**5 Die Technik**

Ionenstahlen haben bestimmte Eigenschaften, die herkömmlichen Strahlen überlegen sind. Um den Ionenstrahl genau auf den Tumor zu lenken, ist ein bestimmtes Verfahren notwendig – das Intensitätsmodulierte Rasterscan-Verfahren.

**Intensitätsmoduliertes Rasterscan-Verfahren**

Das Verfahren ermöglicht eine weltweit zuvor noch nie erreichte Präzision in der dreidimensionalen Bestrahlung von Tumoren. Maßgeschneiderte Strahlenbündel ummanteln den Tumor millimetergenau – ähnlich wie ein Fingerhandschuh die Hand hautnah umhüllt – und bestrahlen das gesamte Tumorvolumen. „Intensitäts-moduliert“ heißt, dass der Behandlungsstrahl im Querschnitt betrachtet in mehrere Bereiche unterteilt ist, die alle eine unterschiedliche Strahlenintensität haben – ganz wie es die Strahlenempfindlichkeit des Tumors und seines Nachbargewebes erlauben. Das macht dieses Verfahren so präzise. Für Photonen kommt die Intensitätsmodulation schon seit einigen Jahren zum Einsatz, Ionen hingegen werden seit 2009 im Heidelberger HIT mit diesem Verfahren ins Ziel gesteuert.

Das Rasterscan-Verfahren wurde unter der Leitung von Prof. Dr. Thomas Haberer, Wissenschaftlich-technischer Direktor von MIT und HIT, beim GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung (GSI), Darmstadt, entwickelt. Es funktioniert so: Mit Hilfe eines Computertomografen wird der Tumor in seinen genauen Konturen bildlich dreidimensional dargestellt und anschließend im Rechner in digitale Scheiben von jeweils einem Millimeter Stärke „geschnitten“. Die Computer-Software belegt jede Tumorscheibe schachbrettartig mit nebeneinander liegenden Bildpunkten und berechnet für jeden Punkt die notwendige Eindringtiefe der Strahlung und die höchstmögliche Strahlendosis. Der intensitätsmodulierte Ionenstrahl tastet dieses Raster millimetergenau ab und verweilt so lange auf einem Punkt, bis die zuvor berechnete Strahlendosis erreicht ist. Liegen empfindliche Organe direkt am Tumor, wird an dieser Stelle mit einer geringeren Dosis bestrahlt. Für Tumorareale, die extrem widerstandsfähig gegen Strahlung sind, wählen die Ärzte eine höhere Dosis.

**Magnetfelder lenken das Strahlenbündel**

Der Ionenstrahl kann während der Bestrahlung so präzise gesteuert werden, weil geladene Teilchen sich mit Hilfe von Magnetfeldern in verschiedene Richtungen lenken lassen. Wie weit der Strahl ins Gewebe vorstößt, hängt dagegen von seiner Energie ab: Je mehr die Teilchen beschleunigt werden, d.h. je schneller und damit energiereicher der Ionenstrahl ist, desto tiefer dringt er in den Körper ein. Am Synchrotron und in den Strahlführungen zu den Patienten können 100.000 verschiedene Kombinationen der Strahlparameter eingestellt werden: Für jede Ionensorte können 255 Energiestufen gewählt werden – das entspricht Millimeterschritten in der Reichweite bzw. Eindringtiefe der Strahlung in das Gewebe. Die Energien, die am Synchrotron eingestellt werden können, reichen von 50 bis 430 MeV/u. Die Eindringtiefe der Strahlung lässt sich damit in der Spannbreite von 20 mm bis 300 mm regulieren. Es kann außerdem zwischen zehn Intensitätsstufen gewählt werden. Der Therapiestrahl selbst steht in vier Strahlbreiten von 4 mm bis 10 mm zur Verfügung. So können Tumoren jeder Form, Größe und Tiefenlage im Körper präzise bestrahlt werden.

**Online-Therapie-Kontrolle**

Zusätzlich kommt bei diesem Bestrahlungsverfahren die Online-Therapie-Kontrolle zum Einsatz. Sie gewährleistet die weltweit größte Sicherheit bei einer Strahlentherapie. Mit der Online-Therapie-Kontrolle ist es möglich, die Lage, Form und Intensität des Ionenstrahls bis zu 100.000 Mal pro Sekunde zu überprüfen. Fünf hochauflösende Teilchendetektoren sitzen direkt hinter dem Austrittsfenster des Therapiestrahls aus dem Vakuumsystem der Strahlführung unmittelbar vor dem Patienten. Sie erfassen mit 20 cm mal 20 cm das gesamte Bestrahlungsfeld, analysieren den Therapiestrahl und vergleichen ihn mit den Vorgaben der Bestrahlungsplanung. Bei der kleinsten Abweichung stoppt die Bestrahlung innerhalb von einer halben Millisekunde – das ist 1.000 Mal schneller als ein Mensch im Reflex reagiert.