



Strahlenschutzkommission

Geschäftsstelle der
Strahlenschutzkommission
Postfach 12 06 29
D-53048 Bonn

<http://www.ssk.de>

**Radionuklidtherapie mittels selektiver intraarterieller
Radiotherapie (SIRT) und intravasale Bestrahlung mit
offenen Radionukliden**

Empfehlung der Strahlenschutzkommission

INHALT

1	Einleitung und Fragestellung	3
2	Selektive intraarterielle Radiotherapie (SIRT) – Indikation und Beschreibung des Verfahrens	4
2.1	Empfehlungen zur Vorbereitung und Durchführung der Therapie.....	5
2.1.1	Baulicher und organisatorischer Strahlenschutz.....	7
2.1.2	Schutz des Patienten.....	8
2.1.3	Schutz des Personals.....	8
3	Intravasale Bestrahlung mit offenen radioaktiven Stoffen zur Restenoseprophylaxe nach PTA und PTCA – Beschreibung des Verfahrens	9
3.1	Empfehlungen zur Vorbereitung und Durchführung der Therapie.....	10
3.1.1	Baulicher und organisatorischer Strahlenschutz.....	10
3.1.2	Schutz des Patienten.....	11
3.1.3	Schutz des Personals.....	11
4	Spezielle Anforderungen	12
4.1	SIRT	12
4.2	Intravasale Bestrahlung.....	13
ANHANG 1	14
ANHANG 2	16

1 Einleitung und Fragestellung

Die Strahlentherapie mit offenen Radionukliden – in aller Regel Beta-Strahlern – ist seit über fünfzig Jahren in der Medizin etabliert. Idealerweise reichern sich radioaktive Substanzen (Radiopharmazeutika) nach intravenöser Injektion spezifisch im Krankheitsherd an. Für eine solche Therapie ist neben dem strahlenbiologischen und dem Strahlenschutzwissen eine profunde Kenntnis der physiologischen und pathophysiologischen Abläufe erforderlich. Eine individuelle Dosimetrie ist meist möglich und sinnvoll. Ein Medizinphysik-Experte ist erforderlich. Spezielle Techniken für die Applikation sind dagegen nicht erforderlich.

Bereits in den 1950er Jahren hat sich auch die Therapie mit offenen Radionukliden etabliert, die in präformierte Körperhöhlen injiziert werden. Die heute am häufigsten angewendete Therapieform dieser Art ist die Radiosynoviorthese (SSK-Empfehlung „Strahlenschutz bei der Therapie mit Beta-Strahlern in flüssiger Form im Rahmen einer Brachytherapie, Radiosynoviorthese und einer Radioimmuntherapie“, verabschiedet in der 184. Sitzung am 31.3./1.4.2003, BAnz. Nr. 218 vom 21.11.2003). Dabei werden offene radioaktive Stoffe zur Behandlung chronisch entzündlicher Erkrankungen in den Gelenkspalt appliziert. Es wird mit vergleichsweise geringen Aktivitäten (in der Regel unterhalb von 200 MBq) umgegangen – insbesondere wenn die Applikation unter Röntgenkontrolle, dann meist außerhalb des ständigen Kontrollbereichs nach Strahlenschutzverordnung (StrlSchV), erfolgt.

Bei der intraperitonealen oder intrapleuralen Applikation wird mit erheblich höheren Aktivitäten (typisch 2 bis 4 GBq Yttrium-90 [^{90}Y]) umgegangen als bei der Radiosynoviorthese. Grundsätzlich erfolgt die Applikation im Kontrollbereich einer nuklearmedizinischen Therapiestation. Eine signifikante Kontamination von Verbandsmaterial ist möglich, und ein – kleiner, variabler – Teil der applizierten Aktivität kann resorbiert und ausgeschieden werden, so dass diese Therapien standardmäßig in nuklearmedizinischen Therapiestationen durchgeführt werden. Die im o. g. Absatz genannten Therapien erfordern wenig apparative Unterstützung. Eine individuelle Dosimetrie ist nicht möglich und auch nicht erforderlich. Daher können diese Therapien als so genannte Standardtherapien durchgeführt werden. Ein Medizinphysik-Experte ist dabei lediglich beratend notwendig.

