



Stammzelltransplantationseinheit eröffnet neue Möglichkeiten der Tumorthherapie in Erfurt

Das klinische Programm Autologe Stammzelltransplantation am HELIOS Klinikum Erfurt ist gestartet. Am 7. Juli dieses Jahres wurde die erste autologe Stammzelltransplantation (SZT) bei einem Patienten mit einem Multiplen Myelom durchgeführt.

Nach umfangreichen Umbauten konnte eine Stammzelltransplantationseinheit mit hocheffizienter Partikelfiltration der Raumluft und Schleusensystemen in der 4. Medizinischen Klinik (Hämatologie, internistische Onkologie und Hämostaseologie; Chefarzt: Priv.-Doz. Dr. med. Herbert G. Sayer) eingeweiht werden. Prüfungen und Vorgaben der Kostenträger und der Landesbehörden mussten beachtet und eingehalten werden.

Die Hochdosischemotherapie mit anschließender autologer Blutstammzelltransplantation ist heutzutage fester Bestandteil in den Leitlinien bei der Behandlung des Multiplen Myeloms und bei fortgeschrittenen malignen Lymphomen. Der Ablauf einer solchen Behandlung besteht meist zunächst aus einer einleitenden Chemotherapie mit anschließender Wachstumsfaktorgabe zur Mobilisierung der Stammzellen aus dem Knochenmark ins periphere Blut. Die Ab Sammlung der Stammzellen wird beim Erfurter SZT-Programm vom Haema-Blutspendedienst durchgeführt. Die Lagerung und die nach Arzneimittelgesetz notwendige Freigabe der Stammzellen übernimmt die Firma Seracell in Rostock.

Besondere Hygiene-Maßnahmen sind bei der Hochdosischemotherapie angezeigt, da in der Zeit bis zum Anwachsen der Stammzellen eine mehrtägige Aplasiaphase mit starker Einschränkung der Körperabwehr resultiert. Nach dem Umbau 2014/2015 verfügt die Station über 6 Betten mit jeweils über eine Vorschleuse zu betretenden 4 Zimmern. Damit ist die 4. Medizinische Klinik nun in der Lage, den Patienten in Erfurt auch diese Therapieoption anzubieten. Bis zum November 2015 sind bereits 11 Patienten transplantiert worden.



Schleusenprinzip, Überdruckzimmer



Einzelzimmer mit Bad



01/2015

INHALT

- Seite 4
 - Klinische Krebsregister – Zur Halbzeit gibt es noch einiges zu tun
- Seite 5
 - Klinik, Genetik und Management von Patienten mit Neurofibromatose Typ 2
- Seite 20
 - Primäre Chemohormontherapie des hormonnaiven metastasierten Prostatakarzinoms
- Seite 22
 - 15 Jahre Radiochirurgie in Erfurt
- Seite 26
 - Therapiesysteme für die Radiochirurgie
- Seite 32
 - 28. Onkologische Konferenz des Tumorzentrum Erfurt e.V. fand am 6. und 7. November 2015 in Erfurt statt
- Seite 33
 - Neoadjuvante Therapiekonzepte beim Pankreaskarzinom als neuer Meilenstein – Darstellung des Status quo anhand einer Falldemonstration
- Seite 40
 - Was ist tumor-associated tissue eosinophilia (TATE)
- Seite 42
 - Interdisziplinäre Therapie eines lokal fortgeschrittenen Basalzellkarzinoms
- Seite 45
 - Ewing-Sarkom der Mandibula – Fallbericht einer seltenen Tumorentität
- Seite 46
 - Bericht von der Mitgliederversammlung des Tumorzentrum Erfurt e.V. am 15.04.2015
- Seite 49
 - Veranstaltungsverzeichnis
- Seite 50
 - Angebote des Tumorzentrum Erfurt e.V.

■ 15 Jahre Radiochirurgie in Erfurt

Klaus Hamm, Hans-Ulrich Herold, Gunnar Surber
CyberKnife Centrum Mitteldeutschland

Ende April 2000 nahm unser interdisziplinäres Team aus der Neurochirurgie, Strahlentherapie und Medizinphysik (nach monatelangen Fortbildungen im In- und Ausland) die Arbeit mit dem damals in Europa ersten Novalis-Radiochirurgie-System auf. Nach dem Umbau können wir seit Oktober 2012 mit dem einzigen robotergeführten Radiochirurgie-System (Cyberknife) unsere Patienten wieder mit der modernsten Technologie behandeln. In diesen Jahren haben wir zunehmend an Erfahrung gewonnen und unsere Ergebnisse auch in Zusammenarbeit mit anderen Zentren auf Kongressen vorgestellt und publiziert.

Anlässlich „15 Jahre Radiochirurgie in Erfurt“ fand am 8. Mai 2015 wieder eine wissenschaftliche Tagung statt, auf der unsere Erfahrungen und die von namhaften Experten vorgestellt und reflektiert werden konnten. Zunächst wurde eine Gemeinschaftsarbeit mit den Bonner Kollegen über Langzeit-Ergebnisse nach radiochirurgischen Behandlungen von Hypophysenadenomen vorgestellt, aus der 2 Publikationen hervorgegangen sind: 2014 über die hormoninaktiven und 2015 über die hormonaktiven Adenome mit Akromegalie. Bei letzteren soll neben der Tumorkontrolle vor allem der Hormonexzess beseitigt werden. Das gelingt aber nicht immer, mitunter durch die verzögerte Strahlenwirkung erst nach Monaten und kann auch mehrere Jahre dauern. Deshalb ist die mikroneurochirurgische Operation die Therapie der Wahl und radiochirurgische Verfahren kommen erst bei der persistierenden Akromegalie mit Rest- oder Rezidiv-Tumoren durch die Beteiligung des Sinus cavernosus zum Einsatz.

Zwei Medizinphysik-Experten haben (für Mediziner verständlich) sehr interessante physikalisch-technische Themen vorgestellt, aus Köln eine jetzt veröffentlichte Vergleichsstudie über einen exakten Vergleich ihrer früheren, rahmenbasierten Linearbeschleuniger-Pläne, die sie mit den gleichen Vorgaben am Cyberknife erneut geplant haben und zumindest bei den physikalischen Parametern Verbesserungen feststellten. Aus München wurden ebenfalls publizierte Daten zur tatsächlichen Präzision des Cyberknife bei der spinalen Radiochirurgie vorgetragen, durchaus vergleichbar mit denen der bekannten rahmenbasierten und rahmenlosen Radiochirurgie intrakraniell. Der anschließende Berliner Vortrag über die robotergeführte spinale Radiochirurgie benignen und malignen Läsionen in Zusammenarbeit mit den Münchener Kollegen demonstrierte die guten Ergebnisse, die bei 1-3 Befunden im Spinalkanal und in der Wirbelsäule erreichbar sind.

Am Nachmittag wurden dann die radiochirurgischen Möglichkeiten im Abdomen, Thorax und Becken vorgestellt, die in einem der nächsten Hefte dieses Journals thematisiert werden sollen:

Zunächst aus Heidelberg die stereotaktische Radiotherapie von Lebertumoren und Lebermetastasen zusammen mit einer Literaturübersicht respektabler Ergebnisse.

Es folgte die Kölner Gruppe mit einer beachtlichen Fallzahl von mit dem Cyberknife behandelten nichtkleinzelligen Lungentumoren. Überwiegend gelang bei den Lokalisationen sogar das „Tumor-Tracking“ ohne Goldmarker, so dass das Risiko eines Pneumothorax durch die Markerimplantation entfällt. Die Ergebnisse sind überzeugend, auch bei unserer noch bescheidenen Anzahl von radiochirurgischen Behandlungen bei Lungenbefunden. Schließlich wurde aus Frankfurt/Güstrow noch das Thema Radiochirurgie von Metastasen im Bauch- und Beckenbereich referiert, das auch durch die Erfahrungen mit der Oligometastasierung an Bedeutung zugenommen hat. Ein Vortrag zur Supportivtherapie radiochirurgischer Patienten rundete die Veranstaltung ab. Da diese selten notwendig ist, liegen dazu nur wenige Erfahrungsberichte vor.

