

Radioonkologie und Strahlentherapie – Medizinische Physik

Was macht ein **Medizinphysiker** in der Strahlentherapie?



Das Medizinphysikerteam, v. l.: Thomas Merz, Linda Grodd und Ines Reng

Die Strahlentherapie ist eine sehr „technikbetonte“ Fachdisziplin in der Medizin. In deren Vordergrund stehen die therapeutische Anwendung hochenergetischer Strahlung zur Heilung von Krebserkrankungen und die Linderung der Beschwerden für den Patienten. Im Klinikum Heidenheim sorgt ein Medizinphysikerteam für die richtige Dosis.

In den letzten Jahren haben rasante Fortschritte in der Technik neue Behandlungsmethoden in der Krebstherapie ermöglicht, mit denen die Strahlenanwendung für Patienten wirksamer und verträglicher gestaltet werden kann. Diese neuen Therapiemöglichkeiten sind in ihrer technischen Umsetzung sehr aufwendig und komplex. Daher erfordern sie ein hohes Maß an physikalischem Verständnis. Hier ist die Fachkompetenz der Medizinischen Physik gefordert. So ist es Aufgabe des Medizinphysikers, die ärztlichen Vorgaben für die Strahlenbehandlung technisch umzusetzen. Er trägt somit die Verantwortung für alle technischen Aspekte der Strahlenanwendung.

In der Klinik für Radioonkologie und Strahlentherapie des Klinikums Heidenheim sorgen die beiden Medizinphysikexperten (MPE) Ines Reng und Thomas Merz täglich für einen reibungslosen Betriebsbetrieb. Das Duo wird durch die junge Kollegin Linda Grodd verstärkt, die sich derzeit in der Ausbildung zur Medizinphysikexpertin befindet.

Ausbildung zum Medizinphysiker

Der Ausbildungsweg des Medizinphysikers in der heutigen Zeit verläuft in mehreren Etappen. Nach einem Hochschulstudium einer naturwissenschaftlichen oder technischen Fachrichtung schließt sich eine zweijährige Ausbildungszeit in der klinischen Routine in der Strahlentherapie an. Die meisten Medizinphysiker absolvieren während dieser Praxiszeit ein weiteres Zusatzstudium, in dem das theoretische Wissen in der Strahlenphysik vertieft und medizinische Grundkenntnisse sowie rechtliche Themen vermittelt werden. Am Ende der zweijährigen praktischen Aus-

bildung prüft die zuständige Aufsichtsbehörde das erworbene Fachwissen und erteilt ein Zertifikat zur Ausübung des Berufes, die sogenannte Fachkunde im Strahlenschutz. Erst dann dürfen die Absolventen eigenverantwortlich den Beruf des Medizinphysikexperten in der Strahlentherapie ausüben.

Auftrag eines Medizinphysikers

Zur wichtigsten Aufgabe des Medizinphysikers gehört, zu jedem Zeitpunkt die volle Funktionstüchtigkeit der gesamten Behandlungstechnik zu gewährleisten. Die Kerntücke der Heidenheimer Strahlentherapieabteilung bilden zwei Linearbeschleuniger für perkutane Bestrahlungen (Teletherapie). Bei dieser Form der Therapie liegt die Strahlenquelle außerhalb des Körpers und Tumore im Körperinneren werden von außen durch die Haut hindurch bestrahlt. Hinzu kommen weitere Großgeräte. Dazu zählen ein Röntgentherapiesimulator zur Überprüfung der Einstellparameter vor der Bestrahlung und eine Afterloadingeinrichtung zur Durchführung der Brachytherapie (Kontakttherapie), bei der eine umschlossene radioaktive Strahlenquelle sehr nah am zu bestrahlenden Gebiet im Körper platziert wird. Die Ausstattung komplettiert ein Computertomograph (CT) zum Herstellen von Schnittbildern des menschlichen Körpers sowie leistungsstarke Rechner für die Bestrahlungsplanung.