Im Gegensatz dazu sind die in dieser Empfehlung behandelten beiden Therapieformen, nämlich die Radionuklidtherapie mittels selektiver intraarterieller Radiotherapie (SIRT) und die intravasale Bestrahlung mit offenen Radionukliden, nicht zuletzt aus Strahlenschutzaspekten, anders zu betrachten:

Es wird mit hohen Aktivitäten und insbesondere auch hohen Aktivitätskonzentrationen gearbeitet. Die Applikation erfolgt grundsätzlich im Angiographieraum und damit in aller Regel außerhalb des ständigen Kontrollbereichs nach StrlSchV. Die Therapie erfolgt als individuelle Therapie, erfordert somit eine dosimetrische Planung und damit die unmittelbare Mitwirkung eines diesbezüglich kompetenten Medizinphysik-Experten. Ärztlicherseits erfordert die Durchführung der Therapie – von den seltenen Fällen einer doppelten Fachkunde abgesehen – die Zusammenarbeit eines Fachkundigen nach Röntgen-Verordnung (RöV) und eines Fachkundigen nach StrlSchV. Der Therapieerfolg wird entscheidend von der Zusammenarbeit der beteiligten Personen bestimmt. Ziel dieses Papiers ist es, die Schnittstellen aufzuzeigen, die Verantwortlichkeiten darzustellen und auf die notwendigen Strahlenschutzmaßnahmen hinzuweisen.

2 Selektive intraarterielle Radiotherapie (SIRT) – Indikation und Beschreibung des Verfahrens

Die selektive intraarterielle Radiotherapie (SIRT) wird in erster Linie eingesetzt, um primäre oder sekundäre Leberneubildungen zu behandeln. Dafür sind – aufgrund der CE-Zertifizierung – verkehrsfähige Medizinprodukte kommerziell erhältlich oder können in Eigenproduktion hergestellt werden. Bei der Behandlung werden über einen arteriellen Katheter radioaktive Partikel (Mikrosphären) injiziert, die dann in den Kapillaren des nachgeschalteten Gefäßgebiets deponiert werden und dort die unmittelbare Umgebung bestrahlen. Derzeit werden ausschließlich β -Strahler (^{90}Y mit einer HWZ von 2,67 Tagen, ^{186}Re mit einer HWZ von 3,8 Tagen) mit einer mittleren Reichweite von ca. 3 mm im Gewebe verwendet.

Die Applikation erfolgt in der Regel in eine der Leberarterien oder deren Äste, wobei die jeweiligen Katheterpositionen für den Applikationsort vom Gefäßsystem und der Gefäßversorgung der befallenen Leberanteile abhängig zu machen sind. Bei korrekter Lage des Katheters ist die Verteilung der Partikel und konsekutiv die der Strahlendosis unmittelbar proportional zur arteriellen Durchblutung des abhängigen Gewebes. Daher wird in gut perfundierten Tumoren eine erheblich höhere Strahlendosis als in der gesunden Leber erzielt. Neben den bekannten Tumoren können weitere (Mikro)-Tumorzellen vorhanden sein, die sich dem (nicht-invasiven) Nachweis noch entziehen. Diese werden dann ebenfalls proportional zur regionalen Verteilung der Mikrosphären, die vom Blutfluss abhängt, mitbestrahlt. Im Allgemeinen führt der Verzicht auf die gezielte Applikation der Mikrosphären in eine tumorversorgende Arterie – die ohnehin nur bei singulären Tumoren in Erwägung gezogen werden könnte – somit zu verschiedenen Vorteilen. Die technische Durchführung wird erleichtert und oftmals überhaupt ermöglicht. Die intratumorale Dosisverteilung wird besser vorhersagbar, und applikationsbedingte Inhomogenitäten werden vermieden. Darüber hinaus werden alle Neoplasien in der Leber bzw. dem Leberlappen ihrer Durchblutung entsprechend gleichzeitig behandelt.

Nachdem die grundsätzliche Indikation zur Therapie gestellt wurde, ist eine digitale Subtraktionsangiographie zur Therapieplanung erforderlich. Dabei können bereits Gefäße, die potentiell eine Gefahr eines extrahepatischen Abstroms der Therapiesubstanz beinhalten (z. B. A. gastroduodenalis, A. gastrica dextra, A. cystica etc.) verschlossen werden. Die Entscheidung, welche Gefäße konkret zu verschließen sind, zu welchem Zeitpunkt sie verschlossen werden sollten sowie die eigentliche hochselektive Sondierung und Embolisation dieser hepatofugalen Gefäße ist eine komplexe Aufgabe, die eine besondere Expertise in endovaskulärer interventioneller Radiologie zwingend voraussetzt.

