

Merkblatt zum Strahlenschutz bei der Radiosynoviorthese (RSO)



Einführung

Die Radiosynoviorthese (RSO) ist ein Verfahren der Nuklearmedizin zur Behandlung chronisch entzündlicher Gelenkerkrankungen durch Injektion Beta-strahlender **Nuklide** in die betroffenen Gelenke. Geeignet sind die Nuklide Yttrium-90 (Y-90), Rhenium-186 (Re-186) und Erbium-169 (Er-169)¹, die in Form von Kolloiden appliziert werden. Die Energie des Betastrahlers bestimmt die Reichweite in Gewebe und damit ihre Eignung für die Behandlung eines Gelenkes in Abhängigkeit von dessen Größe. Tab. 1 enthält einige physikalische Größen der genannten Nuklide.

Betastrahlung lässt sich durch Materialien niedriger Massenzahl, z. B. durch Kunststoffe wie Acrylglas (PMMA), gut abschirmen. Es gilt die **Faustformel**: Die maximale Reichweite der Betateilchen, d.h. die zur völligen **Abschirmung** nötige Kunststoffdicke in cm, entspricht etwa der Hälfte der Maximalenergie eines Nuklids in MeV.

In Luft ist die Reichweite dagegen um etwa drei Zehnerpotenzen größer, was in der Praxis häufig nicht beachtet wird. Als **Faustformel** gilt hier, dass die maximale **Reichweite in Luft**, angegeben in m, rund das Vierfache der Maximalenergie in MeV beträgt. Für Y-90 entspricht das einer Entfernung von ca. 9 m.

Messgrößen für Betastrahlung und niederenergetische Photonenstrahlung (<15 keV) sind die *Oberflächen-Personendosis* $H_P(0,07)$ bzw. die *Richtungs-Äquivalentdosis* $H'(0,07, \Omega)$ in der Ortsdosimetrie [1]. Bei Teilkörperexpositionen der Extremitäten ist $H_P(0,07)$ ein geeigneter Schätzwert für die Hautdosis.

Tabelle 1: Eigenschaften der zur RSO verwendeten Radionuklide (nach [2, 3])

Radio-nuklid	HWZ (h)	Max./mittl. Energie (MeV)	Max./mittl. Reichweite in Gewebe ¹⁾ (mm)	Teilkörper-Dosisleistung für 1 MBq (µSv/s)	Haut-Dosisleistung bei Kontamination (µSv/s)	
				Punktquelle in 30 cm	Gleichmäßige Verteilung (1 kBq/cm ²)	Tropfen von 0,05 ml (1 kBq)
Y-90	64	2,28/0,93	11/3,6	0,030	0,56	0,38
Re-186	91	1,07/0,38	3,7/1,2	0,033	0,50	0,25
Er-169	226	0,34/0,10	1,0/0,3	0,003	0,31	0,08

1) gilt annähernd auch für viele Kunststoffe mit einer Dichte von ca. 1g/cm³ (PMMA, PVC, PE, PP)

Sachstand

Charakteristisch für die RSO ist, dass die Radionuklide mit relativ hoher Aktivität appliziert werden, die vom zu behandelnden Gelenk abhängt und bis etwa 300 MBq für die Therapie eines Kniegelenkes mit Y-90 beträgt. Bei der Präparation und Applikation der Spritzen können durch Berühren der aktivitätsführenden Kanülen bzw. Spritzen oder infolge von Expositionen durch Betastrahlung in geringen Abständen hohe lokale

¹ Die Radionuklide Er-169 und Re-186 emittieren auch Gammastrahlung, deren Intensität jedoch für die Strahlenexposition vernachlässigbar ist.

Hautdosen auftreten. Betroffen sind insbesondere die Fingerspitzen, vor allem von Daumen und Zeigefinger.

Abb. 1 zeigt **Messwerte der Dosisleistung** $H'(0,07)$ an der Oberfläche sowie in verschiedenen Abständen vom Kanülenansatz einer mit 185 MBq Y-90 gefüllten 1 ml-Spritze. (Zum Vergleich sind auch Werte angegeben, die ohne einen **Spritzenprotector** aus Acrylglas (max. Wanddicke 6 mm) gemessen wurden) Die Resultate unterstreichen einerseits die Unverzichtbarkeit der Verwendung von Spritzenprotectoren. Aber auch bei deren Benutzung können erhebliche Teilkörperdosen auftreten. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn die Spritze während der Applikation am Kanülenansatz mit den Fingern festgehalten wird, wo der Protector keine Abschirmung bietet. An dieser Stelle wurden Dosisleistungen bis zu 9 mSv/s gemessen.