Bevor ein neuer Linearbeschleuniger für die Therapie eingesetzt werden darf, wird durch die Medizinphysiker ein umfangreiches Messprogramm an der Maschine absolviert, das sogenannte „Einmessen“ des Beschleunigers. Die erzeugte Strahlung wird dabei genau ausgemessen und exakt eingestellt. Damit wird der Beschleuniger für den klinischen Strahlbetrieb „fit“ gemacht. In der Regel dauert dieser Arbeitsschritt ein bis zwei Monate. Während dieser für jeden Medizinphysiker äußerst spannenden und arbeitsintensiven Zeit werden Unmengen von Messdaten ermittelt, analysiert und in komplexe Computersysteme eingespeist. Diese Basisdaten bilden die Grundlage für die zukünftige Berechnung der Strahlendosis im Patienten.

Je nach Größe einer strahlentherapeutischen Abteilung wird ein Medizinphysiker ein bis zwei Beschleuniger in seinem Berufsleben einmessen. Dabei lernt er gründlich die Komplexität der Geräte mit all deren Besonderheiten kennen und kann Kollegen, die tagtäglich an diesen Geräten arbeiten, bei Problemen Hilfestellung leisten.

Aufwendige Qualitätssicherungsmaßnahmen

Damit jede einzelne Strahlenanwendung mit konstant hoher Qualität erfolgt, muss ein ganzes Bündel an notwendigen Qualitätssicherungsmaßnahmen erfüllt werden. Bereits arbeitstäglich wird vor dem Patientenbetrieb in Form von Tages-Checks die Konstanz der Dosis, Betriebsparameter und Sicherheitsmechanismen an den Bestrahlungsgeräten überprüft. Erst nach erfolgreichem Abschluss der Tests werden die Geräte für die Behandlung der Patienten freigegeben. Der Großteil der umfangreichen und zeitintensiven messtechnischen Aufgaben und Konstanzprüfungen wird allerdings erst nach dem klinischen Bestrahlungsbetrieb, oft bis in die Abendstunden hinein, erledigt. Dazu gehören beispielsweise auch die Messungen an einem „großen Wasserphantom“, die der Dosiskalibrierung an einem Linearbeschleuniger dienen. Warum ein Wasserphantom? Diese Frage lässt sich leicht erklären: der menschliche Körper besteht zu größten Teil aus Wasser, d.h. die Strahlung wirkt hauptsächlich auf die Wassermoleküle des menschlichen Gewebes. Für Messungen der Strahlung wird daher meist Wasser als Ersatzsubstanz für menschliches Gewebe verwendet. Mit den im Wasserphantom gemessenen und eingestellten Daten stellt der Medizinphysiker sicher, dass der Linearbeschleuniger genau die „Dosisportion“ liefert, die der Strahlentherapeut für den Patienten verordnet hat. Diese Qualitätsprüfungen und Messtechnischen Kontrollen (MTK) sind gesetzlich vorgeschrieben und werden turnusmäßig in externen Audits bewertet. Das Team der Klinik stellt sich dann einer Kommission, bestehend aus Ärzten und Physikern anderer Kliniken, die jeden einzelnen Arbeitsschritt, die Prozessabläufe und Mess-



Dosiskalibrierung am Linearbeschleuniger - Ines Reng und Thomas Merz beim Einrichten des Wasserphantoms.

protokolle auf ihre Durchführung und Richtigkeit kontrollieren. Diese externen Begutachtungen dienen der Dokumentation der gleichbleibend hohen Qualität der Arbeit in allen Bereichen der Strahlentherapie, vor allem aber auch die der Medizinphysiker.

Sicherung des Betriebs

Linearbeschleuniger sind Hochleistungsgeräte - komplex, computergesteuert und mit vielen elektronischen Bauteilen. Diese Maschinen können aber auch aufgrund technischer Probleme während einer Patientenbehandlung aussetzen. Damit die Medizinphysiker auf solche Situationen vorbereitet sind, erhalten sie bei der Inbetriebnahme eines neuen Gerätes einen mehrwöchigen Spezialkurs, bei dem sie in die grundlegenden Funktionsprinzipien der einzelnen Komponenten des Linearbeschleunigers eingewiesen werden. Dieses Spezialwissen und die jahrelangen Erfahrungen im Umgang mit den Beschleunigern helfen ihnen, eine Vielzahl von Problemen an den Behandlungsgeräten ad hoc und eigenständig zu lösen. So können bei technischen Problemen lange Verzögerungen im Patientenbetrieb vermieden und die Bestrahlungen äußerst sicher gestaltet werden.