Im Ergebnis sehen wir unsere Argumentation gegenüber manchen restriktiven Kostenträgern bestätigt: Wie bei Operationen ist nicht allein die Verfügbarkeit eines modernen Gerätesystems die Garantie für eine erfolgreiche Arbeit mit guten Ergebnissen, noch entscheidender ist das hochspezialisierte, interdisziplinäre und erfahrene Team, das die entsprechende Technik beherrscht. Besonders interessant ist in den letzten Jahren die Entwicklung von der „klassischen“ einmaligen Radiochirurgie intrakranieller Pathologien mit der notwendigen stereotaktischen Ring-/Rahmen-Fixierung am Kopf (auch als stereotaktische Einzeit-/Einzel-Konvergenzbestrahlung bezeichnet) hin zur rahmenlosen und damit auch extrakraniell möglichen Präzisionsbestrahlung mit 1-5 Applikationen/Fraktionen, die heute allgemein als Radiochirurgie bezeichnet werden.

Damit hat sich die Radiochirurgie, bei der hohe, ablativ Dosen submillimetergenau auf ein kleines Zielvolumen appliziert werden, von der einmaligen (rahmenbasierten) „stereotaktischen“ Bestrahlung zur 1-5maligen „bildgeführten“ (image guided) Bestrahlung weiterentwickelt. Die Radiochirurgie ist eine Behandlungsmethode, die mit 3 verschiedenen Gerätesystemen durchgeführt werden kann (Gammaknife, spezielle Linearbeschleuniger=LINAC, Cyberknife). Diese 3 Systeme unterscheiden sich durch die technische Realisierung der für die Radiochirurgie notwendigen Strahlen-Konvergenz und -Kollimation. Der Name Strahlenchirurgie wurde gewählt, weil bei dieser Strahlenbehandlung nicht wie üblich über Wochen täglich kleine Dosen verabreicht werden, sondern vergleichbar mit der Chirurgie, zunächst vom Neurochirurgen ein stereotaktischer Rahmen an den Kopf der Patienten geschraubt und die Behandlung damit an dem selben Tag mit einer hohen, sehr exakt platzierten Dosis abgeschlossen wurde (werden musste). Die Bezeichnung „... knife“ resultiert aus dem Umstand, dass die Dosis nahezu

„messerscharf“ am Rand des zu behandelnden Zielvolumens „abgeschnitten“ wird, also mit einem steilen Dosisabfall zum gesunden Gewebe, um dieses möglichst maximal schonen zu können.

Historisches

Entwickelt und benannt wurde die Radiochirurgie von dem schwedischen Neurochirurgen Lars Leksell am Karolinska Institut in Stockholm in den 1950iger und 1960iger Jahren zusammen mit dem Physiker Börje Larsson zunächst für funktionelle stereotaktische Indikationen. Diese auf einen Zielpunkt konzentrierte Hochpräzisionsbestrahlung definierten sie als eine „Methode zur Devitalisierung eines definierten intrakraniellen (Hirn)areals mit einer hohen Dosis, stereotaktisch geführt und einmalig appliziert“. Dafür konstruierten sie schließlich ein einzigartiges Bestrahlungssystem mit den damals für die Strahlenanwendung verwendeten Kobalt-Quellen, nannten es „Gammaknife“ und brachten es erstmals 1968 am Karolinska Institut zum klinischen Einsatz.

Die Charakteristika der Radiochirurgie (stereotactic radiosurgery = SRS) sind die perkutane, fokussierte Applikation von entsprechend kollimierten (eingegrenzten/gebündelten) Strahlen aus einer Vielzahl unterschiedlicher Richtungen mit der damit verbundenen hohen Konzentration im definierten Zielgebiet und einem starkem Dosisabfall am Rand zur bestmöglichen Schonung der umgebenden Gewebsstrukturen. Voraussetzungen waren die stereotaktische Zielpunkt-Führung durch das Anschrauben eines Stereotaxie-Rahmens am Kopf der Patienten (damit beschränkt auf intrakranielle Pathologien und die einmalige Dosisapplikation) und eine hochauflösende Bildgebung zur exakten Planung der Koordinaten der Zielpunkte (Isozentren).

Erst die Verfügbarkeit der Computer-Tomographie (CT) seit 1975 und schließlich die Entwicklung der Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT) führten schließlich zur Detail-Erkennbarkeit auch bereits kleiner, aber im Verlauf progredienter Tumoren in diesen Schnittbild-Techniken und damit zu einem rasanten Fortschritt der (intrakraniellen) Radiochirurgie seit den 1980iger Jahren - das Gammaknife wurde zum Synonym für die Radiochirurgie und zunehmend von Neurochirurgen weltweit eingesetzt. Auch ich konnte bereits 1993 während einer Hospitation im GammaKnife Zentrum der Universitätskliniken in Wien erste praktische Erfahrungen mit der Radiochirurgie sammeln (1. Gammaknife Zentrum in Deutschland 1994 in München, wurde nach der Installation eines Cyberknife 2005 stillgelegt).

Ebenfalls in den 1980iger Jahren kamen in der Strahlentherapie immer mehr Linearbeschleuniger (LINAC)- Systeme zum klinischen Einsatz und lösten die radioaktiven Kobalt- Bestrahlungsgeräte sukzessive ab – die LINAC-Technik wurde ständig weiterentwickelt und auch für die

stereotaktische Einzeit-Konvergenzbestrahlung (die Radiochirurgie) nutzbar gemacht (hier nahm auch die Strahlentherapie mit dem DKFZ in Heidelberg eine führende Rolle ein).

Weltweit wurden nun auch „adaptierte“ oder „dedizierte“ LINAC-Geräte für die einmalige (rahmenbasierte) Radiochirurgie und die fraktionierte (maskenbasierte) stereotaktische Radiotherapie eingesetzt. Wir haben von 2000 bis 2012 mit einem speziellen LINAC (dem Novalis-System) gearbeitet und damit mehr als 2000 intrakranielle Behandlungen durchgeführt.

Der Neurochirurg John Adler hat schließlich nach längerem Aufenthalt bei Leksell in Stockholm Ende der 1980iger Jahre an der Stanford-Univ. in San Francisco das als Cyberknife benannte, einzige robotergesteuerte Radiochirurgie-System entwickelt - ein kompakter LINAC wird mit einem Industrieroboter der Fa. KUKA (Augsburg) bildgestützt hochpräzise geführt. Das Cyberknife erhielt 1999 die FDA-Zulassung und hat sich seit 2001 auch in Europa etabliert.

Seit Oktober 2012 können wir im Cyberknife Zentrum Mitteldeutschland unseren Patienten die Radiochirurgie mit diesem System nicht nur rahmenlos intrakraniell ermöglichen, sondern auch in ausgewählten Fällen extrakraniell einschließlich der Atmungs-Synchronisation mit „tracking“ beweglicher Zielvolumina. Mittlerweile sind in Deutschland bereits 10 CyberKnife-Systeme installiert.

Klinische und strahlenbiologische Aspekte

Aufgrund seiner physikalisch-technischen Besonderheiten und dem eingeschränkten Indikationsspektrum ist die Radiochirurgie keine Konkurrenz zur sogenannten „konventionellen“ Bestrahlung, bei der ein größeres Zielvolumen mit dem tumorspezifisch notwendigen Sicherheitssaum fraktioniert mit einer täglich niedrigen Einzeldosis (z.B. 1,8Gy/2Gy) bis zu einer entsprechend viel höheren Gesamtdosis (z.B. 54-60Gy) aufgesättigt werden muss. Entscheidend dafür sind die strahlenbiologischen Erkenntnisse, dass Tumorgewebe bei jeder Fraktion mehr geschädigt wird als gesunde Gewebe, die sich rascher erholen können. Natürlich versuchen Tumoren, ihre geschädigten Zellen möglichst rasch zu ersetzen (Repopulation), weshalb eine entsprechend hohe Gesamtdosis mit mehreren Wochen Behandlungsdauer gewählt werden muss. Maligne Primärtumoren, deren Tumorränder durch das infiltrative Wachstum in der Bildgebung nicht klar abgrenzbar sind, müssen leitliniengerecht mit einem Sicherheitssaum > 1-2 cm bestrahlt werden und bleiben die Domäne der konservativen Strahlentherapie. Erst bei einem umschriebenen Rezidiv kann die Radiochirurgie hier eine zusätzliche Option sein, wenn eine großvolumige Dosiserhöhung nicht mehr möglich ist.