Zusätzlich können, bedingt durch die hohe spezifische Aktivität, schon winzige, unsichtbare Spritzer erhebliche Kontaminationen und entsprechend hohe lokale Hautdosen hervorrufen. Kontaminationen durch Betastrahler verursachen im allgemeinen eine um ein Vielfaches höhere Hautdosis als Gammastrahler gleicher Flächenaktivität.

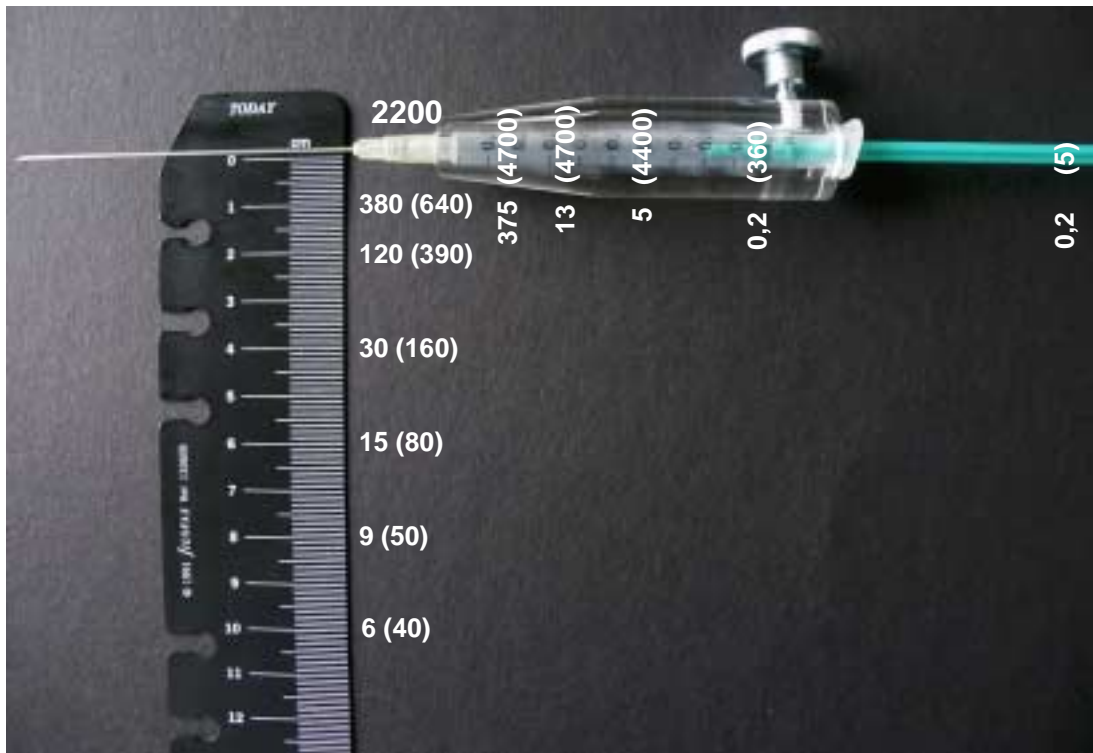


Abbildung 1: Dosisleistung an der Oberfläche und in verschiedenen Abständen vom Kanülenansatz einer 1 ml Spritze mit 185 MBq Y-90, Werte in $\mu\text{Sv/s}$, in Klammern: ohne Spritzenprotector

Anmerkung: Die Messungen erfolgten an einer liegenden Spritze. Beim Entleeren wurden am Kanülenansatz bis zu 9000 $\mu\text{Sv/s}$ gemessen.

