

Wie stark strahlt der Patient in der Nuklearmedizin?

Erhebung

Im Gegensatz zur Röntgendiagnostik war bis Ende der 80er Jahre der Beitrag der Nuklearmedizin zur Strahlenexposition der Bevölkerung in der Schweiz nicht bekannt. Eine in den Jahren 1989 und 1990 durchgeführte Erhebung mit Beteiligung aller 43 Bewilligungsinhaber für die Anwendung von offenen radioaktiven Stoffen am Menschen ermöglichte eine vollständige Übersicht über Art und Anzahl von nuklearmedizinischen Anwendungen in der Schweiz [2, 3]. Während mindestens einem Monat wurden für jeden Patienten neben dem Alter und dem Geschlecht Angaben über die Untersuchungsart, das verwendete Radioisotop, das Pharmakon, die Applikationsart und die applizierte Aktivität erhoben. Die erhobenen Daten von ca. 7'800 Patienten wurden in einem Datenbanksystem für die weitere Auswertung gespeichert. Um die Resultate der Erhebung breit abzustützen und zu diskutieren, wurde die Projektgruppe bei den Auswertungen und Interpretationen der Daten von verschiedenen Institutionen und Fachgruppen unter dem Patronat des Bundesamtes für Gesundheit begleitet.

Dosisberechnung

Die Berechnung der Organdosen in Abhängigkeit vom verabreichten radioaktiven Stoff und von der applizierten Aktivität bildet die Grundlage für die Bestimmung der effektiven Dosis bei einer bestimmten Untersuchung. Die Organdosen können für die einzelnen Untersuchungsarten nach ICRP 53 berechnet werden [1]. Sie beruhen einerseits auf der Verteilung der Radiopharmaka im Körper mit Hilfe von biokinetischen Verteilungsdaten und andererseits auf den kernphysikalischen Zerfallsdaten der eingesetzten Radionuklide. Die grösste Unsicherheit besteht dabei in der Annahme einer normalen Biokinetik für Personen mit z.T. pathologischen Veränderungen im Organismus.

Strahlenrisiko

Die effektive Dosis ist ein gewichteter Mittelwert über alle Organdosen. Dabei entsprechen die Gewebegewichtungsfaktoren dem relativen Krebsrisiko der einzelnen Organe bzw. dem genetischen Risiko bei einer Bestrahlung. Die effektive Dosis ist damit auch bei inhomogener Bestrahlung des Körpers ein Mass für das gesamte Strahlenrisiko und erlaubt den Vergleich unterschiedlicher Strahlenexpositionen untereinander bezüglich dieses Risikos.

Die für die Ermittlung der effektiven Dosis in ICRP 60 aufgeführten Organgewichtungsfaktoren sind alters- und geschlechtsunabhängig und basieren auf mittleren Risiken für das Kollektiv der arbeitenden Bevölkerung (18 bis 65 Jahre). Nuklearmedizinische Untersuchungen werden jedoch hauptsächlich an älteren Personen durchgeführt. Sowohl das strahleninduzierte organspezifische Krebs- als auch das genetische Risiko nehmen mit steigendem Alter ab und zeigen ebenfalls eine Geschlechtsabhängigkeit. Die effek-

tive Dosis als Risikogrösse soll daher in der Regel geschlechtsabhängig ermittelt und für eine bestimmte Untersuchungsart mit steigendem Alter der betroffenen Person im allgemeinen nach unten korrigiert werden (Ausnahme: Lungenkrebsrisiko). So resultiert beispielsweise für über 70-jährige Personen praktisch eine Risikogrösse von Null, was dem sehr geringen zusätzlichen Krebsrisiko (unter Berücksichtigung der Latenzzeit) und dem praktisch inexistenten genetischen Risiko entspricht.