Bei der Radiochirurgie werden dagegen hohe, ablative Dosen (z.B. 12-25Gy einmalig oder 3-5 Tage jeweils 5-9Gy) appliziert, eine Repopulation des Tumors ist dann kaum noch möglich und klonogene Tumorzellen können definitiv vernichtet werden. Voraussetzung ist aber ein hoher methodischer Aufwand zur Realisierung der notwendigen, maximalen Präzision, um gesunde Gewebe weitestgehend zu schonen. Denn durch eine Bestrahlung werden je nach Gewebe-Empfindlichkeit und Höhe der Dosis eine Reihe von physikalischen und biologischen Reaktionen ausgelöst, in deren Folge vor allem durch verschiedene „Radikale“ Tumorzellen devitalisiert und damit an der weiteren Zellteilung gehindert werden, in der Teilung befindliche Zellen absterben und schließlich diese geschädigten Zellen von den körpereigenen Abwehrmechanismen eliminiert werden. Diese Prozesse können Wochen, Monate und sogar Jahre dauern, weshalb Strahlenwirkungen langfristig beobachtet werden müssen. Bei besonders heftigen Umgebungsreaktionen können dann auch temporäre, selten permanente Nebenwirkungen auftreten (nach mehr als 3 Monaten als „Spätschäden“ definiert).

Primäres Ziel einer Bestrahlung ist zunächst die Devitalisierung des Tumors, die sogenannte „Tumorkontrolle“, also den Tumor am weiteren Wachstum zu hindern. Im weiteren Verlauf kann eine Tumoregredienz unterschiedlichen Ausmaßes erreicht werden, weshalb das Ansprechen mit „no change“(NC), „partial response“(PR) und „complete response“ (CR) bewertet wird.

Insbesondere bei malignen Tumoren incl. deren Metastasen ist natürlich eine komplette oder partielle Remission erwünscht, weshalb eine entsprechend höhere Dosis gewählt werden muss. Leider steht dem besseren und rascheren Ansprechen auch ein häufigeres Rezidiv-Tumorzustand gegenüber, dann als „progressive disease“ (PD) bezeichnet. Ursachen sind die rasche Zellteilung und Repopulation der malignen Tumoren. Benigne Tumoren reagieren meist verzögert und mit geringerer Regredienz, jedoch sind Rezidive seltener.

Indikationen

Wie bereits ausgeführt, waren die Indikationen bei der stereotaktischen (rahmenbasierten) Radiochirurgie mit unserem Novalis-System ausschließlich auf die intrakraniellen Indikationen beschränkt. Allerdings konnten wir mit dem Novalis auch die Möglichkeit der (fraktionierten) stereotaktischen Radiotherapie (SRT) in verschiedenen Fraktionierungsschemata über 2-6 Behandlungswochen nutzen. Wegen der geringeren Präzision durch das notwendige Maskensystem für die Einstellung der stereotaktischen Zielpunktkoordinaten (Isozentrum) von +/- 1-2mm mußte ein entsprechender Sicherheitssaum mit bestrahlt und deshalb die Kombination mit den strahlenbiologischen Vorteilen der Fraktionierung gewählt werden. Mit dem Cyberknife wird die für die Radiochirurgie not-

wendige Präzision von > 1mm durch die permanente Bildführung und Korrektur des Roboters realisiert. Damit werden die intrakraniellen Behandlungen nur mit einer leichten Maskenfixierung durchgeführt, die nicht zur Einstellung eines Zielpunktes notwendig ist, sondern den Patienten ermöglicht, den Kopf während der befundabhängig 30-60 minütigen Behandlungszeit entspannt ruhig zu halten (denn jede Kopfbewegung würde durch die permanente Bildkontrolle zur Behandlungsunterbrechung und damit zur Verlängerung der Behandlungszeit führen). Mit der gleichen (radiochirurgischen) Präzision kann dadurch die Behandlung auch wiederholt werden als sogenannte multisession radiosurgery =msRS (Erweiterung der Radiochirurgie-Definition auf 1-5 Fraktionen). Aufgrund der permanenten Bildführung mit digitalen Röntgenkontrollen während der gesamten Behandlungszeit ist eine häufigere Fraktionierung wie bei der SRT mit dem Cyberknife nicht sinnvoll und für die meisten Befunde auch nicht notwendig. Lediglich bei den Schädelbasistumoren, die die besonders strahlenempfindlichen Sehnerven / Chiasma involvieren (die dann im Dünnschicht-MRT nicht mehr abgrenzbar sind), muss eine SRT mit konventioneller Fraktionierung über 6 Wochen durchgeführt werden.

Die intrakraniellen Pathologien machen im Indikationspektrum unserer Patienten immer noch einen Anteil >90% aus, obwohl mit dem Cyberknife auch einzelne Tumoren, 1-3 Metastasen oder eine Oligometastasierung in Wirbelsäule und Spinalkanal, in der Lunge und Leber sowie im Becken und Abdomen behandelt werden können. Das liegt sicher mit an unseren „traditionellen Überweiser-Strukturen“, da andere Zentren teilweise über einen höheren Anteil extrakranieller Indikationen berichtet haben.

Eine Radiochirurgie in vorbestrahlten Regionen ist ebenso möglich wie eine Kombination mit Operation oder Chemotherapie. Selbstverständlich sollte die individuelle Therapiestrategie in den interdisziplinären Konferenzen der jeweiligen Orgazentren entschieden werden.

Hirnmetastasen

Als eine der onkologisch besonders relevanten Hauptindikationen mit einem Anteil von 25-30% an der intrakraniellen Radiochirurgie abschließend hier noch einige Ausführungen zu den Hirnmetastasen. Einzelne, in der Regel 1-3 kleinere Hirnmetastasen sind eine Domäne der Radiochirurgie. Vor allem bei wenig strahlensensiblen Primärtumoren (Melanome, Nierenzellkarzinome), wenn eine Ganzhirnbestrahlung (whole brain radiotherapy= WBRT) kaum Aussicht auf Erfolg hat, können auch 6 kleine Metastasen in einer Sitzung problemlos mit dem Cyberknife radiochirurgisch behandelt werden. Überhaupt ist die Frage nach dem richtigen Zeitpunkt für eine WBRT immer noch umstritten und war bereits Gegenstand einiger Studien und vieler Diskussionen. Obwohl die Kombination

einer Radiochirurgie und WBRT das progressionsfreie Intervall durch ein verzögertes Auftreten distanter Metastasen verlängert hat, war kein Einfluß auf die Überlebenszeit bei häufigeren kognitiven Einbußen nachzuweisen. Deshalb werden immer mehr namhafte Stimmen laut, die bei einer engmaschigen Kontrolle (ca. 3monatlich MRT) und Ausschöpfung der radiochirurgischen Möglichkeiten die WBRT so lang wie möglich „in Reserve“ halten.

Großvolumige Metastasen sind problematischer und vorrangig eine OP-Indikation. Sprechen die individuellen Bedingungen dagegen, haben wir mit der sogenannten „multisession radiosurgery“ (msRS) mit dem Cyberknife bzw. der „hypofraktionierten stereotaktischen Radiotherapie“ (hfSRT) mit dem Novalis die besten Erfahrungen gemacht. Das wurde jetzt auch durch weitere wissenschaftliche Studien untermauert.

