

## Strahlend durchleuchtet

Mit Radionukliden lassen sich Krankheiten frühzeitig diagnostizieren und therapieren. Technetium mit seiner kurzen Halbwertszeit ermöglicht dabei eine geringe Strahlenbelastung.

#) Die jährliche natürliche Strahlenbelastung in Deutschland liegt bei rund 2 mSv.

Gerät das Herz aus dem Takt, steht ein Besuch beim Kardiologen an. Der erkennt im EKG gravierende Störungen der Herzmuskeldurchblutung. Mit Röntgenstrahlung untersucht er, ob die zuführenden Gefäße verengt sind. Wenn aber nicht nur anatomische Informationen gefragt sind, sondern es gilt, die Blutversorgung des Herzmuskels direkt zu visualisieren, schlägt die Stunde der Nuklearmedizin.

Bei nuklearmedizinischen Herzuntersuchungen werden dem Patienten kurzlebige und schwach radioaktive Substanzen verabreicht, die sich abhängig von der Durchblutung im Herzmuskel einlagern. Zerfällt das Radionuklid, emittiert es eine charakteristische Strahlung, die außerhalb des Körpers detektiert wird und die Durchblutung des Herzmuskels sichtbar macht. Der Vergleich einer Messung im Ruhezustand mit der unter Belastung zeigt, wie es um das Herz bestellt ist. Die Strahlenbelastung ist dabei mit rund 17 mSv vergleichbar mit der während eines Langstreckenflugs.<sup>#)</sup>

### Radionuklid zum Melken

Nuklearmedizinische Diagnosemethoden erlauben es, auch Schilddrüse, Gehirn, Lunge, Nieren, Gelenke, Knochen und Tumore zu untersuchen. In zwei Drittel



Für die Untersuchung des Herzmuskels wird der Patientin ein radioaktives Präparat verabreicht. Dieses reichert sich im

Herzmuskel an, zerfällt und emittiert Gammastrahlung, welche die am Liegesitz montierte Kamera detektiert.

aller Fälle kommt das metastabile Technetium-99m (kurz:  $^{99m}\text{Tc}$ ) zum Einsatz. In Deutschland hilft es pro Woche bei rund 70 000 Diagnosen: Knapp 60 Prozent davon entfallen auf die Schilddrüse, mehr als 20 Prozent auf das Skelett und knapp 10 Prozent auf das Herz.

Das Radionuklid  $^{99m}\text{Tc}$  hat eine kurze Halbwertszeit von sechs Stunden, es emittiert beim Zerfall reine Gammastrahlung und bindet sich gut an viele stoffwechselaktive Substanzen. Innerhalb von 36 Stunden zerfällt es zu 99 Prozent. Seine langlebigen Zerfallsprodukte scheidet der Körper innerhalb weniger Tage nahezu vollständig aus.

Wegen der kurzen Halbwertszeit lässt sich  $^{99m}\text{Tc}$  nicht auf Vorrat lagern, sondern muss aus seinem Mutternuklid Molybdän-99 ( $^{99}\text{Mo}$ ) gewonnen werden. Das entsteht in Reaktoren bei der Kernspaltung von  $^{235}\text{U}$ ran oder durch Neutronenbeschuss von  $^{98}\text{Mo}$ -Targets. Das anschließend in aufwändigen chemischen Prozessen aus den Spaltprodukten gewonnene  $^{99}\text{Mo}$  wird in sog. Generatoren an Kliniken und Praxen geliefert, wo sich das Zerfallsprodukt  $^{99m}\text{Tc}$  extrahieren lässt.

Herzstück der  $^{99m}\text{Tc}$ -Generatoren ist eine Chromatographiesäule, die

mit Aluminiumoxid gefüllt ist, an welches das Molybdän gebunden ist (Abb. 1). Die Mo-Kerne zerfallen mit einer Halbwertszeit von 66,02 Stunden in  $^{99m}\text{Tc}$ . Bevor diese metastabilen Kerne in den stabilen Grundzustand  $^{99}\text{Tc}$  übergehen, wird der Generator „gemolken“. Dazu setzt man eine evakuierte Flasche auf die Kanüle, die mit der Säule verbunden ist. Aufgrund des Unterdrucks in der Flasche wird die physiologische Kochsalzlösung aus dem Vorratsgefäß durch die Säule mit dem immobilisierten  $^{99}\text{Mo}$  und dem löslichen  $^{99m}\text{Tc}$  gesaugt. Die Lösung reagiert chemisch mit dem Technetium, das sich hierdurch auswaschen (eluiieren) lässt.

In einem Generator sind einige Mikrogramm  $^{99}\text{Mo}$  gebunden, die ausreichen, um etwa eine Woche lang Technetium mit ausreichender Aktivität für mehrere tausend Untersuchungen zu produzieren.

### (Radio)aktiv für die Gesundheit

Die Kochsalzlösung mit dem gelösten Technetium kann dem Patienten für eine Schilddrüsenuntersuchung sofort injiziert werden, da es sich ähnlich wie Jodid anreichert. Für die Untersuchung anderer Gewebe muss das Technetium an

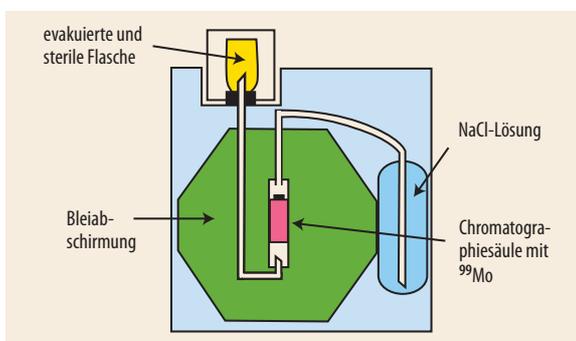


Abb. 1 Im  $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ -Generator wird das Molybdän stationär an die Chromatographiesäule gebunden. Dort zerfallen die Kerne in das metastabile  $^{99m}\text{Tc}$ , das sich etwa alle sechs bis zwölf Stunden mittels einer Kochsalzlösung aus der Säule auswaschen lässt. Da das Molybdän beim Zerfall auch Betastrahlung aussendet, besitzt der Generator eine Bleibschirmung.

ausgewählte bioaktive Moleküle, die sich z. B. an die Zellen des Organs oder an ausgewählte Antigene an der Oberfläche von Tumoren heften, gekoppelt werden.