Untersuchungsergebnisse an Arbeitsplätzen

Vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) wurden Untersuchungen an Arbeitsplätzen bei der RSO in 7 medizinischen Einrichtungen bei ca. 300 Behandlungen durchgeführt, um realistische Werte für die maximale Beta-Teilkörperdosis des Personals zu ermitteln. Aufgrund der Besonderheiten beim Umgang mit offenen Beta-Radionukliden, insbesondere wegen der inhomogenen Strahlungsfelder, lässt sich die Strahlenexposition nur schwer mit der erwünschten Genauigkeit bestimmen. Mit hochempfindlichen

Dünnschicht-Thermolumineszenz Detektoren (TLD), befestigt an den Innen- und Außenseiten der Fingerkuppen bzw. am Zeigefingergrundgelenk, wurde die lokale Hautdosis gemessen. Zusätzlich wurden in einzelnen Fällen die durch Kontaminationen verursachten Hautbelastungen bestimmt.

Nuklidspezifische Messungen in einigen Einrichtungen bestätigten die Erwartung, dass die RSO von Kniegelenken mit Y-90 aufgrund der erforderlichen relativ hohen Aktivität und der verhältnismäßig großen Patientenzahl den überwiegenden Beitrag zur Strahlenexposition des Personals durch Direktstrahlung liefert. In den meisten Kliniken und Praxen tragen Therapien mit Re-186 in deutlich geringerem Maße zur Dosis bei, da sowohl die Zahl der Patienten als auch die verwendeten Aktivitäten geringer sind. Beim Umgang mit Er-169 wird die Direktstrahlung aufgrund der niedrigeren Energie dieses Nuklids bereits durch die Spritze und die Handschuhe stark abgeschirmt, sodass nur geringe Hautdosen durch Direktstrahlung auftreten. Kommt es jedoch zu Kontaminationen der Haut, tragen alle drei Nuklide in vergleichbarem Maße zur Hautbelastung bei (Tab. 1, Spalten 6 und 7).

Aus Tab. 2 ist ersichtlich, dass sowohl bei der Vorbereitung als auch bei der Applikation lokale Hautdosen an den Fingerspitzen von mehr als 100 mSv pro Therapietag ermittelt wurden. Bei diesen Tätigkeiten werden bei Rechtshändern im allgemeinen Zeigefinger, Daumen und Mittelfinger der linken Hand am höchsten belastet, insbesondere beim Fixieren der Rollrandflasche mit der Stammlösung und beim Trennen der Kanüle von der gefüllten Spritze bzw. beim Halten des Spritzenansatzes während der Applikation. Die Dosen an der rechten Hand waren oft eine Größenordnung geringer. Bei der Assistenz waren die Dosen an beiden Händen vergleichbar.

Tabelle 2: Maximale lokale Hautdosis pro Tag an den Fingerspitzen durch Beta-Direktstrahlung

Messzyklus	Applizierte Y-90 Aktivität in MBq	Maximale Dosis $H_p(0,07)$ in mSv/Therapietag		
		Vorbereitung	Applikation	Assistenz
A-1	1675	100	130	10
A-2	1110	n.g.	1*	n.g.
B-1	2035	110	27	n.g.
C-1	555	14	41	n.g.
F-1	460	7	62	9
F-2	2005	8	1*	36
H-1	888	55	207	k.A.
I-1	1332	8	31 (Arzt 1)	k.A.
I-1	2442		84 (Arzt 2)	k.A.
I-2	1554	6	1* (Arzt 1)	k.A.
I-2	1332		1* (Arzt 2)	k.A.

* Verwendung einer Zange zum Festhalten des Kanülenschaftes

n.g. nicht gemessen, k.A. keine Assistenz

Durch die Verwendung von Zangen zur Fixierung des Spritzenansatzes während der Applikation konnte die Exposition drastisch verringert werden. So nahm z. B. in der Praxis F die lokale Hautdosis durch das Halten des Kanülenschaftes beim Spritzen mit einer

Zange von 62 mSv (F-1) auf 1 mSv (F-2), d.h. um 98 % ab, obwohl an diesem Tag fünfmal soviel Kniepatienten behandelt wurden.

Bedingt durch die hohe spezifische Aktivität pro Spritze bis zu ca. 300 MBq in 1 ml Volumen und die Besonderheiten des Umgangs traten in allen drei Arbeitsbereichen beträchtliche Kontaminationen auf. Gemessen wurden bis zu 160 kBq auf der Handfläche (Assistenz), woraus sich unter praxistypischen Annahmen Handbelastungen in der Größenordnung von 100 mSv, also etwa 20 % des Jahresgrenzwertes von 500 mSv, ergeben können.

Außerdem wurde festgestellt, dass die verwendeten Latexhandschuhe gegenüber den Radionuklidlösungen keinen zuverlässigen Kontaminationsschutz der Haut gewährleisten.