Durch die Weiterentwicklung der Tumorthérapien hin zur „targeting therapy“ mit verbesserten Überlebenszeiten steigt auch die Wahrscheinlichkeit für die Tumorpatienten, die häufig durch die Blut-Hirn-Schranke nicht ansprechenden Hirnmetastasen zu „erleben“. Im Kontext mit dem extrakraniellen Status muss dann die individuell bestmögliche Therapiestrategie unter Berücksichtigung und Abwägung aller Aspekte gesucht werden.

Der Ablauf einer radiochirurgischen Behandlung anhand eines Fallbeispiels:

56jährige Patientin mit einem metastasierten Mammakarzinom (ED 2008), Z. n. brusterhaltender Operation 06/2011, fällt klinisch durch eine Hemiparese rechts und psychische Veränderungen auf. Im Kopf-MRT zeigen sich 2 Hirnmetastasen, eine symptomatische, größere Metastase frontoparietal links mit erheblichem Hirnödem sowie eine zweite kleinere, temporoparietal links gelegene Metastase ohne auffälliges Begleitödem (Abb. 1).

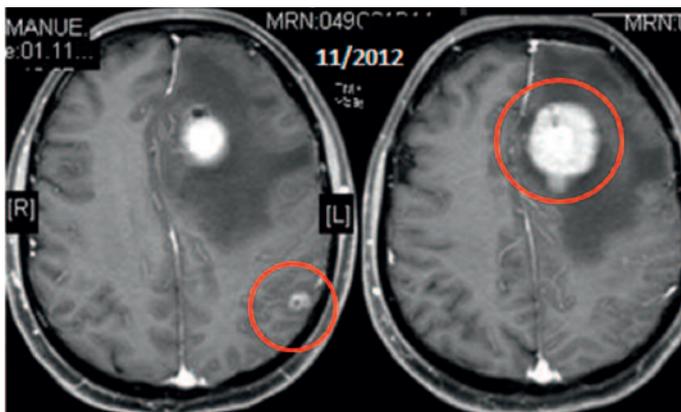


Abb. 1 Z., Manuela 56 J. – 2 Hirnmetastasen bei Mammakarzinom (ED 01/2011), Kopf-MRT mit einer großen, symptomatischen Metastase li. frontoparietal und einer kleinen Hirnmetastase li. parietal 11/2012 Mikrochirurgische Exstirpation der symptomatischen Hirnmetastase

Der extrakranielle Status ist beim „restaging“ stabil. In der interdisziplinären Tumorkonferenz wird die Indikation zur Operation der symptomatischen Metastase sowie anschließenden Radiochirurgie des Resektionsbereiches und der kleinen Zweitmetastase gestellt. Die Patientin wird entsprechend beraten und ausführlich über das jeweilige Procedere, die Risiken und Erfolgsaussichten aufgeklärt und willigt in die Behandlungsstrategie ein. Die ambulante Radiochirurgie ist weiterhin noch keine abrechenbare Leistung der gesetzlichen Krankenkassen, deshalb muss zunächst per Eilantrag die Kostenübernahme geklärt werden.

Es erfolgt die komplikationslose Operation der symptomatischen Hirnmetastase und eine **dünnschichtige** MRT-Kontrolle am 1.postoperativen Tag (zur operationsbedingt artefaktfreien Beurteilung innerhalb von 24 Stunden erforderlich), eine der Voraussetzungen für die millimetergenaue Planung einer Radiochirurgie. Als weitere Vorbereitungen muss noch ein ebenfalls dünnschichtiges Planungs-CCT (ca. 1mm lückenlose Schichten) mit der unmittelbar vorher individuell angepassten Maskenlagerung durchgeführt werden. Zu der aufwändigen Planung selbst müssen die Patienten nicht anwesend sein – nach dem Datenimport in das Planungssystem erfolgt zunächst eine Bildfusion der dünnschichtigen CCT- und MRT-Bilder, dann die „Schicht für Schicht“- Definition der Zielvolumina, häufig auch gemeinsam mit den Neuroradiologen (hier der Resektionsbereich und die 2., bereits progrediente Metastase parietal links) sowie der zu schonenden Strukturen wie z.B. Augen, Tränendrüsen, Sehnerven, Chiasma, Hypophyse, Hirnstamm (sogenannte „Risikoorgane“, für die es Tabellen mit den einzuhaltenen Dosisgrenzwerten gibt). Die Medizinphysik-Experten entwickeln nun verschiedene Dosisplan-Vorschläge, gemeinsam wird der individuell optimierte Plan gewählt und entsprechend für Radiochirurgie mit dem Cyberknife vorbereitet.

Aufgrund der großvolumigen Resektionshöhle von 21,5 cm³ wird dieser Bereich mit einer msRS (3x7Gy Randdosis auf die 70% Isodose) an 3 aufeinanderfolgenden Tagen behandelt, am 1.Tag zusätzlich die Zweitmetastase mit einer RS (16Gy Randdosis auf die 70% Isodose).

Dünnschichtige MRT-Kontrollen werden bei Hirnmetastasen zunächst alle 3 Monate erbeten, um den Behandlungsverlauf beurteilen und ggf. neue Metastasen frühzeitig erkennen und wieder behandeln zu können. In diesem Fall zeigt sich nach 7 Monaten eine neue, noch kleine Metastase temporal links, die ebenfalls mit einer RS (16Gy Randdosis auf die 69% Isodose) erfolgreich behandelt wird. 18 Monate später wieder eine neue, noch kleine Metastase frontolateral links, es erfolgt in gleicher Weise eine Radiochirurgie. Weitere Kontrollen bisher ohne Nachweis aktiver zerebraler Metastasen (kein Rezidiv im Resektionsbereich und allenfalls minimale KM-Aufnahme im Bereich der 3 kleinen Metastasen) – Abb. 2

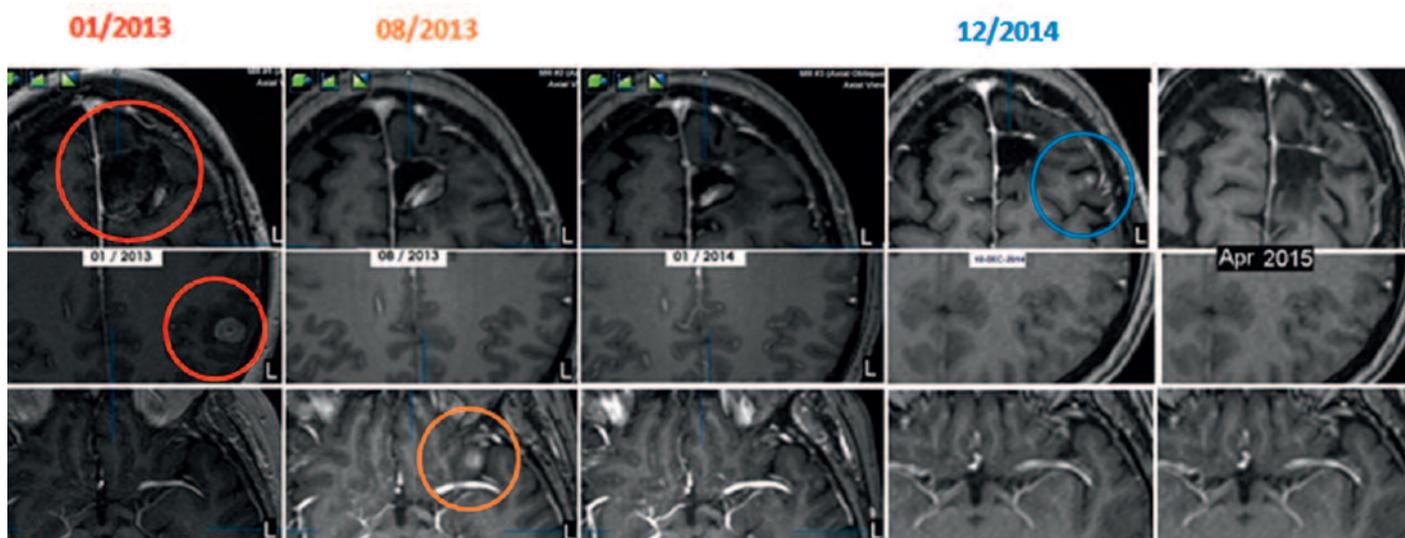


Abb. 2 Z., Manuela 56 J. – Hirnmetastasen bei Mammakarzinom (ED 01/2011)

MRT-Verlauf von 01/2013 bis 04/2015

11/2012 OP der symptomatischen Hirnmetastase re. frontoparietal

01/2013 msRS 3x7Gy Randdosis des Resektionsbereiches und RS 16Gy Randdosis der progredienten Metastase li. parietal

09/2013 RS 16Gy Randdosis der Metastase li. temporal

01/2015 RS 16Gy Randdosis der Metastase li. frontolateral

04/2015 unauffälliger Resektionsbereich und subtotale Regredienz der anderen 3 Hirnmetastasen

Mit der Strategie der regelmäßigen MRT-Kontrollen und Salvage-Radiochirurgien im Bedarfsfall kann in diesen geeigneten Fällen eine Ganzhirnbestrahlung mit möglichen neurokognitiven Störungen umgangen oder zumindest hinausgeschoben werden.

