

Empfehlung von Kriterien für die Teilkörperdosimetrie in der Nuklearmedizin

Bundesamt für Strahlenschutz

Das BfS wurde vom BMUB gebeten, Kriterien für die Verpflichtung zur Teilkörperdosimetrie (TKD) in der Nuklearmedizin gemäß des aktuellen Stands von Wissenschaft und Technik zu erarbeiten und mit den von den Ländern verwendeten Kriterien wie den Maßgaben der SSK-Empfehlung Band 43 und der Weisung L-06-01 des Schweizer Bundesamtes für Gesundheit vom 1.6.2012 abzugleichen.

Das Hautexpositionspotential von verschiedenen Radionukliden in der Nuklearmedizin wurde auf der Grundlage von Dosisleistungsfaktoren $H'(0,07)$ für ein realitätsnahes Szenarium bewertet: den Kontakt mit der Radionuklidlösung in einer unabgeschirmten 5 ml-Spritze.

Die in der Nuklearmedizin in Frage kommenden Nuklide (siehe Spalte 1 der Tabelle) wurden entsprechend ihrer $H'(0,07)$ -Dosisleistungsfaktoren für dieses Szenario in drei Gruppen eingeteilt (siehe Spalte 4):

DL-Faktor > 10 mSv / (h* MBq)
DL-Faktor zwischen 1 und 10 mSv / (h* MBq)
DL-Faktor < 1 mSv / (h* MBq)

Auf Basis der DL-Faktoren und anhand der vorhandenen Messergebnisse an Arbeitsplätzen der Nuklearmedizin (ORAMED-Projekt, BfS-Erhebungsmessungen), siehe Spalten 5 und 6, wurde die Umgangsaktivität pro Jahr abgeschätzt, ab der der Wert für die Organdosis der Haut von 150 mSv erreicht werden kann, nach dem gemäß § 41 Absatz 3 Satz 4 StrlSchV ein Teilkörperdosimeter zu tragen ist, siehe Spalte 7. Die Einteilung unterscheidet zwischen drei Expositionsstufen: Bei den rot unterlegten Nukliden müsste bereits beim Umgang mit mehr als 1 GBq/a TKD angeordnet werden, bei den gelb unterlegten Nukliden wird ab 10 GBq/a und bei Radionukliden mit grüner Hintergrundfarbe wird ab 50 GBq/a der entsprechende Wert für die Anordnung von Teilkörperdosimetern erreicht.

Bei den Messwerten in den Spalten 5 und 6 handelt es sich i. Ü. um Mittel-/Medianwerte von Mitarbeitern in Kliniken/Praxen mit überdurchschnittlich gutem Strahlenschutz. Daher wurde bei den Richtwerten für die jährliche Umgangsaktivität ein Sicherheitsfaktor berücksichtigt.

Wie oben erwähnt, orientierte sich die Verpflichtung zur Teilkörperdosimetrie entweder an Schweizer Regelungen (Dosimetrie beim Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen, Weisung L-06-01) oder an DL-Faktoren aus der SSK-Empfehlung Band 43.)

Die Schweizer Regelung zum Tragen von Teilkörperdosimetern basiert auf sogenannten LA-Werten, siehe Spalte 8, den „Bewilligungsgrenzen“ für den täglichen Umgang gemäß Tabelle 1 Spalte 10 Anlage 3 der StSV/CH. Sie beinhalten vor allem das Risiko bei Inkorporation der Radionuklide und berücksichtigen nicht das unterschiedliche Risiko von Hautexpositionen durch einzelne Nuklide. So kommen bei Nukliden mit annähernd gleichem Potential für Hautexpositionen Unterschiede von mehreren Größenordnungen bei den Richtwerten (200 LA) zustande, siehe Spalte 9.