Sicherheit spielt aber nicht nur in Bezug auf die Funktionsfähigkeit der Bestrahlungsgeräte eine zentrale Rolle, sondern auch für die Überwachung des Strahlenschutzes

in der gesamten Radioonkologie und Strahlentherapie. Medizinphysiker mit Fachkunde fungieren in der Regel auch als Strahlenschutzbeauftragte für den physikalisch-technischen Bereich der Strahlentherapie. In dieser Funktion kümmern sich Medizinphysiker um alle Belange, die im weitesten Sinne mit Schutzvorkehrungen bei der Anwendung von hochenergetischer Strahlung zu tun haben. Darunter fallen beispielsweise Berechnungen der Abschirmungsmaßnahmen für die Strahlenbunker, bevor ein neuer Beschleuniger installiert wird, bis hin zu der persönlichen Überwachung der Mitarbeiter mittels Filmplaketten. Diese Filmdosimeter dienen als Nachweisgeräte für Strahlung und werden von Beschäftigten, die in Strahlenschutzbereichen arbeiten, während ihrer Tätigkeit am Körper getragen. Die monatliche Auswertung der Dosimeter im Helmholtz-Zentrum München zeigt, dass die Mitarbeiter zu keinem Zeitpunkt einer Strahlenbelastung ausgesetzt sind.

Von der Planung zur Umsetzung

Den Hauptteil der täglichen Arbeit der Medizinphysiker nimmt die Bestrahlungsplanung ein. An dieser Stelle wird der Medizinphysiker in die individuelle Patientenbehandlung durch die Strahlentherapeuten einbezogen. Der Arzt legt in einem Behandlungskonzept für jeden Patienten die Bestrahlungsregion, die genaue Dosierung der Bestrahlung und den Zeitplan

der Therapie fest. Der Medizinphysiker übernimmt nun die Aufgabe, nach diesen Vorgaben die Verteilung der Strahlendosis im Körper des Patienten zu berechnen. Als große Herausforderung gilt dabei, die Tumoregion ausreichend und homogen zu bestrahlen und das um den Tumor herumliegende gesunde Gewebe und wichtige Organe so gut wie möglich zu schonen. Dies erfordert jahrelange Erfahrung und auch Geschick, um in oft kurzer Zeit für jeden Patienten einen optimalen Plan zu erstellen. Diese Tätigkeit ist hoch individualisiert und muss auch den Gesamtzustand des kranken Menschen berücksichtigen. Nicht jeder technisch ausgeklügelte Plan wird vom Patienten aufgrund seiner Erkrankung und den damit verbundenen körperlichen Beeinträchtigungen toleriert.

Meist wird der Medizinphysiker erst dann vom Patienten wahrgenommen, wenn er kurzfristig Einstellungen an den Beschleunigern testet oder bei Problemen im laufenden Patientenbetrieb an das Gerät gerufen wird. Unabhängig davon gewährleistet er für alle Tätigkeiten, ob sie nun rein physikalischer Natur sind, die Beschleuniger betreffen oder in den therapeutischen Bereich fallen, eine korrekte Arbeits- und Funktionsweise in der Strahlentherapie. Damit kann sich jeder Patient sicher sein, dass seine Therapie korrekt und reibungslos abläuft.

Ines Reng



Arbeitsplatz in der Bestrahlungsplanung - Linda Grodd beim Erstellen eines Bestrahlungsplans.

Radioonkologie und Strahlentherapie – Bestrahlungsplanung

Planung der Bestrahlung in der Strahlentherapie

Bei der Planung der Strahlentherapie arbeiten Arzt und Medizinphysiker eng zusammen. Der Strahlentherapeut bestimmt das Zielvolumen, das bestrahlt werden soll, und der Medizinphysiker berechnet nach diesen Vorgaben die Dosisverteilung. Wie aufwendig und komplex diese Planung erfolgt, hängt von der Erkrankung des Patienten und deren Lokalisation im Körper ab.