In einigen Kliniken wurden amtliche Fingerringdosimeter getragen. Diese Dosimeter waren jedoch nur für die Messung der Teilkörper-Personendosis durch Photonen geeignet und zugelassen. Sie zeigen nur für Betastrahlung mit einer mittleren Energie von mehr als etwa 1 MeV ein ausreichendes Ansprechvermögen. Infolgedessen lagen die mit diesen Dosimetern festgestellten Jahresdosen für die Teilkörperexposition der Haut in der gleichen Größenordnung wie die vom BfS an einem Tag gemessenen Werte.

Die Unkenntnis darüber, dass bei der Auswertung der bisher verfügbaren Photonen-Fingerringdosimeter die Betastrahlung nicht bzw. unzureichend erfasst wird, führt zu erheblichen Unterbewertungen der tatsächlichen Dosis und begünstigt vielerorts die Verharmlosung der Exposition durch Betastrahler.

Maßnahmen zur Verringerung der Strahlenexposition

Eine nahezu vollständige **Abschirmung** der Betastrahlung ist für die verwendeten Nuklide mit Acrylglas von mindestens 5 mm Dicke möglich. Die mit aktiven Lösungen gefüllten Vorratsfläschchen sind ständig, auch während des Aufziehens der Spritzen in den dafür vorgesehenen Abschirmbehältern zu belassen (Abb. 2). Bereits beim Aufziehen der Spritzen mit Y-90- oder Re-186-Lösungen sind handelsübliche **Spritzenprotektoren** (maximale Wanddicke 6 mm) zu verwenden. Dabei ist die Befestigungsschraube des Protektors nur soweit anzuziehen, dass die Bewegung des Stempels nicht behindert wird. Die Protektoren sind erst nach der Applikation von der Spritze zu entfernen. Eine ausreichende Anzahl von Spritzenprotektoren ist daher in der Einrichtung vorzuhalten.



Abbildung 2: Abschirmbehälter, Spritzenprotektor und Aufbewahrungsbox aus Acrylglas

Die gefüllten Spritzen sind bis zur Applikation in geeigneten Abschirmbehältern wie z. B. Acrylglasboxen (Abb. 2) oder Behältnisse, die in der Nuklearmedizin für aktive Spritzen gebräuchlich sind, aufzubewahren.

Hohe Dosen an den Fingern können vermieden werden, wenn der Kanülenschaft während der Applikation mit einer Zange oder einem anderen geeigneten **abstandsvergrößernden Hilfsmittel** gehalten wird (Abb. 3). Damit ist eine Reduzierung der Hautdosis um 2 Größenordnungen möglich (Tab. 3). Eine zu starke mechanische Belastung des Kanülenschafts (Quetschung) ist jedoch zu vermeiden, da sie zu Kontaminationen führen kann.

Auch bei der Vorbereitung der Spritzen kann durch Verwenden einer langen Pinzette oder Zange beim Trennen der gefüllten Spritze von der Kanüle die Betaexposition deutlich verringert werden.

Die Dosis an den Fingerspitzen bei der Applikation lässt sich auch dadurch senken, dass die den Kanülenschaft haltenden Finger zusätzlich abgeschirmt werden. An der kommerziellen Bereitstellung entsprechender Hilfsmittel wird gearbeitet.

Zum besseren **Schutz der Haut vor Kontaminationen** durch die in der RSO verwendeten Radionuklidlösungen sind **Nitril- oder Vinylhandschuhe mit hohem Schutzfaktor** zu benutzen.

Tabelle 3: Maximale spezifische Dosis in μSv pro MBq Y-90 ohne und mit Verwendung einer Zange zum Festhalten der Kanüle bei der Applikation

Institution	Halten der Kanüle zwischen Daumen und Zeigefinger	Halten der Kanüle mit Zange	Dosisverringerng auf (%)
A	79	0,9	1,1
F	135	0,5	0,4
I-1	33	0,8	2,4
I-2	21	0,5	2,4

Da im Allgemeinen bei allen Gelenken mit Ausnahme des Knies Röntgendurchleuchtungen zur Sichtkontrolle durchgeführt werden, können zusätzlich hohe Dosen durch Röntgenstrahlung an den Händen des behandelnden Arztes auftreten, wenn sich diese während der Durchleuchtung im Nutzstrahlenfeld befinden. Zur Reduzierung der Exposition durch Röntgenstrahlung ist eine optimale **Einblendung** wichtig.