Nuklid	$E_{\beta, \max}$	H'(0,07)-Dosisleistungsfaktor		Umgangsaktivität($\Sigma A/a$) ab der Kriterium für TKD erreicht wird ($H_p(0,07) > 150 \text{ mSv}$)			Schweizer System	
		Punktquelle ¹⁾ d = 10 cm	5ml-Spritze ²⁾ d = 0 cm	Messungen ³⁾		Richt- wert	LA	> 200*LA
				Oramed	BfS		Bewillig- ungsgrenze	Kriterium für TKD
		[MeV]	[mSv/(h*MBq)]		[GBq/a]			[Bq/a]
Ru/Rh-106	3,54	0,96	78			1	k.A.	
Sr/Y-90	2,28	1,07	44 (300) ^{4b)}	14	5 - 25 ⁵⁾		3,0E+06	0,6
Te-132	2,14	0,66	16				2,0E+06	0,4
I-124	2,14	0,27	11				8,0E+05	0,2
Re-188	2,12	1,33	29				7,0E+06	1,4
Ga-68	1,90	1,00	31				6,0E+07	12,0
P-32	1,71	1,17	24				2,0E+06	0,4
Sr-89	1,49	1,22	16				9,0E+05	0,2
Bi-213	1,43	1,36	≈ 10 ⁹⁾				1,0E+05	0,02
Ra-223	1,42 ⁶⁾	0,61	≈ 20 ⁹⁾ (20) ^{4a)}				9,0E+02	0,0002
Ra-224	2,25 ⁶⁾	0,03	≈ 25 ⁹⁾				2,0E+03	0,0004
Re-186	1,10	1,52	0,4 (30) ^{4b)}				4,0E+06	0,8
Mo-99 ⁷⁾	1,21	1,35	7,4				10	5,0E+06
C-11	0,96	1,48	6,4			7,0E+07		14,0
Au-198	0,96	1,46	3,6			5,0E+06		1,0
F-18	0,63	1,68	2,9	124	33	5,0E+07		10,0
I-131 ⁸⁾	0,61	1,41	1,1			5,0E+05		0,1
Fe-59	0,47	1,12	2,7			2,0E+06		0,4
Co-58	0,48	0,30	2,5			3,0E+06		0,6
In-111	$E_\gamma=0,25$	0,42	1,2			2,0E+07		4,0
Se-75	$E_\gamma=0,40$	0,08	1,1			3,0E+06		0,6
Rb-81	1,02	1,32	$\approx 0,9$ ⁹⁾			50	7,0E+07	14,0
Rb-82m	0,86	0,40	$\approx 0,5$ ⁹⁾				2,0E+07	4,0
Sm-153	0,81	1,45	0,2		500		7,0E+06	1,4
Lu-177	0,49	1,28	$\approx 0,5$ ⁹⁾				5,0E+06	1,0
Er-169	0,35	1,03	\ll ¹⁰⁾ (0,04) ^{4b)}				5,0E+06	1,0
Xe-133	0,35	1,02	\ll ¹⁰⁾				2,0E+09	400,0
C-14	0,16	0,15	\ll ¹⁰⁾				9,0E+06	1,8
Sn-113	$E_\gamma=0,39$	0,04	$\approx 0,1$ ⁹⁾				3,0E+06	0,6
Cr-51	$E_\gamma=0,32$	0,003	0,09				1,0E+08	20,0
Ga-67	$E_\gamma=0,30$	0,03	0,4				2,0E+07	4,0
I-123	$E_\gamma=0,16$	0,41	0,6				5,0E+07	10,0
Tc-99m ⁷⁾	$E_\gamma=0,14$	0,26	0,4	350			2,0E+08	40,0
Co-57	$E_\gamma=0,12$	0,11	0,3				8,0E+06	1,6
Tl-201	$E_\gamma=0,07$	0,15	0,3				7,0E+07	14,0
I-125	$E_\gamma=0,03$	0,36	0,6				7,0E+07	14,0

