

Nutzbringende Strahlung

Die Nuklearmedizin ist aus der Medizin nicht mehr wegzudenken. Doch dazu benötigt sie Radionuklide und produziert damit geringe Mengen radioaktiven Abfall.

Prof. Dr. med. A. Nidecker ist Radiologe und führt in Basel ein Röntgeninstitut; Untere Rebgasse 18, 4058 Basel.

Das Fach der Nuklearmedizin konzentriert sich in den meisten Fällen auf das Erkennen beziehungsweise die Diagnostik bestimmter Erkrankungen mittels radioaktiver Substanzen, sogenannter Radiopharmaka. Bei der nuklearmedizinischen Diagnostik wird ein kurzlebige Radiopharmakon – das heisst eines, das nur wenige Stunden aktiv ist – in den Körper des Patienten injiziert. Anschliessend kann man mit einem empfindlichen Diagnoseinstrument (der Gammakamera) die Verteilung des Radiopharmakons in den Geweben prüfen.

Herzstück der Gammakamera bilden die Szintillationskristalle, welche die aus dem Körper des Patienten eintreffenden Gammaquanten in Blitze oder Szintillationen verwandeln, weshalb dieses Diagnoseverfahren auch «Szintigraphie» genannt wird.

Radiopharmaka bestehen aus einer radioaktiven Substanz und einem Trägermolekül. Letzteres bestimmt in erster Linie, wo sich die betreffende Substanz im Körper ansammelt. Dies kann beispielsweise im Knochen, im Herz, in der Schilddrüse, in den Nieren, Lungen oder im Gehirn sein. Am häufigsten verwendet die moderne nuklearmedizinische Diagnostik als Radionuklid ein Technetium-Isotop, das eine Halbwertszeit von sechs Stunden aufweist.

Die Szintigraphie stellt ein ergänzendes Verfahren zur Röntgendiagnostik dar: Röntgenaufnahmen stellen die Form und Anatomie der Organe dar, die Szintigraphie macht hingegen deren Funktion sichtbar.

Klinische Anwendung

Viele Erkrankungen können im Frühstadium oft nur szintigraphisch erfasst werden, weshalb die nuklearmedizinische Diagnostik aus der modernen Radiologie nicht mehr wegzudenken ist. So werden nuklearmedizinische Bilder benötigt, um beispielsweise festzustellen, wie weit sich ein Tumor ausgebreitet hat; man kann aber auch bei einer Lungenembolie das Blutgerinnsel in der Lunge beobachten oder die Durchblutung des Gehirns respektive der Nieren kontrollieren oder bestimmte Knoten in der Schilddrüse typisieren.

Die Nuklearmedizin hat sich aber auch bei der Diagnostik von Herzdurchblutungsstörungen bewährt. Versteckte, weil mittels Röntgenbildern nicht erfassbare Überlastungszustände des Skeletts oder gar Ermüdungsbrüche lassen sich szintigraphisch ebenfalls gut erfassen.

Seltener kommt die Nuklearmedizin auch bei der Behandlung von Erkrankungen zum Zug: So kann eine Überfunktion der Schilddrüse gelegentlich mittels einer Radioiodtherapie angegangen und Knochenmetastasen können unter Umständen mit Radiophosphor behandelt werden.

Produktion von Radionukliden

Bei Radionukliden oder Isotopen handelt es sich um Variationen eines bestimmten chemischen Elements, erklärbar durch deren unterschiedliche Anzahl von Neutronen im Kern. Nuklide können stabil oder instabil sein. Instabile Isotope teilen und verwandeln sich dabei in andere chemische Elemente; bei diesem Spaltungsprozess wird radioaktive Strahlung freigesetzt. Es gibt natürliche Radionuklide – wie zum Beispiel Uran-, Thorium- oder Kaliumisotope – sowie künstlich erzeugte. Die künstlichen Radionuklide kann man produzieren, indem man stabile Nuklide in einem Kernreaktor mit Neutronen, Protonen, Alphateilchen oder schweren Ionen bestrahlt.