Die Radiochirurgie bietet eine Erweiterung des Therapiespektrums in einer komfortablen, ambulanten Form mit hoher Effektivität und geringen Nebenwirkungen. Sie ist alternativ oder mit anderen Therapieschritten simultan oder additiv einsetzbar sowie im Rezidivfall auch in vorbestrahlten Regionen.

Korrespondenzadresse:

Priv.-Doz. Dr. med. Klaus Hamm
 CyberKnife Centrum Mitteldeutschland
 im HELIOS Klinikum Erfurt
 Nordhäuser Straße 74
 99089 Erfurt
 Telefon: 0361-7816718
 E-Mail: klaus.hamm@ckcm.de
<http://www.ckcm.de>

Therapiesysteme für die Radiochirurgie

Gunnar Surber, Hans-Ulrich Herold, Klaus Hamm

Die Radiochirurgie ist charakterisiert als eine Methode, in einer einmaligen Therapiesitzung eine hohe ablativ Strahlendosis (Energiedosis) im zu behandelnden Zielvolumen zu konzentrieren. Dabei soll einerseits dieses Volumen von der therapeutischen Dosis komplett umfasst werden (Verschreibungsdosis = Randdosis), andererseits sollen aber die die Läsion umgebenden Areale keine oder eine hinreichend geringe Dosisbelastung erfahren. Diesen gegensätzlichen Ansprüchen perfekt gerecht zu werden, ist wegen der physikalischen Eigenschaften der angewendeten Röntgen- oder Gammastrahlung leider nicht möglich. Es geht also um die Suche nach einem geeigneten Kompromiss.

Diese Ausgangssituation hat für jede Strahlenanwendung Gültigkeit. Es kommt aber im Detail darauf an, wie gut dieser Kompromiss gestaltet werden kann.

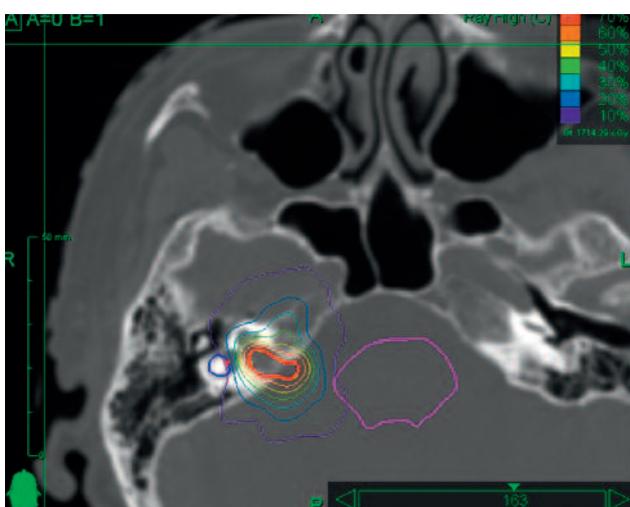


Abb. 1 Typische Dosisverteilung für eine Radiochirurgie des Akustikusneurinoms

Im Unterschied zur konventionellen Strahlentherapie, bei der mit vielen Fraktionen (ca. 30) und einer geringen Dosis pro Fraktion (ca. 2,0 Gy) gearbeitet wird, werden bei der Radiochirurgie in einer einzelnen Sitzung Dosiswerte zwischen 12 und 25 Gy, bei der Trigeminusneuralgie sogar bis 90 Gy verabreicht. Würde umliegendes gesundes Gewebe (z.B. Hirnareale, Myelon) einer solchen Dosisbelastung ausgesetzt, wären erhebliche funktionelle Ausfälle als Nebenwirkungen zu erwarten.

Wie gut und nachhaltig kann das vermieden werden?
Wie und in welchem Ausmaß kann eine erreichbare Schonung während der gesamten Therapiedauer garantiert und kontrolliert werden?

Die Methodik der Radiochirurgie ist auf das Ziel gerichtet, einen außerordentlich steil abfallenden Dosisgradienten vom Rand des zu behandelnden Zielvolumens (z.B. Tumor) in Richtung Normalgewebe zu erzeugen. Das wird durch eine Vielzahl von Einstrahlrichtungen aus jeweils verschiedenem Raumwinkel realisiert (Konvergenzbestrahlung). Je größer deren Anzahl, desto enger „schnüren“ sich die verschiedenen Dosis-Level (Isodosen) um das zu bestrahlende Zielvolumen und desto geringer wird das Volumen des Normalgewebes, das unbeabsichtigt mit einer relevanten Dosis belastet wird.

Das gilt nicht nur in einer Bestrahlungsebene (2-dimensional), sondern muss räumlich, also 3-dimensional, betrachtet werden. Dabei sind alle einzelnen Strahlen auf einen fixen Zielpunkt in der Läsion gerichtet (Isozentrum, angewendet bei Gammaknife und Linearbeschleuniger) oder die Einstrahlrichtungen können frei im Raum variiert werden (nicht-isozentrisch, angewendet beim Cyberknife).

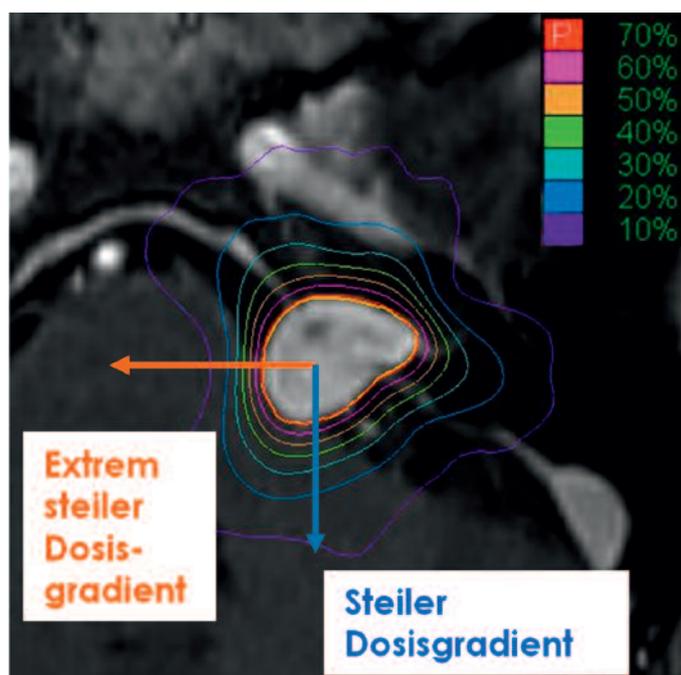


Abb. 2 Dosisgradienten bei fokussierter Bestrahlung mit einem Cyberknife

Darüber hinaus ist die Genauigkeit der Positionierung des Patienten bzw. des zu behandelnden Zielvolumens in Relation zum Bestrahlungssystem ein wichtiges Kriterium für den Erfolg der Behandlung.

