

Berndt Wowra¹, Alexander Muacevic¹, Michael Staehler², ¹Europäisches CyberKnife Zentrum München Großhadern, ²Urologische Klinik, Klinikum der Universität München.

08. August 2006

CyberKnife Radiochirurgie: Methodik und Indikationen

Unter dem Begriff „Radiochirurgie“ versteht man eine Behandlungsmethode, bei der stark fokussierte Strahlung in einer Sitzung gezielt in einen Krankheitsherd eingestrahlt wird, um diesen auszuschalten. Das therapeutische Konzept der Radiochirurgie wurde vor einem halben Jahrhundert von dem schwedischen Neurochirurgen Lars Leksell entworfen (3). Ursprünglich sollte die Methode zur Ausschaltung tief im Gehirn gelegener Schmerzverarbeitungszentren und damit zur Schmerzbehandlung eingesetzt werden. Die Zielfindung erfolgte mit Hilfe eines Koordinatensystems, welches in Form eines entsprechend kalibrierten Metallrahmens am Schädel des Patienten befestigt wurde. Seit Mitte der 70er Jahre des vergangenen Jahrhunderts hat die Radiochirurgie einen erheblichen Wandel erfahren, der begünstigt wurde durch die Entwicklungen der Computertechnologie und besonders der digitalen Bildgebung. Der Schwerpunkt des klinischen Einsatzes der Radiochirurgie hat sich in die Onkologie verlagert. Bis vor kurzem wurden vor allem gutartige und bösartige Tumoren im Gehirn radiochirurgisch behandelt. Den größten Anteil der behandelten Tumoren stellen mit ca. 25% bis 40% Hirnmetastasen. Der jüngste Fortschritt in der Radiochirurgie wird durch die Entwicklung rahmenloser Systeme für die Radiochirurgie gekennzeichnet. Die rahmenlose Radiochirurgie ermöglicht auch Behandlungen außerhalb des Gehirns wie zum Beispiel in der Wirbelsäule. Die Cyberknife Technologie, die hier vorgestellt werden soll, stellt die am weitesten entwickelte Methode für die rahmenlose und extrakranielle Radiochirurgie dar.

Das CyberKnife besteht im Wesentlichen aus nachfolgend genauer beschriebenen Komponenten (1, 2): einem Lagerungstisch, einem Linearbeschleuniger, der auf einem Roboter montiert ist und einem digitalen Bildortungssystem, welches in Verbindung mit einer speziellen Software die starre Fixierung des Patienten mit einem Rahmen ersetzt.

Der Lagerungstisch kann in 5 Freiheitsgraden bewegt werden. Er ist in die Geometrie des Gesamtsystems eingebunden und dient dazu, den Patienten in der gewünschten Position zu halten. Vor Beginn der Behandlung wird der Tisch mit dem Patienten soweit manuell verfahren, dass die Zielregion (z.B. ein Tumor) ungefähr im Fokus des Gesamtsystems liegt. Die exakte Positionierung erfolgt dann mit Hilfe des digitalen Bildortungssystems automatisch. Dabei 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, sog. DRRs (Digitally 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 jeder Raumrichtung) liegt, korrigiert das System diese Abweichung über eine entsprechende Nachführung des Roboters automatisch. Bei größeren Abweichungen erfolgt eine Neupositionierung des Tisches.

0

Die Bestrahlungseinheit ist ein leichter und kompakter Linearbeschleuniger mit 6 MeV Grenzenergie und einer Dosisrate von 4 Gy/Minute. Dieser ist an einen sechs-gelenkigen Roboterarm gekoppelt (KUKA GmbH, Augsburg). Mit dieser Technologie können prinzipiell alle Körperregionen erreicht und behandelt werden (Abb.1). Bei der Behandlung bewegt der Roboter den Linearbeschleuniger nacheinander an eine bestimmte Anzahl von vorher berechneten Stützpunkten, von denen aus jeweils eine bestimmte Teildosis in den Tumor eingestrahlt wird. Die Stützpunkte sind in einem regelmäßigen Muster auf der Oberfläche einer virtuellen Kugel verteilt, in deren Mittelpunkt der zu behandelnde Tumor liegt. Durch diese geometrische Ordnung wird erreicht, dass die Dosisverteilung im Tumor sich in der gewünschten und vorher errechneten Weise konzentriert. Typisch sind 120 bis 600 (maximal 1200) Einstrahlrichtungen pro Behandlung.

1

Der Zeitbedarf für eine Behandlung mit dem Cyberknife liegt zwischen einer und drei Stunden und ist im Wesentlichen abhängig von der Zahl der zu behandelnden Zielstrukturen, der geometrischen Form der Zielstrukturen und deren Größe. Die Behandlungen erfolgen ambulant. Bei Bedarf ist eine leichte Sedierung des Patienten möglich.

Systematische Untersuchungen der Treffgenauigkeit des Cyberknife mit Hilfe eines sog. Systemtests, bei welchem eine vollständige Behandlung eines Patienten simuliert wird, ergaben einen Wert im Bereich von einem halben Millimeter. Der Messwert der Systemgenauigkeit ist für die Therapie im Kopf und in der Wirbelsäule gleich. Er unterscheidet sich nicht von vergleichbaren Messungen, die bei Rahmen basierten Geräten erhoben wurden (4).

Zu den Indikationen für die Cyberknife Radiochirurgie zählen die klassischen zerebralen sowie neue im Viszerokranium und im Bereich des Achsenskeletts (Tabelle 1). Seit neuestem ist auch die Radiochirurgie in bewegten Organsystemen (z.B. bei Lungentumoren) möglich. In den ersten 6 Monaten nach Beginn der Cyberknife-Behandlungen wurden rund 200 Patienten bestrahlt. 20% dieser Behandlungen erfolgten bei Tumoren im spinalen und paraspinalen Bereich (Abb. 2). Die bisherigen klinischen Erfahrungen und Behandlungsergebnisse bestätigen die Genauigkeit der systematischen Messungen. In der klinischen Routine hat sich das Cyberknife als sehr genaues, patientenfreundliches, flexibles und stabiles Gerätesystem bewährt.

2

3

Fazit

Mit dem CyberKnife System können alle klassischen zerebralen Indikationen der Radiochirurgie mit mindestens gleicher Qualität behandelt werden, wie bisher mit Rahmen basierten Geräten. Darüber hinaus sind ebenso Behandlungen im Bereich der Wirbelsäule möglich. Dadurch werden neue Indikationen für die Radiochirurgie erschlossen. In der nächsten Entwicklungsstufe ist die

radiochirurgische Behandlung von Tumoren in bewegten Organen (Lunge) vorgesehen.

Quelle: Literatur

1. Adler JR, Jr., Chang SD, Murphy MJ, Doty J, Geis P, Hancock SL: *The Cyberknife: a frameless robotic system for radiosurgery. Stereotact Funct Neurosurg* 69:124-128, 1997.
2. Adler JR, Jr., Murphy MJ, Chang SD, Hancock SL: *Image-guided robotic radiosurgery. Neurosurgery* 44:1299-1306; discussion 1306-1297, 1999.
3. Leksell L: *The stereotaxic method and radiosurgery of the brain. Acta Chir Scand* 102:316-319, 1951.
4. Mack A, Czempel H, Kreiner HJ, Durr G, Wowra B: *Quality assurance in stereotactic space. A system test for verifying the accuracy of aim in radiosurgery. Med Phys* 29:561-568., 2002.