Instabile Nuklide weisen unterschiedlich lange physikalische Halbwertszeiten (HWZ) auf, die von einigen Sekunden bis zu Jahrtausenden dauern können. Daneben gibt es aber auch die biologische Halbwertszeit; dies ist die Zeit,

die der Körper normalerweise braucht, um die Hälfte der Radionuklide, die sich im Organismus befinden, auszuscheiden.

Die physikalische HWZ muss zusammen mit der biologischen HWZ der Trägersubstanz berücksichtigt werden – daraus resultiert dann die sogenannte effektive Halbwertszeit, welche bestimmt, wie lange ein Radiopharmakon im Körper aktiv bleibt und für die Untersuchungen genutzt werden kann, aber auch wie lange die Strahlenbelastung andauert.

Da die Strahlenbelastung des Organismus möglichst gering sein sollte, haben kurzlebige Radionuklide in der Nuklearmedizin eine besondere Bedeutung. Sie lassen sich im Cyclotron, in einem Kernreaktor oder durch «Elution» (Auswaschung) in einem radioaktiven Generator erzeugen. In diesem Generator befindet sich eine langlebige Muttersubstanz, die ein kurzlebiges Tochternuklid liefert. Am häufigsten werden Molybdän-Generatoren (Molybdän-99) verwendet, welche als Tochternuklide das oft verwendete Technetium-99 liefern. Die Generatoren – thermosflaschengrosse Behälter, die man auch «radioaktive Kühe» nennt – werden zusammen mit der Muttersubstanz kommerziell vertrieben und in nuklearmedizinischen Abteilungen oder Instituten im Abonnement (z.B. wöchentlich) angeliefert.

Das Technetium-Eluat wird anschliessend zur Markierung der Trägersubstanz verwendet, welche in Form eines Kits zur Verfügung steht. Daraus entsteht schliesslich das Radiopharmakon respektive die Substanz, welche zur Diagnose benötigt wird.

Strahlenbelastung und Strahlenschutz

Die Nuklearmedizin hat trotz neuerer bildgebender Verfahren in der Radiologie – wie die Computer- und Magnetresonanztomographie – in den vergangenen Jahren ihren Platz in der Diagnostik behalten. Weltweit werden in den reichen Ländern Hunderttausende von Untersuchungen jährlich durchgeführt. Folgende Tabelle gibt Auskunft über die Strahlenbelastung durch einige der gängigen nuklearmedizinischen Untersuchungen im Vergleich zu den empfangenen Dosen durch Röntgenuntersuchungen:

Untersuchung	Effektive Äquivalentdosis ¹
Szintigraphie:	
Hirn	5 mSv
Leber	1 mSv
Knochen	4 mSv
Schilddrüsen	0.8 mSv
Röntgenbild:	
Thorax	0.05 mSv
Schädel	0.15 mSv
Computertomographie:	
Abdomen	2.6 mSv
Thorax	4.8 mSv
Kontrastdarstellung:	
Magendarm-Trakt	3.8 mSv
Dickdarm	7.7 mSv

Zum Vergleich:

Jahresgrenzwert für beruflich strahlenexponierte Personen	20 mSv
Jahresgrenzwert für die Allgemeinbevölkerung	1 mSv

Die angegebenen Zahlenwerte sind Durchschnittswerte. Das Spektrum der Strahlenbelastung ist bei den Szintigraphien nicht so gross wie bei den Röntgenverfahren, weil gewöhnlich immer wieder die gleichen, international als adäquat erachteten Quantitäten der Radiopharmaka appliziert werden. Unterschiedliche Strahlenbelastungen der PatientInnen treten deshalb auf, weil jeder Mensch die Radiopharmaka unterschiedlich schnell abbaut und ausscheidet, so dass die radioaktiven Substanzen je nachdem länger oder kürzer im Körper verweilen.