Traditionell wird die Radiochirurgie unter stereotaktischen Bedingungen durchgeführt. Als Referenz für die räumliche Zuordnung der CT-Bilddaten und damit für das zu implementierende Koordinatensystem dient hier ein invasiv an der Schädelkalotte fixierter stereotaktischer Rahmen. Damit kann der Patient unverrückbar und submillimetergenau in die vorab berechnete Behandlungsposition gebracht werden, sodass die Zielpunkt-Koordinaten genau mit dem System-Isozentrum übereinstimmen. Während der ca. 30-minütigen Behandlung ist die Patientenposition dann nicht mehr verifizierbar.

In den vergangenen 15 Jahren hat sich ein Trend weg von der klassischen, stereotaktischen Zielpunktlokalisierung entwickelt. An deren Stelle tritt die Lokalisation und Positionierung mit Hilfe von Röntgenbildern, die direkt am Bestrahlungsgerät mit dem Patienten in Bestrahlungsposition angefertigt werden. Von diesen Bilddaten werden durch Vergleich mit errechneten Bildern aus dem Planungs-CT (digital reconstructed radiography, DRR) die notwendigen Positionierungs-Vektoren abgeleitet, sodass es möglich wird, die Position des Patiententisches mit dem Patienten adäquat anzupassen. Dieses Verfahren wird allgemein als bildgeführte Strahlentherapie bezeichnet (image guided radiotherapy, IGRT).

Wie genau diese Positionskorrektur vorgenommen werden kann, ist von einer Vielzahl von Details abhängig:

- Zum einen spielt die Auflösung der Tischmechanik eine Rolle. Kann der Tisch in x, y und z millimetergenau bewegt werden oder lassen sich sogar Zehntelmillimeter einstellen?
- Des Weiteren ist die Qualität der für die Konturierung und Planung verwendeten Bildgebung ein wichtiges Kriterium. Deren Auflösung sollte in keiner Richtung den Wert von 1 mm überschreiten. Konkret müssen „Field of view“ hinreichend klein (möglichst < 50 cm) und die Matrixgröße hinreichend groß (mind. 512²) gewählt werden, um entsprechend kleine Pixel erzeugen zu können. Für die Schichtdicke sollte ca. 1 mm gewählt werden. Das alles ist entscheidend für eine hochaufgelöste Konturierung des Zielvolumens in den einzelnen Schichten, aber auch für die spätere Positionierung des Patienten mit der IGRT.
- Schließlich sollte die erreichbare Präzision über den gesamten Behandlungszeitraum erfasst und kontrolliert werden können.

Nachfolgend sollen die drei wichtigsten Gerätekonzepte vorgestellt werden, mit denen radiochirurgische Präzisionsbehandlungen möglich sind.

Gammaknife

Mit der Entwicklung des Gammaknife-Systems in den späten 1960er Jahren begann die Geschichte der Radiochirurgie. Mit diesem System können ausschließlich intrakranielle Läsionen behandelt werden. In den inzwischen ca. 50 Jahren wurde das Gerät zwar weiterentwickelt und teilweise modifiziert, das grundlegende Arbeitsprinzip ist jedoch gleich geblieben.



Abb. 3 Gammaknife

Zur Behandlung wird der im stereotaktischen Rahmen fixierte Kopf des Patienten mit dem Zielpunkt der zu bestrahlenden Läsion in das Zentrum einer dickwandigen, innen hohlen Halbkugel (Kollimator-Helm) positioniert. Die Wand besteht dabei aus Metallen mit guten Absorptionseigenschaften (hohe Ordnungszahl) und hat eine Dicke von mehreren Zentimetern. In diese Wand sind 201 leicht konische Bohrungen eingebracht, die jeweils auf den Kugelmittelpunkt gerichtet sind. Das Innere der Gantry des Gammaknifes ist ebenfalls als hohle Halbkugel gestaltet. Auf deren Innenseite sind passend zur Positionen der Bohrungen des Helms 201 relativ stark radioaktive Kobaltquellen angebracht (Energie der Gammastrahlung: 1,17 und 1,33 MeV).



Abb. 4 Kollimatorhelm des Gammaknife

Im Ergebnis entstehen ca. 200 Einzelstrahlen aus verschiedenen Raumwinkeln, die jeweils einen kreisförmigen Querschnitt besitzen und auf den Kugelmittelpunkt gerichtet sind. Dort laufen alle Einzelstrahlen zusammen, sodass sich die einzelnen Dosisbeiträge addieren und eine kugelförmige Dosisverteilung im Patienten erzeugen. Für die Anwendung kann zwischen 4 verschiedenen Kollimator-Helmen gewählt werden. Diese weisen jeweils einheitliche Bohrungsdurchmesser auf (4, 8, 14 oder 18 mm). Außerdem können beliebig viele Einzelstrahlen ausgeblockt werden, um die Dosisverteilung zu beeinflussen.

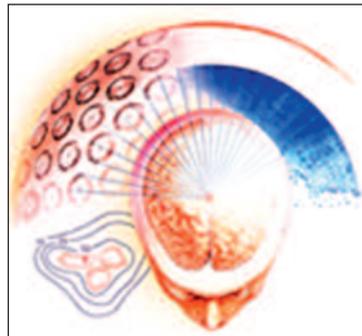


Abb. 5 Isozentrische Überlagerung von Einzelstrahlen

Die erzeugte Dosisverteilung ist dabei stets annähernd kugelförmig. Da die meisten zu behandelnden Läsionen jedoch irregulär geformt sind, kann die entsprechende Dosisverteilung nur durch Aneinanderreihung einzelner Dosiskügel erreicht werden. Damit muss der Patient sowohl für den Helmwechsel, als auch für die Ausrichtung auf einen neuen Zielpunkt mehrmals neu positioniert werden, was zu relativ langen Behandlungszeiten führt.

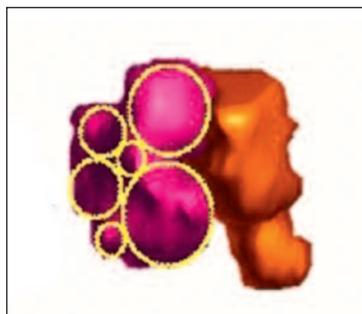


Abb. 6 Notwendige Aneinanderreihung von kugelförmigen Dosisverteilungen bei irregulär geformten Zielvolumina

Die neuen Gammaknife-Systeme (seit 2009) haben deshalb einen modifizierten Aufbau. Es gibt nur noch einen, fest eingebauten Kollimator-Helm mit insgesamt 192 Kollimatoröffnungen, anteilig mit einem Durchmesser von 4, 8 und 16 mm (jeweils 64). Die 192 Kobaltquellen können sektorweise derart motorisch bewegt werden, dass sie außen jeweils vor gleich großen Kollimatoröffnungen sitzen. Durch die Aufteilung in Sektoren können gleichzeitig auch Strahlen mit verschiedenem Durchmesser appliziert werden, der Wechsel des Kollimator-Helmes wird dadurch überflüssig.

Außerdem kann der Patiententisch 3-dimensional motorisch bewegt werden, so dass die Einstellung verschiedener Zielpunkte schneller gelingt.

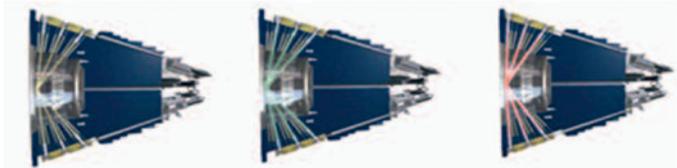


Abb. 7 Längsschnitt durch das Gammaknife mit beweglichen Kobalt-Quellen (außen, gelb) vor verschiedenen großen Kollimatoröffnungen (weiß)

Aktuelle Entwicklungen beinhalten auch ein integriertes Bildgebungssystem - eine Kontrolle der Patientenposition ist damit vor, aber nicht während der Behandlung möglich. Außerdem versucht man bei dieser zukünftigen Version „Icon“ auch eine nichtinvasive Maskenfixierung anzuwenden, um den Patienten auch die unangenehme Rahmenfixierung ersparen und hypofraktionierte Bestrahlungen durchführen zu können.