Die Dosisleistungsfaktoren für Punktquellen in der o.a. Tabelle (die denen in SSK-Band 43, Abb 5.1. entsprechen) sind in geringen Abständen (<1m) praktisch unabhängig vom Nuklid bzw. von der Beta-Energie. Sie berücksichtigen daher nicht das unterschiedliche Potential der Nuklide für Hautexpositionen unter realistischen Bedingungen. Unter praktischen Expositionsbedingungen (Nuklidlösungen in Vials, Spritzen o.ä.) führen bereits Selbstabschirmung und Abschirmwirkung der Gefäßwandungen zu deutlichen, nuklidspezifischen Unterschieden. Hochenergetische Beta-Strahler ($E_{\beta, \max} > 1 \text{ MeV}$) durchdringen die üblichen Wanddicken von Vials, Spritzen und Schläuchen und können daher (bei direktem Hautkontakt und ohne zusätzliche Abschirmung) in relativ kurzer Zeit signifikante Hautdosen verursachen, während Nuklide niedriger Beta-Energie (Er-169, Lu-177) bereits durch Selbstabsorption, durch die Gefäße und durch Schutzhandschuhe stark geschwächt werden.

Wird mit Nukliden aus unterschiedlichen Gruppen (siehe oben) umgegangen, ist bereits bei Erfüllung folgender Bedingung (Summenformel) eine Ermittlung der Teilkörperdosis erforderlich, auch wenn jeder einzelne Richtwert der jährlichen Umgangsaktivität nicht überschritten wird:

$$\sum_i \frac{A_{gr,i}}{50} + \sum_i \frac{A_{ge,i}}{10} + \sum_i \frac{A_{rt,i}}{1} \geq 1 \text{ GBq/a}$$

Dabei sind $A_{gr,i}$, $A_{ge,i}$ und $A_{rt,i}$ die jährlichen Umgangsaktivitäten ($\Sigma A/a$ in GBq/a) des i-ten Nuklids der drei Nuklidgruppen (grün, gelb und rot).

- 1) Dosisleistung in 10 cm Abstand von einer Punktquelle (MC-Rechnungen, Petoussi et al., GSF-Bericht 7/93)
- 2) Dosisleistung bei Kontakt mit 5 ml Radionuklid-Lösung in Plastikspritze ohne Abschirmung (Delacroix et.al. Radiat Prot Dosim **98**(2002))
- 3) abgeleitet aus Mittel-/Medianwert gemessener maximaler lokaler Hautdosen der am höchsten exponierten Mitarbeitergruppe (meist MTRA oder Radiochemiker beim Aufziehen der Spritze bzw. der Präparation des Radiopharmakons); Beispiel: ORAMED, Y-90/Zevalin, Mittelwert der Hautdosis bei der Präparation : $11 \text{ mSv} \cdot \text{GBq}^{-1} \Rightarrow 150 \text{ mSv} \cdot \text{a}^{-1} / (11 \text{ mSv} \cdot \text{GBq}^{-1}) = 14 \text{ GBq} \cdot \text{a}^{-1}$
- 4) In Klammern BfS-Messwerte
 - 4a) Messung an einer 5 ml-Spritze
 - 4b) Messung an einer 1 ml-Spritze; RSO-Nuklide (Re-186, Er-169 und Y-90) werden nur in 1 ml-Spritzen appliziert, d.h. geringere Selbstabsorption und höherer Dosisleistungsfaktor als für 5 ml-Spritze.
- 5) $5 \text{ GBq} \cdot \text{a}^{-1}$ bei RSO, $25 \text{ GBq} \cdot \text{a}^{-1}$ bei Radioimmuntherapie (RIT)/ Peptidradiorezeptortherapie (PRRT), abgeschätzt aus Mittel-/Medianwerten der gemessenen aktivitätsnormierten maximalen lokalen Hautdosis
- 6) Beta-Energie der Tochternuklide
- 7) Bei Verwendung von Mo-99/Tc-99m Generatoren ist die Umgangsaktivität von Tc-99m maßgeblich
- 8) als offenes Radionuklid (z.B. bei Nebennierenmark-Szintigrafie (MIBG)); bei Therapie mit Jodkapseln sind signifikante Teilkörperexpositionen auszuschließen
- 9) Nuklid ist in Delacroix et al. nicht angegeben, Werte geschätzt aus Angaben für Nuklide mit ähnlicher $E_{\beta, \max}$
- 10) nur geringe Dosisleistung durch Bremsstrahlung