Untersuchung	Häufigkeit	Isotop	Pharmakon	Häufigkeit	applizierte Aktivität (MBq)		eff. Dosis (mSv)
					Mittelwert	Range	
Skelett	43,0 %	Tc-99m	Phosphat	100,0%	620	150 - 1000	3,6
Schilddrüse	15,1 %	I-123	Jodid	46,9%	13	5 - 20	2,1 34 1,1
		I-131	Jodid	11,2%	2	1 - 7	
		Tc-99m	Pertechnetat	41,9%	90	30 - 200	
Lunge Perfusion	13,7 %	Tc-99m	MAA	100,0%	140	70 - 230	1,5
Lunge Ventilation	6,4 %	Xe-133	Gas	87,4%	390	110 - 750	0,07
		Xe-127	Gas	11,2%	220	100 - 370	0,03
		Xe-133	NaCl-Lösung	1,4%	370	370 - 370	0,07
Lunge Inhalation	1,3 %	Tc-99m	Aerosol	100,0%	45	15 - 150	0,27
Myokard	5,7 %	Tl-201		91,1%	80	70 - 110	18
		Tc-99m	MIBI	8,9%	570	110 - 740	4,8
Niere	4,2 %	Tc-99m	DTPA	5,1%	360	10 - 800	1,9
		Tc-99m	DMSA	6,3%	60	20 - 130	0,52
		Tc-99m	MAG3	17,3%	110	100 - 150	0,80
		I-123	Hippuran	45,8%	20	5 - 40	0,24
		I-131	Hippuran	10,6%	13	11 - 37	0,69
		Verschiedene		14,9%			
Herzbinnenraum	3,1 %	Tc-99m	Erythrozyten	53,7%	910	670 - 930	6,0
		Tc-99m	HSA	46,3%	810	370 - 1100	4,9
Hirn	1,7 %	Tc-99m	Pertechnetat	38,2%	620	460 - 930	7,4
		Tc-99m	HMPAO	18,6%	610	370 - 740	5,7
		Xe-133	Gas	40,8%	930	930 - 930	0,17
			Verschiedene		2,4%		
Leber/Milz	0,5 %	Tc-99m	Kolloid	53,1%	120	20 - 160	1,1
		Tc-99m	IDA	46,9%	100	10 - 200	1,5
Tumor/Entzündung	0,3 %	Ga-67	Citrat	100,0%	190	40 - 450	21
Myelozintigraphie	0,3 %	In-111	DTPA	100,0%	55	20 - 110	1,2
Nebenniere	0,2 %	I-123	MIBG	94,6%	230	20 - 480	3,2
		I-131	MIBG	5,4%	40	40 - 40	5,6
Lymphsystem	0,2 %	Tc-99m	Kolloid	100,0%	180	150 - 500	1,7
Verschiedene	4,3 %						4,4

Tabelle 1: Nuklearmedizinische Untersuchungen in der Schweiz.

Anzahl Untersuchungen und applizierte Aktivitäten

Von den ca. 69'000 nuklearmedizinischen Applikationen pro Jahr in der Schweiz entfallen 97,5 % auf die Diagnostik und 2,5 % auf die Therapie. Dies entspricht im Mittel ca. 10 Untersuchungen pro Jahr und 1'000 Einwohnern in der Schweiz. Im Vergleich zu anderen europäischen Ländern ist dieser Wert niedrig [4]. Nach Angaben des Bundesamtes für Gesundheit stehen in der Schweiz etwa 110 Gamma-Kameras in Betrieb.

Somit werden im Durchschnitt etwa 600 Untersuchungen pro Kamera und Jahr durchgeführt.