Danach erfolgt eine Testapplikation eines diagnostischen Präparates (z. B. $^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}^1$), um die regionalen Durchblutungsverhältnisse zu überprüfen, extrahepatische Anreicherungen zu detektieren und das hepatopulmonale Shuntvolumen zu quantifizieren. Da die $^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$ -Untersuchung die spätere Therapie simulieren soll, muss die Lage des Katheters für die $^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$ -Applikation in Absprache zwischen fachkundigem Arzt nach StrlSchV und fachkundigem Arzt nach RöV festgelegt werden. Durch intrahepatische Shunts, insbesondere intratumorale Shunts, gelangt ein Teil der Aktivität ins venöse System und wird letztlich in der Lunge fixiert. Hier kommt es dann zu einer weitgehend homogenen Bestrahlung der

¹ Technetium-99m-markierte denaturierte Humanalbumin-Partikel

gesamten Lunge. Die Lungendosis kann und muss vor der Therapie abgeschätzt werden und kann die applizierbare Aktivität limitieren. Ferner muss eine extrahepatische intraabdominelle Aktivitätsfixation ausgeschlossen bzw. ihre klinische Relevanz eingeschätzt werden. Bezüglich des Verschlusses der o. g. Gefäße muss bedacht werden, dass sich mit der Zeit Kollateralen ausbilden können. Nach sorgfältiger Abwägung der Gefahren sollte die Therapie zeitnah erfolgen. Insbesondere sollte die Änderung der Katheterlage erwogen werden, was zu einer erneuten ^{99m}Tc -MAA-Untersuchung führen könnte.

Vor der Therapie ist eine Therapieplanung erforderlich, in der die Indikationsstellung unter Berücksichtigung der Fachkompetenz der an der Durchführung der Therapie beteiligten Fachkundigen erfolgt und das Therapiekonzept festgelegt wird. Nicht zuletzt wegen der Anwendung therapeutischer Strahlendosen muss sichergestellt sein, dass außerhalb der Leber kein Tumor nachweisbar ist, bzw. dass die Tumoren in der Leber für den weiteren Krankheitsverlauf entscheidend sind. Daher ist eine umfassende Vordiagnostik unter Berücksichtigung moderner Entwicklungen zu fordern.

Während der fachkundige Arzt nach StrlSchV (in der Regel der Nuklearmediziner) für die Therapieplanung und gemeinsam mit dem Medizinphysik-Experten für die dosimetrischen Aspekte verantwortlich ist, muss der fachkundige Arzt nach RöV (in der Regel der Radiologe) einen wichtigen Teil der technischen Durchführung im Rahmen seiner Fachkunde verantworten. Es ist notwendig, dass ein schriftlicher Standard-Ablaufplan im Rahmen einer Arbeitsanweisung erstellt wird, in der auch die jeweiligen Zuständigkeiten der Beteiligten festgehalten werden. Eine optimale Therapiesicherheit erfordert, dass die Beteiligten prätherapeutisch das vorhandene Bildmaterial gemeinsam auswerten und die Indikation sowie die Therapiedurchführung besprechen. Das Therapiekonzept und der Behandlungsplan sind schriftlich zu dokumentieren. In der Regel wird die medizinische Indikationsstellung vorab bereits in einer interdisziplinär besetzten Tumorkonferenz geklärt. Aufgrund der notwendigen individuellen Therapieplanung und der umfangreichen und komplexen Anforderungen an den Strahlenschutz kann die SIRT nicht als ambulante Therapie im Sinne der Richtlinie Strahlenschutz in der Medizin durchgeführt werden.

2.1 Empfehlungen zur Vorbereitung und Durchführung der Therapie

Vor einer Behandlung mit radioaktiv markierten Mikrosphären ist eine Angiographie zwingend erforderlich, um nachfolgende Aspekte zu untersuchen:

- Liegen anatomische Normvarianten des arteriellen Gefäßnetzes vor?
- Besteht ein adäquater antegrader arterieller Fluss in die Leber?
- Liegt eine Pfortaderthrombose vor? (falls nicht bereits in der Schnittbilddiagnostik geklärt)
- Wie ist die arterielle Perfusion des Tumors?

Der diagnostische Teil der Angiographie wird nach Entscheidung zur SIRT durch folgende Maßnahmen ergänzt:

- Ggf. Coilembolisation von Gefäßen, über die ein eventueller extrahepatischer Abstrom stattfinden könnte.