Außerdem lässt sich die Röntgen-Exposition bei der RSO von Fingergelenken dadurch verringern, dass zur Dehnung der Fingergelenke während der Punktion geeignete **Zangen** (Abb. 4) oder andere **Hilfsmittel** (Schlingen) benutzt werden. Ferner ist darauf zu achten, dass bei der Durchleuchtung mittlerer und größerer Gelenke eine **Untertisch-Röhrenanordnung** verwendet wird.



Abbildung 3: Halten mit Zange als abstandsvergrößerndes Hilfsmittel



Abbildung 4: Dehnung der Fingergelenke mit Spezialzange

Überwachungsmaßnahmen

Beim Verlassen eines Kontrollbereiches, in dem mit offenen radioaktiven Stoffen umgegangen wird, sind Personen und bewegliche Gegenstände grundsätzlich auf **Kontamination** zu prüfen (§ 44 der Strahlenschutzverordnung – StrlSchV). Entsprechende **Freigabemessungen** sind vor jedem Verlassen des Vorbereitungs- und Behandlungsraumes durchzuführen. Dabei sind vor allem die Hände, Arbeitsflächen und Türklinken zu prüfen. Detaillierte Empfehlungen zur Durchführung der Kontaminationskontrolle werden in [4] gegeben.

Zur Kontrolle der Einhaltung des Grenzwertes für die Teilkörperdosis sind **geeignete Personendosimeter** zu tragen. Die Verwendung von Photonen-Teilkörperdosimetern führt zu erheblichen Unterbewertungen der tatsächlichen Dosis. In den bei der RSO auftretenden Mischstrahlungsfeldern sind **Photonen-Beta-Fingerringdosimeter** einzusetzen. Solche Dosimeter können bei den zuständigen amtlichen Personendosismessstellen angefordert werden. Die ermittelten Monatsdosen sollten zur Einschätzung des Arbeitsverhaltens und von Strahlenschutzmaßnahmen ausgewertet werden.

Der **Trageort des Dosimeters** hängt von den Expositionsbedingungen ab und ist entsprechend dem individuellen Arbeitsverhalten festzulegen. Das Dosimeter ist möglichst an einem der Finger bzw. Fingerglieder zu befestigen, die den geringsten Abstand zur Quelle haben. Bei der Injektion der Radionuklide ist in der Regel das erste oder zweite Glied des Daumens oder des Zeigefingers der die Kanüle haltenden Hand ein geeigneter Trageort. Das Fingerringdosimeter sollte nicht am Grundgelenk des entsprechenden Fingers, erst recht nicht am Grundgelenk des Ringfingers befestigt werden.

Der empfindliche Teil des Dosimeters (Detektor) muss zudem immer auf der der Strahlenquelle zugewandten Seite getragen werden. Ist eine **Vorzugsrichtung** nicht festzulegen, sind zwei nebeneinander aufgesteckte Fingerringdosimeter mit entgegengesetzter Ausrichtung ggf. auch an verschiedenen Trageorten zu tragen. Der höchste Messwert dient dann zur Dosisbestimmung.

Literatur

- [1] DIN 6814-3, Jan. 2000, *Begriffe in der radiologischen Technik, Teil 3: Dosisgrößen und Dosisseinheiten*
- [2] *Leitlinie für die Radiosynoviorthese*, Nuklearmedizin 38. Jg. Heft 6a/99; S. 244 f
- [3] *Radionuclide and Radiation Protection Data Handbook*, Rad. Prot. Dosimetry **98**, No.1 (2002)
- [4] Bekanntmachung einer Empfehlung der Strahlenschutzkommission (*Anforderungen an die Kontaminationskontrolle beim Verlassen eines Kontrollbereichs [§ 44 der Strahlenschutzverordnung]*) vom 5. Juni 2002, BAnz. Nr.143a vom 3.8.2002

Als Ansprechpartner beim BfS stehen Ihnen zur Verfügung:
Frau Barth, Tel.: 01 888 333 4511, Fax: 01 888 333 4515, e-mail: lBarth@bfs.de
Herr Rimpler Tel.: 01 888 333 4516, Fax: 01 888 333 4515, e-mail: ARimpler @bfs.de