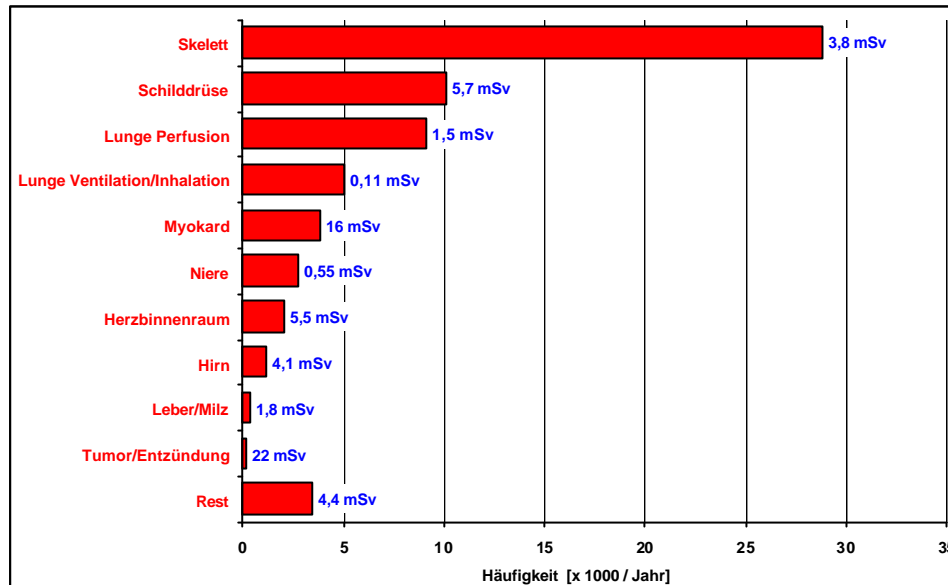


Abbildung 1: Häufigkeit der nuklearmedizinischen Untersuchungen in der Schweiz und die entsprechenden mittleren effektiven Dosen pro Untersuchung.

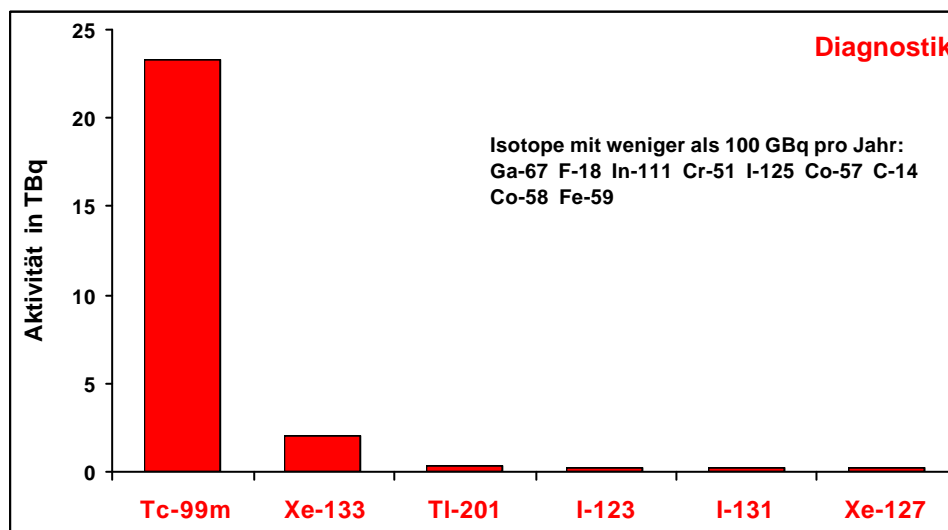


Abbildung 2: Verteilung der pro Jahr in der Schweiz applizierten Aktivitäten der Radioisotope in der diagnostischen Nuklearmedizin.

Die wichtigsten Untersuchungsarten sind zusammen mit den verwendeten Isotopen und Pharmaka, den Mittelwerten und Ranges der applizierten Aktivitäten und den sich daraus ergebenden effektiven Dosen pro Applikation in Tabelle 1 zusammengestellt. Das Knochenszintigramm mit Tc-99m-Phosphat und einem Anteil von 43 % an der Gesamtanzahl der Untersuchungen ist die häufigste Untersuchungsart, gefolgt von Schilddrüsenuntersuchungen (15 %) mit I-123, Tc-99m oder I-131 und Lungenperfusionstudien mit Tc-99m-Mikrosphären (14 %). Weitere relativ häufige diagnostische Anwendungen

sind Lungen-Ventilations- und -Inhalationsuntersuchungen, Untersuchungen des Herzmuskels, des Herzbinnenraumes, der Nieren und des Hirns mit verschiedenen Radio-pharmaka (Abbildung 1). PET-Untersuchungen (mit 7 Kameras) machen heute erst einen Anteil von etwa 1,7 % aus.

Die insgesamt applizierte Aktivität beträgt 26,0 TBq pro Jahr für die Diagnostik. Die Verteilung der Aktivitäten auf die verschiedenen Isotope ist in Abbildung 2 dargestellt. Von den insgesamt 15 verwendeten Radioisotopen für diagnostische Anwendungen werden Tc-99m (Aktivitätsanteil 90 %) und Xe-133 (7,5 %) am häufigsten appliziert.