Bezüglich Strahlenschutz muss bei der Verwendung radioaktiver Substanzen sowohl der Patient, als auch das Personal berücksichtigt werden. Immer muss das Risiko der nuklearmedizinischen Untersuchung dem Nutzen beziehungsweise der erwarteten Aussage gegenübergestellt werden. Massgeblich für den Strahlenschutz bei der medizinischen Anwendung radioaktiver Stoffe ist in der Schweiz die Strahlenschutzverordnung.² Strahlenschutzmassnahmen sind streng und betreffen einerseits bauliche Massnahmen in den Untersuchungsräumen, andererseits auch Transport, Aufbewahrung und Verwendung der Radiopharmaka vor und während der Untersuchungen. Grundsätzlich werden nuklearmedizinische Untersuchungen nur von speziell geschultem, medizinisch-technischem Röntgenpersonal durchgeführt und die Untersuchungsergebnisse durchwegs von NuklearmedizinerInnen und RadiologInnen interpretiert.

Radioaktive Abfälle aus der medizinischen Diagnostik

Radioaktive Abfälle werden in radioaktive Abluft, flüssige und feste, aber auch in lang- und kurzlebige radioaktive Abfälle unterteilt. Dabei werden verschiedene Kategorien unterschieden³:

1. Die hochaktiven Abfälle aus kommerziellen und (bsp. in den USA) militärischen Anlagen.
2. Die transurane Abfälle (hauptsächlich Alphastrahler) aus der militärischen Produktion.
3. Die Minenabfälle aus dem Uranerzabbau.
4. Die schwach- und mittelaktiven Abfälle aus der kommerziellen Kernenergienutzung, der Forschung und der Medizin.

In der Schweiz wird der Gewichtsanteil hochaktiver Abfälle als sehr klein (12 Tonnen pro Jahr) gegenüber den schwach- und mittelaktiven Abfälle (735 Tonnen jährlich) angegeben.⁴ Aus der medizinischen Diagnostik fallen nur schwachaktive Abfälle (gebrauchte Molybdän-99-Generatoren, kontaminierte Handschuhe, Lappen, Spritzen etc.) an, die jedoch in Volumen, vor allem aber bezüglich ihrer Aktivität nur einen sehr geringen Anteil aller schwachaktiven Abfälle ausmachen: Im Jahr 2033 – wenn die heute noch laufenden Reaktoren abgebrochen sind und endgelagert werden müssen – wird die Medizin zusammen mit der Forschung und der Industrie lediglich 0,03 Prozent zum insgesamt anfallenden Strahleninventar in der Schweiz beisteuern.⁵

Ähnlich sieht es auch in den USA aus. Dort stammen ebenfalls die allergrössten Abfallmengen sowohl in Volumen als auch in Radioaktivität aus der kommerziellen Kernenergienutzung, der Atomwaffenproduktion sowie dem Uranerzabbau. Es wurden in den USA durch die Nuclear Regulatory Commission (NRC) in den vergangenen Jahrzehnten über 20 000 Lizenzen zur Herstellung und zum kommerziellen Gebrauch radioaktiver Substanzen ausgestellt. Die meisten dieser Betriebe (Spitäler, Radionuklidhersteller, Forschungsbetriebe) produzieren jedoch «low-level waste», niedrigaktive Abfälle. Von diesen kommerziellen Betrieben, welche schwachaktive Abfälle erzeugen, ist die AKW-Industrie mit ca. 70 Prozent des Volumens und 95 Prozent der Radioaktivität in Curie bei weitem die grösste Quelle.⁶

- ¹ Aus: Shields RA, Lawson RS. Effective dose equivalent. Nuclear Medicine Communications, 8 (851 - 855), 1987
- ² StSG 814.50 und StSV 814.501, 1991
- ³ Aus: Makhijani A, Saleska S. High-level Dollars, low-level Sense - A critique of present policy for the Management of long-lived radioactive Waste and Discussion of an Alternative Approach
- ⁴ Radioaktive Abfälle unter Kontrolle. Informationsstelle für Elektrizitätsanwendung (INFEL) des Verbands Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)
- ⁵ Die Daten basieren auf einer Berechnung von Heini Glauser, SES, 1995
- ⁶ DOE, 1990d. US Dept of Energy. Integrated Data Base for 1990: US spent fuel and radioactive waste inventories, projections and characteristics . DOE/RW-0006, Rev. 6