Bei Krebserkrankungen wird zunächst für jeden Patienten eine Computertomographie (CT) angefertigt, um die Lage und die Ausdehnung der Bestrahlungsregion zu definieren. Diese Computertomographie liefert Informationen über die Dichte der einzelnen Organe und das Gewebe des Patienten. Anhand diesen kann die Ausbreitung der Strahlung im Körper berechnet werden. Mit Hilfe eines weiteren Computerprogramms rekonstruieren die Medizinphysiker aus den einzelnen CT-Schichten ein dreidimensionales Modell des Körpers, in dem vom Arzt die Tumorregion (Zielvolumen) und die benachbarten Organe (Risikoorgane) eingezeichnet werden. Als Risikoorgane wird strahlenempfindliches Gewebe bezeichnet, das nur eine bestimmte Dosis erhalten darf, um Nebenwirkungen zu vermeiden. Nun ist der Medizinphysiker gefordert, für jeden Patienten einen individuellen Bestrahlungsplan zu entwerfen, der den Tumor

homogen mit Dosis belegt und umliegendes Gewebe weitgehend schont.

Bevor das CT gemacht wird, erfolgt zunächst eine Probelagerung des Patienten in der Position, in der auch die Bestrahlung stattfinden soll. Das Liegen in der optimalen Position wird häufig unterstützt durch Lagerungshilfen aus Schaumstoff, Vakuumkissen oder mit einer Fixationsmaske. Die Maske hält den Patienten bei der Bestrahlung in der Position, in der sie angefertigt worden ist. Bei einer kleinen Tumorlokalisation in der Lunge wird beispielsweise eine Lagerung im Vakuumkissen im Körperstamm angefertigt. Die Atmung des Patienten wird nicht eingeschränkt, aber die Bewegungen des Patienten werden dadurch reduziert. Diese Art der Lagerung ist besonders bei kleinen und in kritischer Lage befindlichen Tumoren und Metastasen erforderlich, um den Tumor reproduzierbar, also wiederholt und mit hoher Treffsicherheit zu bestrahlen.

Damit der Arzt die Zielregion in der Lunge im dreidimensionalen CT-Patientenmodell möglichst präzise einzeichnen kann, nutzt er zusätzlich die Informationen aus einer PET-Untersuchung (Positronen-Emissions-Tomografie). Im Planungsprogramm kann der Medizinphysiker die beiden Bilddatensätze, die PET-CT-Bilder und die des aktuellen Planungs-CT, geometrisch exakt überlagern und

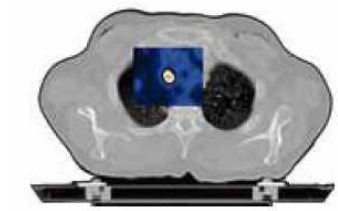
die wichtigen Informationen in einem Planungs-CT farblich hervorheben. Der Arzt kann so sehr kleine Tumorherde erkennen, die im normalen CT nur schwer vom gesunden Gewebe abzugrenzen sind.

Nun beginnt für den Medizinphysiker der eigentliche Planungsprozess. In dem Fall der Tumorlokalisation in der Lunge wird gezielt darauf geachtet, den Bereich der hohen Dosis möglichst genau an das Tumorumfassen anzupassen. Das umliegende gesunde Gewebe, wie Herz, rechte und linke Lunge und das Rückenmark sollte dabei so wenig Strahlung wie möglich erhalten. In der Planung hat der Medizinphysiker die Möglichkeit, virtuell auszuprobieren, mit welchen Geräteeinstellungen das Zielvolumen gut mit der Bestrahlung erreicht werden kann.

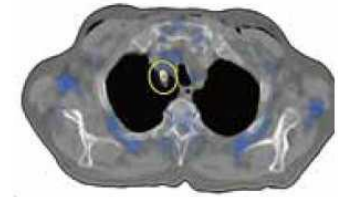
Für die Bestrahlung einer kleinen Tumorerkrankung in der Lunge eignet sich hervorragend die Rotationstechnik, die besonders bei kleinen runden Tumorerkrankungen gute Dosisverteilungen mit starkem Dosisabfall in das gesunde Gewebe liefert. Hierbei bewegt sich das Bestrahlungsgerät um einen Fixpunkt im Patienten. Automatisch wird während der Rotationsbewegung der Gantry die Strahlform an die Tumorausdehnung angepasst. Als Gantry bezeichnet man den beweglichen Teil des Beschleunigers, der „Beschleunigerkopf“, aus dem die Strahlung austritt