Alterverteilung und effektive Dosen

Die Altersverteilungen der Patientinnen und Patienten, die sich einer nuklearmedizinischen Untersuchung unterziehen müssen, unterscheiden sich deutlich von den Altersverteilungen der Schweizer Bevölkerung. Die in Abb. 3 dargestellten Verteilungen ergeben Medianwerte für das Alter der untersuchten Patientinnen und Patienten von ca. 58 Jahren, die mit den entsprechenden Medianwerten der Bevölkerung von 36 Jahren für die Frauen und 33 Jahren für die Männer verglichen werden müssen. Das im Vergleich zur Gesamtbevölkerung mehr als 20 Jahre höhere mediane Alter der untersuchten Patientinnen und Patienten ist von Bedeutung für die Bewertung des Strahlenrisikos durch die nuklearmedizinische Diagnostik im Vergleich zu Expositionen, von der alle Altersklassen der Bevölkerung gleichmässig betroffen sind (z.B. natürliche Strahlenexposition).

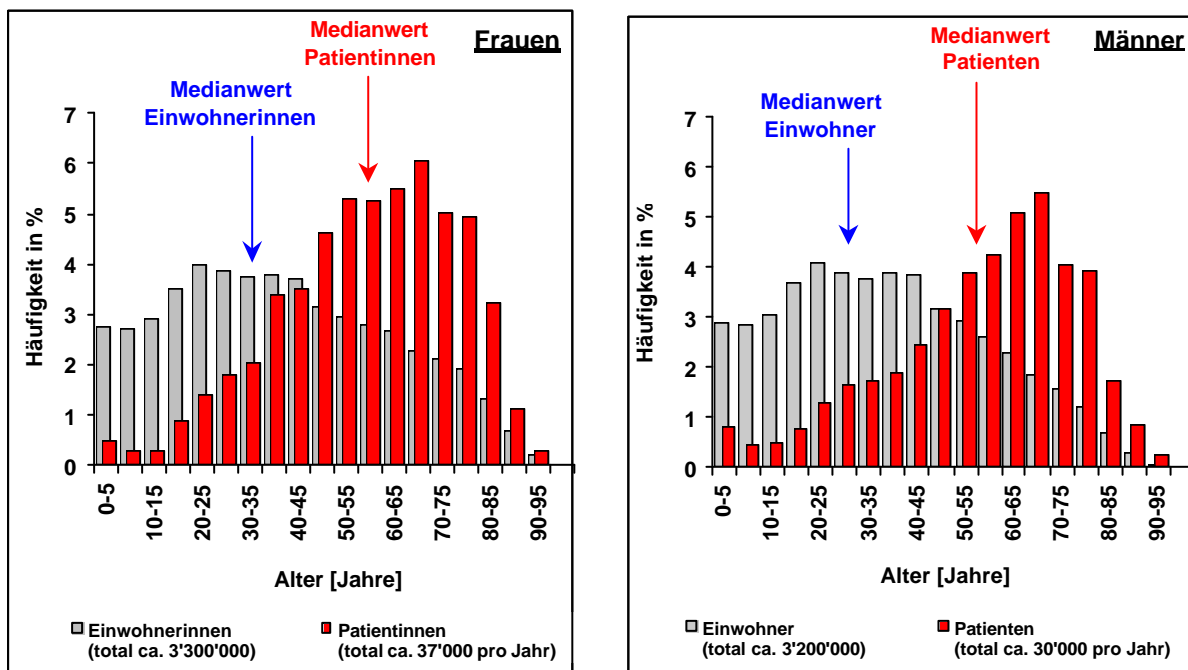


Abbildung 3: Altersverteilungen der Patientinnen und Patienten in der Schweiz in der nuklearmedizinischen Diagnostik verglichen mit den Altersverteilungen der Frauen und Männer der Schweizer Bevölkerung.

