routinemäßig durchgeführte MRT-Untersuchungen können für die Behandlungsplanung eingelesen werden.

Auf der Basis der prätherapeutischen Bildgebung werden Größe, Form und Lokalisation der zu behandelnden Region im Zusammenhang mit dem umliegenden Gewebe beurteilt. Die Dosis im Zielvolumen wird über die Toleranzdosis der benachbarten Risikostrukturen definiert. Der Arzt gibt die Konturen des Tumors und der Risikoorgane, die Soll-dosis im Tumor und die Toleranzdosen der Risikoorgane ein. Daraus werden die optimalen Bestrahlungsfelder errechnet.

Der Patient ist während der Behandlung wach und wird mit Videokameras überwacht. Der Roboter fährt ca. 100 definierte Knotenpunkte an, die wie ein virtueller Helm homogen um das Zielgebiet verteilt sind. Von jedem dieser Knotenpunkte aus kann der Strahl in jede Richtung innerhalb des Behandlungsvolumens gerichtet werden (nonisozentrische Bestrahlung).

Indikationen

Ein Fall für das Cyberknife?

Prinzipiell kommen alle Tumoren mit guter Abgrenzung zum gesunden Gewebe und einer bestimmten Größenbegrenzung für eine Cyberknife-Behandlung infrage.

Hauptindikationen:

- Zerebrale Meningeome
- Akustikusneurinome
- Metastasen
- Arteriovenöse Malformationen (AVM)
- Aderhautmelanome des Auges
- Funktionelle Schmerzbehandlungen bei Trigeminusneuralgie

Sowie:

- Wirbelkörpermetastasen
- Inoperable intraspinale Tumoren

Über Optimierungstechniken kann die Gewichtung der einzelnen Strahlen so festgelegt werden, dass eine hohe Dosis im Bereich der Läsion unter Beachtung der spezifischen Limitationen der umliegenden Risikoorgane erzielt wird.

Das computergesteuerte Lokalisierungssystem nimmt neue Röntgenbilder auf und vergleicht diese mit den DRR des Planungs-CT, um größtmögliche Präzision während der gesamten Behandlung zu gewährleisten.

Die Cyberknife-Radiochirurgie kann bei geeigneter Indikation allein oder in Ergänzung zu einem operativen Eingriff im Sinne eines maximal funktionserhaltenden chirurgischen Behandlungskonzepts eingesetzt werden.

Schon jetzt zeichnet sich ab, dass die Cyberknife-Technik eine Behandlungsoption auch für Lunge, Leber und andere Körperbereiche darstellen wird.

Literatur bei den Verfassern

Für die Verfasser:

Priv.-Doz. Dr. med. A. Muacevic
Europäisches Cyberknife Zentrum
München-Großhadern
Max-Lebsche-Platz 31, D-81377 München
E-Mail: info@cyber-knife.net
Internet: www.cyber-knife.net