und der komplett um den Patienten herum bewegt werden kann. So wird erreicht, dass die Strahlung aus verschiedenen Richtungen in den Körper eintritt, im Tumor konzentriert und gesundes Gewebe ausgeblendet wird. Die Anpassung der Strahlform für jedes einzelne Bestrahlungsfeld an die Kontur des Tumors wird durch einen Multi-Lamellen-Kollimator erreicht. Diese Lamellen im Beschleunigerkopf fahren computergesteuert präzise an vordefinierte Positionen und ergeben zusammen eine individuell angepasste Form des Bestrahlungsfeldes. Der Vorteil von Bestrahlungen aus vielen Einstrahlwinkeln bei der Rotationsbestrahlung besteht darin, dass die einzelnen Felder eine so niedrige Strahlendosis haben, dass das durchstrahlte gesunde Gewebe nur gering belastet wird. Im Zielvolumen treffen sich alle Strahlen und addieren sich hier zu der gewünschten hohen Dosis.

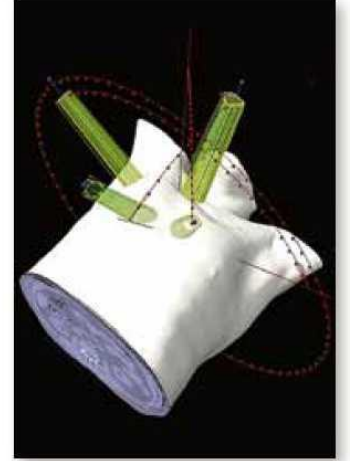
Bereits im Vorfeld der Bestrahlung kann der Medizinphysiker die Dosis im Tumor und die Strahlenbelastung in den Risikoorganen (Herz, beide Lungen und Rückenmark) abschätzen. In sogenannten Dosis-Volumen-Histogrammen werden die Volumenanteile der Organe dargestellt, die mit einer bestimmten Dosis belastet werden. Damit kann der Arzt auf einen Blick die Qualität eines Plans bewerten und verschiedene Planvarianten miteinander vergleichen. Der für den Patienten am besten geeignete



Überlagerung der Bilddatensätze aus der PET-Untersuchung (blau-gold-gefärbt) und des Planungs-CT zeigt eine hohe Stoffwechselaktivität im Tumor (goldfarben)



Genauere Zielvolumen-Definition im Planungs-CT anhand der Bildüberlagerung mit dem PET-CT-Bilddatensatz.



Darstellung der Bestrahlungsfelder (Startwinkel sind grün markiert) im dreidimensionalen Patientenmodell. Ein Bestrahlungsfeld ist jeweils durch einen rot markierten Bogen (Start und Ende der Rotation der Gantry) um den Patienten gekennzeichnet.

Bestrahlungsplan wird für die Strahlentherapie ausgewählt.

Nachdem der Plan vom Arzt akzeptiert worden ist, durchläuft er eine weitere „Sicherheitsschleife“, bis er am Patienten eingestellt werden kann. In einem Spezialmodus des Beschleunigers führt der Medizinphysiker einen sogenannten Testlauf zur Überprüfung der berechneten Dosis durch. Dabei wird der Bestrahlungsplan am Linearbeschleuniger ohne Patient „abgestrahlt“. Messinstrumente zeichnen dabei die Strahlendosis auf, die mit der zuvor berechneten Dosis verglichen wird. Damit wird sicherge-

stellt, dass die Einstellparameter aus dem Planungsrechner korrekt an das Bestrahlungsgerät übermittelt werden.

Während des Planungsvorgangs werden die Patientendaten in verschiedenen Rechnersystemen bearbeitet und verwaltet. Mit der Aktenkontrolle, dem letzten Arbeitsschritt der Planung, stellt der Medizinphysiker sicher, dass der Datentransfer zwischen den Computersystemen für den Patienten fehlerfrei abläuft. Jetzt erst wird der Plan vom Medizinphysiker zur ersten Bestrahlung freigegeben.

Ines Reng