Die Behandlungszeit variiert stark in Abhängigkeit von der Komplexität der Befundausdehnung und der Aktivität der Kobaltquellen. Durch deren Halbwertszeit von ca. 5,3 Jahren ist alle 5-6 Jahre ein Quellenwechsel (mit radioaktivem Abfall) erforderlich, um zunehmend längere Behandlungszeiten zu vermeiden.

Dedizierte Linearbeschleuniger (LINAC)

Nach der Etablierung von Linearbeschleunigern in der Strahlentherapie wurden diese Geräte auch für die Radiochirurgie nutzbar gemacht. Daraus ergaben sich hohe Anforderungen an die geometrische Stabilität und Präzision der verwendeten Systemkomponenten (Gantry, Tisch, Kollimatorsystem) sowie an die Reproduzierbarkeit der angewendeten, ultraharten Röntgenstrahlung. Die Energie von 6 MeV mit einer durchschnittlichen Dosis der erzeugten Bremsstrahlung von ca. 2 MeV hat sich etabliert.



Abb. 8 Linearbeschleuniger mit montierten Rundkollimatoren

Mit den heute verfügbaren, für radiochirurgische Anwendungen dedizierten Linearbeschleunigern kann bei sorgfältiger Justage eine mechanische Stabilität und Zentrierung erreicht werden, die die damit einhergehende Unsicherheit auf einen Wert von ca. 0,5 mm begrenzt. Das konnten wir auch durch langjährige Messungen an dem damals ersten dedizierten LINAC „Novalis“ nachweisen, den wir bis 2012 genutzt haben.

Die Formung des Strahlquerschnittes kann beim LINAC (vergleichbar mit dem Gammaknife) durch Rundkollimatoren mit den leicht konischen Bohrungen von 4-50 mm in 10-12 Abstufungen erfolgen. Mit diesen runden Strah-

lenfeldern wurden Rotationsbestrahlungen (Arcs) über einen Winkelbereich von 60-140° durchgeführt, für verschiedene Tischwinkel wiederholt, so dass im Ergebnis auch eine Vielzahl von Einstrahlrichtungen zustande kam. Aktuell kommt diese Strategie kaum noch zum Einsatz.

Moderne LINACs verfügen alle über einen Multi-Leaf-Kollimator (MLC), mit dem die Form der Strahlenfelder durch motorische Bewegungen der Lamellen auf die Kontur der Läsion aus dem jeweils betrachteten Winkel angepasst werden kann (Konformation). Dabei wird im Regelfall auch bei komplexer geformten Läsionen deren gesamtes Volumen vom Strahl erfasst, d.h. es müssen nicht mehr Dosiskugeln aneinandergesetzt werden.

Im Sinne einer statischen Anwendung können mehrere Stehfelder (>10) aus verschiedenen Raumwinkeln (Gantrywinkel und Tischwinkel) sequentiell auf den Zielpunkt gelenkt werden. Aber auch Rotationsbestrahlungen mit dynamischer Nachführung der Feldform an die sich ändernde Projektion der Läsion waren schon mit unserem „Novalis“ möglich (dynamic arcs).



Abb. 9 Linearbeschleuniger Novalis mit MLC für dynamische Rotationsbestrahlung

Dabei kann die Feldkontur umso besser an das Zielvolumen angepasst werden, je dünner die im MLC zur Anwendung kommenden Lamellen sind. Für radiochirurgische Behandlungen sollten diese höchstens 2-3 mm dick sein.

Für die Radiochirurgie wurde dem Patienten bis zur Entwicklung einer hinreichend genauen IGRT auch ein stereotaktischer Rahmen an den Kopf geschraubt, mit dem das Planungs-CT angefertigt und die Bestrahlung durchgeführt wurden (identisches Procedere wie beim Gammaknife).



Abb. 10 Stereotaktischer Kopfrahmen mit Schraub-Pins für die Befestigung an der Schädelkalotte

Die bereits beschriebene bildgeführte Patientenpositionierung (mit planaren Röntgenprojektionen oder Cone Beam CT) ist heute als Option für alle Linearbeschleunigertypen verfügbar. Die Methode wurde für das breite

Anwendungsspektrum der konventionellen Strahlentherapie entwickelt und wird heute flächendeckend in der Strahlentherapie angewendet.

In den meisten Fällen wird ein Röntgen-Bildgebungssystem genutzt, welches direkt am Beschleunigerarm (Gantry) montiert ist. Sowohl Röntgenröhre als auch Detektor können mit einem Gelenkarm in Position gebracht und eine Aufnahme ausgelöst werden. Das geschieht aus zwei zueinander orthogonalen Richtungen vor Beginn der Bestrahlung. Die sich ergebenden 3-dimensionalen Korrekturwerte können verwendet werden, um die Patientenposition entsprechend zu korrigieren. Hierbei wird in den meisten Fällen ein Genauigkeitsmaß von ca. 1 mm erreicht. Nur einzelne Geräte erlauben auch eine Tischpositionierung auf $\pm 0,1$ mm, was einen deutlichen Qualitätssprung darstellt.



Abb. 11 Linearbeschleuniger mit ausfahrbarem Röntgen-Bildgebungssystem

Eine andere, nur in dedizierten Radiochirurgie-Zentren verfügbare Option besteht in der festen Integration von Röhre und Detektor in die Raumstruktur. Dabei werden diese Module an die Decke bzw. versenkt in den Boden montiert, womit die mechanischen Unsicherheiten weitgehend minimiert werden und eine deutlich höhere Präzision erreicht werden kann.

Um die erhöhte Genauigkeit der Bildgebung auch in genauere Patientenpositionierung umsetzen zu können, kommen bei derart ausgestatteten Systemen häufig Tischauflagen zur Anwendung, mit denen translatorische Korrekturen auf $\pm 0,1$ mm genau vorgenommen werden können, aber auch rotatorische Korrekturen um die drei Raumachsen möglich sind. Ein solches Vorgehen wird häufig auch 6D-Positionierung genannt und bietet das derzeit höchste erreichbare Genauigkeitsniveau.



Abb. 12 Dedizierter Linearbeschleuniger mit fest montiertem Röntgen- Bildgebungssystem

Durch den Übergang zur bildgeführten Patientenpositionierung wird das Indikationsspektrum auch auf extrakranielle Befunde erweitert.

Die Behandlungszeiten liegen bei ca. 30-60 min, in Einzelfällen auch darüber.

Cyberknife

Mit der Verfügbarkeit von extrem präzisen Industrierobotern entstand die Idee, diese Eigenschaften auch für den radiochirurgischen Einsatz zu nutzen. So wurde in den 1990er Jahren in Kalifornien ein robotergestütztes Bestrahlungssystem entwickelt, bei dem der mit 6 Gelenken ausgestattete Roboter (Fa. KUKA, Augsburg) einen kompakten 6 MeV LINAC relativ frei im Raum bewegt. Die dabei erreichbare Genauigkeit liegt bei ca. 0,1 bis 0,2 mm mit sehr hoher Reproduzierbarkeit.



Abb. 13 Cyberknife VSI in Erfurt

Die Radiochirurgie erfolgt typischerweise durch 100-300 statische Bestrahlungsfelder, wobei deren Zahl prinzipiell nicht nach oben begrenzt ist (abgesehen von der Bestrahlungszeit).

Im Unterschied zu den beiden vorgenannten Therapie-Systemen werden beim Cyberknife die Einzelstrahlen nicht (isozentrisch) auf einen Punkt gerichtet. Vielmehr können die Zielpunkte für jeden Strahl individuell festgelegt werden, so dass man im geometrischen Kontext von windschiefen Vektoren spricht. Dies hat den Vorteil, dass die erzeugten Dosisverteilungen nicht primär kugelförmig sein müssen, sondern der dreidimensionalen Ausdehnung des Zielvolumens folgen können, dies schließt auch ausgeprägte Konkavitäten ein. Darüber hinaus kann auch die Dosisbelastung in der Läsion selbst gezielt beeinflusst werden (Dosisgradient im Sinne eines inhärenten Boosts).