Die Bestimmung der Organdosen wurde unter der Annahme einer normalen Biokinetik durchgeführt. Für einzelne Untersuchungen kann die Variationsbreite des Einflusses einer abweichenden pathologischen Biokinetik auf die Organdosen angegeben werden (z.B. vermehrte Aufnahme, veränderte Verteilung und längere Retention des Radiopharmakons in den Knochen bei Skelettuntersuchungen, Variation der Iod-Aufnahme und -Retention in der Schilddrüse). Die Unsicherheiten in der Bestimmung der Organdosen durch unvollständige Kenntnis der biokinetischen Parameter werden jedoch tendenziell durch die nachfolgende Mittelung der Dosen zur effektiven Dosis vermindert. Für die effektive Dosis kann für die meisten Untersuchungen eine Unsicherheit von etwa einem Faktor zwei angenommen werden.

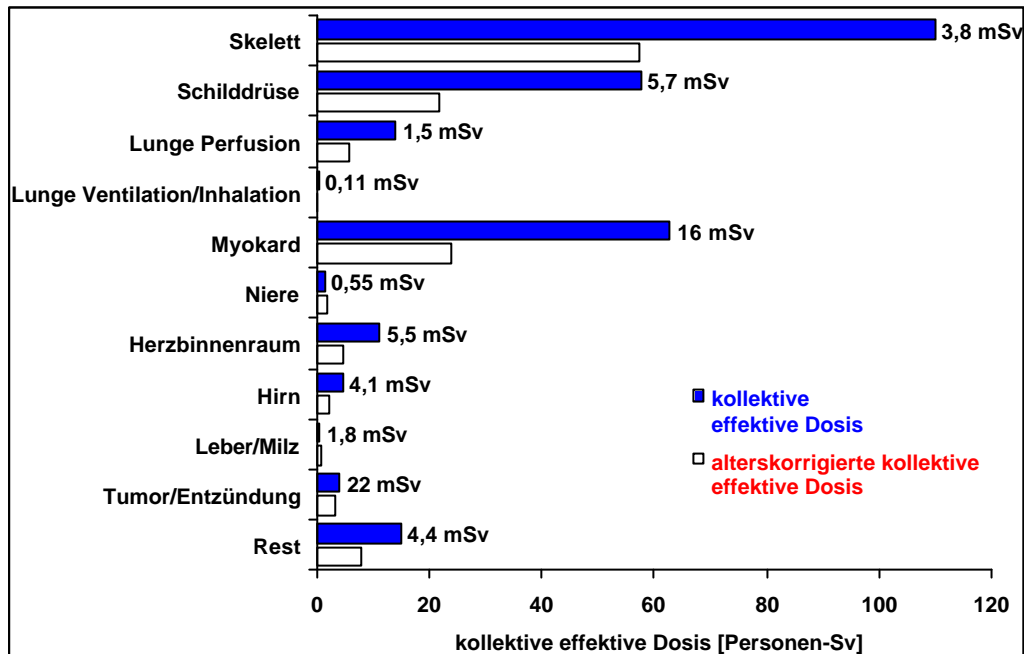
Für jede Patientin und jeden Patienten im Kollektiv der Erhebung wurde die effektive Dosis der entsprechenden Untersuchung berechnet und auch die oben beschriebene Alters- und Geschlechterkorrektur durchgeführt. Nach der Summation über alle Patientendosen gelangen wir zur kollektiven effektiven Dosis von 283 Personen-Sv pro Jahr in der Schweiz. Die mittlere effektive Dosis pro Jahr und Einwohner ergibt für die ca. 7 Millionen Einwohner der Schweiz somit den Wert 0,04 mSv. Der alterskorrigierte Mittelwert von 0,02 mSv für die Schweiz wurde analog aus den alters- und geschlechterkorrigierten effektiven Dosen gewonnen. Die Reduktion der mittleren Dosen bei Berücksichtigung des Alters ist plausibel, wenn man die Verschiebung des medianen Alters der untersuchten Patienten im Vergleich zu dem der Gesamtbevölkerung von mehr als 20 Jahren (Abb. 3) und den Risikoverlauf mit dem Alter berücksichtigt. Den erwähnten Sachverhalt kann man sich auch verdeutlichen durch die Betrachtung der Altersverteilungen der Patientinnen und Patienten, die zeigt, dass vorwiegend ältere Personen mit entsprechend geringerem Strahlenrisiko den Mittelwert bestimmen. Der Beitrag der einzelnen Untersuchungsarten zur kollektiven effektiven Dosis (bzw. zur alterskorrigierten kollektiven effektiven Dosis) ist in Abb. 4 dargestellt. Durch Vergleich mit den Häufigkeiten der nuklearmedizinischen Untersuchungen in Abb. 1 ist ersichtlich, dass sich die Anteile der einzelnen Untersuchungen an der Kollektivdosis gegenüber den Häufigkeitsanteilen verschieben.