Die radioaktiv markierte Substanz, das Radiopharmakon, wird dem Patienten meist injiziert, als Kapsel gegeben oder zum Einatmen angeboten. Die erforderliche Dosis hängt dabei u. a. vom Gewicht und Alter des Patienten sowie von der jeweiligen Untersuchung ab: Bei einer Skelettuntersuchung ist die einem erwachsenen Patienten applizierte Aktivität um einen Faktor 10 bis 15 höher als z. B. bei einer Schilddrüsenuntersuchung.

Da der Stoffwechsel an entzündeten Stellen und im Tumorgewebe schneller abläuft, reichert sich das Radiopharmakon dort bevorzugt an. Zerfällt das  $^{99m}\text{Tc}$ , emittiert es ein Gammaquant mit einer Energie von 140 keV. Diese Strahlung kann eine Gammakamera detektieren, die aus einem Bleikollimator und aus einem Szintillationskristall besteht. Bei letzterem handelt es sich um Thallium dotiertes Natriumjodid.

Nach dem Passieren des Kollimators, der die räumliche Zuordnung der Strahlung erlaubt, treffen die Gammaquanten auf den Szintillationskristall und rufen dort Lichtblitze hervor. Mehrere Photokathoden und -multiplier, die in einem zweidimensionalen Raster angeordnet sind, detektieren diese Szintillationen und wandeln sie in elektrische Impulse um. Nachgeschaltete Auswertesysteme setzen die Signale in digitale Bilder, sog.

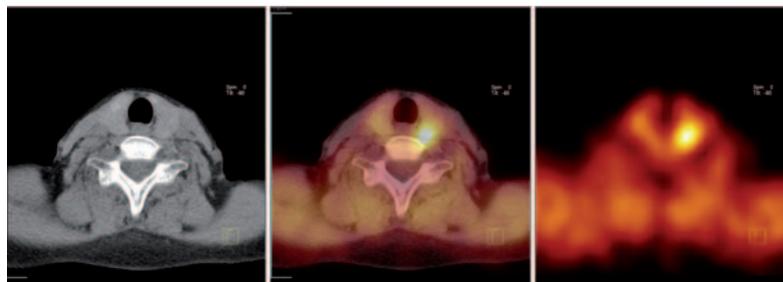


Abb. 2 Überlagert man das anatomische CT-Bild (links) der Schilddrüse mit der Aufnahme des funktionellen Einzel-

photonen-Emissions-Tomographen (rechts), zeigt sich der gutartige Tumor als heller Fleck (Mitte).

Szintigramme, um und ermöglichen es dem Nuklearmediziner, die Daten zu speichern und quantitativ auszuwerten.

Technetium kommt in der Nuklearmedizin vor allem bei der Szintigraphie und der Einzelphotonen-Emissions-Tomographie (SPECT) zum Einsatz. Bei der Szintigraphie geht es darum, zweidimensionale Projektionsaufnahmen zu machen, um die Verteilung des Radiopharmakons im Körper durch Nachweis der emittierten Photonen zu messen. Die SPECT-Methode erlaubt dagegen die Aufnahme von Schnittbildern: Dabei rotieren eine oder mehrere Gammakameras um den Körper des Patienten bzw. das Zielorgan und detektieren die emittierte Strahlung aus unterschiedlichen Richtungen (Abb. 2).

Bei dynamischen Szintigraphie-Untersuchungen ist es durch wiederholte Messung möglich zu beobachten, wie sich die Radioaktivitätsverteilung zeitlich ändert. Damit lässt sich z. B. bei der Nierendiagnostik beurteilen, wie sich ein spezifisches Radiopharmakon anreichert und ausgeschieden wird.

Daraus kann der Arzt beide Nieren getrennt voneinander beurteilen.

Vor gut einem halben Jahr schlugen die Nuklearmediziner Alarm. Grund: Durch den Ausfall der drei europäischen Forschungsreaktoren in Belgien, Frankreich und den Niederlanden standen den Kliniken und Praxen nicht mehr genügend radioaktive Substanzen zur Verfügung. Inzwischen sind zwei Reaktoren wieder am Netz. Deutsche Nuklearmediziner plädieren dennoch dafür, die Neutronenquelle FRM II in Garching umzurüsten, da die europäischen Reaktoren spätestens 2015 vom Netz gehen müssen und nur ein neuer Reaktor im Bau ist. Ob sich die Quelle in Garching zur Produktion bestimmter Radionuklide eignet, ist bislang aber noch unklar. Mit ihr hätte Deutschland wieder eine eigene Produktionsstätte, die den künftigen Nachschub an Radionukliden gewährleisten könnte.

\*

Ich danke Jörg Mahlstedt (Essen) und Winfried Petry (Garching) für hilfreiche Informationen.

Katja Bammel

Dr. Katja Bammel,  
science & more  
redaktionsbüro,  
kb@science-and-  
more.de