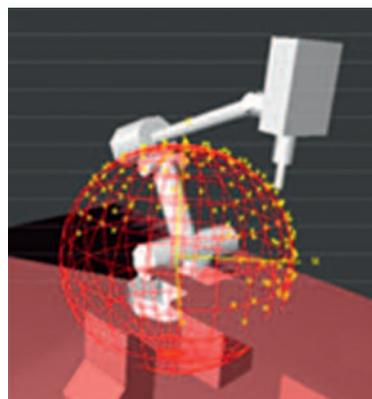


Abb. 14 Darstellung der Vielzahl von Einstrahlrichtungen am Cyberknife

Für die Patientenlagerung gibt es zwei Tischvarianten: Als Standardausstattung steht ein 5D-Tisch zur Verfügung, mit dem die im Rahmen der IGRT ermittelte Feineinstellung der Patientenposition vorgenommen werden kann. Dies umfasst neben den 3 translatorischen Richtungen (x, y, z) auch 2 rotatorische Freiheitsgrade (Pitch und Roll). Lediglich die verbleibende Rotation um die Vertikalachse (Yaw) kann nicht motorisch vorgenommen werden, sondern wird durch sanfte Korrektur der Patientenposition auf dem Tisch realisiert. Die Auflösung der Bewegungen wird auf +/- 0,1 mm bzw. 0,1° genau ausgeführt.

Als Option steht die RoboCouch zur Verfügung. Hier wird die Tischplatte von einem weiteren Roboterarm mit gleicher Genauigkeit frei im Raum bewegt und schließt alle 6 Freiheitsgrade ein.



Abb. 15 Standard-Couch (5D)



Abb. 16 RoboCouch (6D)

Für Behandlungen im Kopfbereich unterstützt eine anatomisch vorgeformte Kopfschale sowie eine weiche Maske die „ruhige“ Lagerung.

Der Patient liegt immer auf einer weichen Matte. Für Behandlungen außerhalb des Kopfes können zusätzlich auch der Körperkontur angepasste Vakuum-Matten verwendet werden.

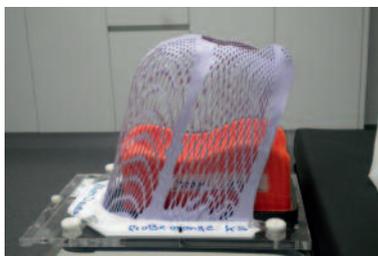


Abb. 17 Weiche Kopfmaske



Abb. 18 Vakuum-Matte

Das integrierte, digitalisierte Bildgebungssystem besteht aus 2 fest an der Decke montierten Röntgenröhren und

entsprechenden Detektoren, die im Boden eingelassen sind. Die angewandte Methodik der IGRT entspricht zunächst der für die Linearbeschleuniger beschriebenen Vorgehensweise. Ein wesentlicher Unterschied besteht darin, dass die Röntgenaufnahmen nicht nur vor der Bestrahlung ausgelöst werden, sondern in regelmäßigen, einstellbaren Zeitabständen auch während der gesamten Behandlungszeit. Die dabei ermittelten Abweichungen in allen 3 translatorischen sowie 3 rotatorischen Richtungen (meist wenige Zehntelmillimeter bzw. -grad) werden automatisch an die Robotersteuerung übermittelt, so dass dieser durch gezielte Änderung seiner Position die ermittelte Abweichung kompensieren kann.



Abb. 19 Orthogonale Röntgen-Projektionen

Die Genauigkeit der Patientenpositionierung wird also permanent kontrolliert und auftretende Abweichungen korrigiert, dies wird mit dem Terminus „Tumor-Tracking“ beschrieben.

Die Feldformung erfolgte bislang entweder durch Rundkollimatoren (12 Größen, 5-60 mm) oder durch einen IRIS-Kollimator, durch den von Strahl zu Strahl der Durchmesser motorisch variiert werden kann, aber ebenfalls kreisförmig bleibt.

Seit diesem Jahr ist für das Cyberknife ein spezieller, vorschaltbarer Mini-MLC verfügbar, mit dem der Strahlquerschnitt auf die Kontur des Zielvolumens oder Teile davon angepasst werden kann. Sehr wahrscheinlich wird sich dadurch die Behandlungszeit, die üblicherweise zwischen 30-50 min liegt, um ca. 10-30% reduzieren lassen.



Abb. 20 Rundkollimatoren



Abb. 21 Iris-Kollimator



Abb. 22 Cyberknife M6 mit MLC

Mit dem Cyberknife können neben intrakraniellen Indikationen (mit sanfter Maskenfixierung) auch spinale, thorakale sowie abdominale Befunde bis in den Beckenbereich behandelt werden.

Insbesondere durch physiologische Atembewegungen unterliegt in diesen Fällen das Zielvolumen einem mehr oder weniger rhythmischen Bewegungsmuster. Diese Bewegung kann durch eine synchrone, räumlich gleichgerichtete Bewegung des Roboters kompensiert werden. Hierzu wird zunächst der Atemzyklus durch exakte Beobachtung der Brustkorbbewegung mit einem stereoskopischen Kamerasystem erfasst. An 8 repräsentativen Punkten der Atemkurve werden paarweise Röntgenaufnahmen ausgelöst, auf denen die Position des Tumors markiert wird. Auf diese Weise kann die Software einen Bewegungspfad des Tumors lernen und die Bewegung des Roboters entsprechend anpassen. In diesem Modus führt der Roboter also während der aktiven Strahlerzeugung eine zyklische Bewegung aus, die exakt der Tumorbewegung entspricht. Durch fortgesetzte Aufnahmen in festgelegten Intervallen wird dieses Modell während der gesamten Behandlungszeit fortlaufend aktualisiert.

Korrespondenzadresse:

Dipl.-Ing. Gunnar Surber
CyberKnife Centrum Mitteldeutschland
im HELIOS Klinikum Erfurt
Nordhäuser Straße 74
99089 Erfurt
Telefon: 0361-7816716
E-Mail: gunnar.surber@ckcm.de
<http://www.ckcm.de>

■ 28. Onkologische Konferenz des Tumorzentrum Erfurt e.V. fand am 6. und 7. November 2015 in Eisenach statt



Oberstes Ziel der Tumorzentren ist es, die Betreuung der Tumorpatienten im Einzugsgebiet ständig zu verbessern. Die jährlich vom Tumorzentrum Erfurt e.V. durchgeführten Onkologischen Konferenzen sind dieser Aufgabe in besonderer Weise verpflichtet. Neben der Vermittlung aktuellen Wissens sollen Interdisziplinarität, Kommunikation und Kooperation aller Versorgungsbereiche gefördert werden. Die Themenauswahl berücksichtigt daher sowohl Innovationen in der Onkologie als auch Probleme der praktischen Umsetzung und ist gleichermaßen an niedergelassene und klinisch tätige Ärzte gerichtet.

Die mit 122 Teilnehmern gut besuchte diesjährige Veranstaltung fand traditionsgemäß wieder im Haus Hainstein Eisenach statt.

Schwerpunkte der Tagung waren folgende Themen:

- Speicheldrüsentumoren
- Moderne Verfahren in der bildgebenden Diagnostik
- Gynäkologische Tumoren
- Neues aus der Forschung (MALDI-TOF zur Tumortypisierung)

Auf dem wie bereits im Vorjahr in das Programm aufgenommenen „Jungen Forum Onkologie“ wurde jüngeren Ärztinnen und Ärzten die Gelegenheit gegeben, eigene Beiträge zu onkologischen Themen zu präsentieren. Dieses Angebot fand mit 8 eingereichten Beiträgen eine gute Resonanz. Drei Vorträge wurden prämiert. Einige der Beiträge stellen wir im Folgenden vor.