Bewertung der Ergebnisse

Der jährliche Beitrag der nuklearmedizinischen Diagnostik von 0,04 mSv zur totalen mittleren effektiven Dosis der Schweizer Bevölkerung von ca. 4,0 mSv/Jahr ist gering. Dies gilt umso mehr, wenn die alterskorrigierte Grösse von 0,02 mSv/Jahr betrachtet wird. Es darf aber nicht ausser acht gelassen werden, dass für die einzelnen exponierten Patientinnen oder Patienten die mittlere Bevölkerungsdosis eine geringe Bedeutung hat. Im Mittel beträgt die effektive Dosis für eine einzelne Untersuchung ca. 4 mSv (Range 0,03-30 mSv), was etwa der mittleren jährlichen Exposition in der Schweiz entspricht. Je nach Untersuchung können die effektiven Dosen jedoch bis zu 30 mSv und mehr betragen. Die von uns ermittelten Werte wurden in den UNSCEAR-Bericht 2000 [4] der UNO aufgenommen.

Die Berücksichtigung des Alters bei der Bewertung des Risikos einer Einzelperson bei medizinischer Strahlenexposition wird als sehr wichtig angesehen, speziell bei jungen Menschen (grösseres Risiko), aber auch bei älteren Patienten (stark verringertes Risi-

ko). Aus diesem Grund soll eine alters- und geschlechtsabhängige effektive Dosis angegeben werden, die insbesondere die Strahlenexposition in der Medizin im Vergleich zu Expositionen, die alle Teile der Bevölkerung zu gleichen Teilen betreffen (z.B. die natürliche Strahlenexposition), besser berücksichtigt. Damit wird auch das wegen der Altersverteilung der Patientinnen und Patienten (im Mittel ältere Personen) verminderte



mittlere Risiko der medizinischen Strahlenexpositionen im Vergleich zu den anderen Expositionen nicht überbewertet.

Abbildung 4: Beiträge nuklearmedizinischer Untersuchungen zur kollektiven effektiven Dosis und zur altersabhängigen kollektiven effektiven Dosis in der Schweiz und die damit verbundenen mittleren effektiven Dosen pro Untersuchung.

Die Erhebung über die Strahlenexposition durch die Nuklearmedizin in der Schweiz soll nun wiederholt werden. Insbesondere können nach etwa 12 Jahren damit Veränderungen in der Anzahl der Untersuchungen, in der Verteilung der Untersuchungsmethoden und der Radiopharmaka ermittelt werden. So wird die Bedeutung der PET-Untersuchungen, der Untersuchungen mit TI-201 usw. wahrscheinlich neu bewertet werden müssen. Das BAG hat uns auch für die neue geplante Erhebung die Unterstützung zugesagt.

Literatur

- [1] International Commission on Radiological Protection. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals. ICRP Publication 53, Annals of the ICRP **18** (1987) und Addendum 1 zu ICRP Publication 53, Annals of the ICRP **22** (1991)
- [2] Roser H.W.; J. Roth: Erhebung zur Häufigkeit und Altersverteilung sowie der kollektiven Dosis in der Nuklearmedizin in der Schweiz. Strahlenexposition in der medizinischen Diagnostik. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 30, Stuttgart (1995), 301-316
- [3] Roser H.W.; Roth J.: Nuklearmedizinische Strahlenexposition in der Schweiz. Strahlenschutzpraxis **4** (1995) 36-40

- [4] UNSCEAR 2000 Report: Sources and effects of ionizing radiation. Volume I: Sources. Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. United Nations, New York (2000)