- MAA-Injektion zur Quantifizierung der hepatopulmonalen Shuntfraktion, Ausschluss bzw. ggf. Beurteilung von extrahepatischer Aktivitätsfixation sowie Beurteilung und (Semi-)Quantifizierung der Tumordurchblutung bezogen auf die Leberdurchblutung.
- Die diagnostische Angiographie sollte mit einer Übersichtsaortographie beginnen, um mögliche anatomische Normvarianten der Lebergefäßversorgung sicher zu erkennen. Liegt vor der Angiographie bereits eine kontrastmittelverstärkte CT oder MRT vor oder sind die Gefäßverhältnisse aus Vor-Angiographien bekannt, kann auf diese Übersichtsaortographie verzichtet werden.

Im Weiteren sollte die Angiographie eine selektive Darstellung des hepatischen Gefäßsystems beinhalten. Anatomische Normvarianten sind zur Therapieplanung zwingend zu dokumentieren. Ferner ist es erforderlich, mögliche Gefäßveränderungen (z.B. Stenosen) zu erkennen, die einen Einfluss auf die Hämodynamik haben können. So ist ein adäquater antegrader Blutfluss in die Leber für die SIRT zu fordern, da sonst durch retrograden Fluss von Mikrosphären entlang des Katheters gastrointestinale Komplikationen begünstigt werden können.

Die arterielle Perfusion des Tumors ist ein wichtiger Parameter für den Erfolg der Therapie mit radioaktiven Mikrosphären und wird entweder in der Schnittbildgebung (CT und/oder MRT) oder angiographisch dokumentiert. Ggf. kann durch die angiographiebasierte Flachdetektor-Volumen-CT nach Kontrastmittelapplikation über den einliegenden Angiographiekatheter eine sonst nicht sichtbare Hypervaskularisierung des Tumors nachgewiesen werden. Die Perfusionsverhältnisse werden im Rahmen der ^{99m}Tc -MAA-SPECT-Untersuchung quantitativ überprüft. Ist im Vorfeld keine Hypervaskularisierung des Tumors erkennbar, so muss die Indikation für die Therapie mit radioaktiv markierten Mikrosphären kritisch überprüft werden. Ggf. erbringt hier die Untersuchung mit ^{99m}Tc -markiertem MAA die letzte Entscheidung.

Die Vorbereitung der Patienten auf die Therapie erfordert eine sichere Identifizierung der aus dem hepatischen Stromgebiet entspringenden gastrointestinalen Kollateralen. Nach Darstellung extrahepatischer Gefäße erfolgt der Verschluss dieser Gefäße, sofern sie in der späteren Therapieregion liegen oder nahe der Mikrokatheterposition, aus der die Therapie erfolgt. Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass es insbesondere durch die embolisierende Wirkung bestimmter SIRT-Präparate während der Injektion zu einer Fluss-Umkehr im behandelten Gefäßsystem kommen kann. Dies impliziert, dass auch solche, nicht die Leber versorgenden Gefäßabgänge zu verschließen sind, die deutlich proximal der Katheterposition vom Hauptgefäß abzweigen. Gastrointestinale Kollaterale sollten permanent verschlossen werden, z. B. durch Coils.

Spätestens 15 Minuten vor ^{99m}Tc -MAA-Gabe wird dem Patienten einmalig Perchlorat oral verabreicht, um die unspezifische Darstellung des Magens zu verhindern. Anderenfalls würde die Sensitivität für den Nachweis einer extrahepatischen abdominalen Aktivitätsanreicherung reduziert.

Über einen in den Angiographiekatheter eingebrachten Mikrokatheter wird intraarteriell ^{99m}Tc -MAA injiziert. Abhängig von der Anatomie sowie der Tumorausdehnung in der Leber kann die ^{99m}Tc -MAA-Injektion lobär über die A. hepatica dextra und/oder sinistra erfolgen. Injektionen in beide Leberlappen über die A. hepatica propria oder communis sollten nur in Ausnahmefällen erfolgen, da das Risiko einer extrahepatischen Nuklidverschleppung mit

zunehmender Entfernung der Applikationsstelle von der Leber steigt. Gegebenenfalls können auch Territorien unterhalb eines Leberlappens als Zielvolumen definiert werden. Wird in einer Sitzung in mehrere Gefäße ^{99m}Tc -MAA injiziert, so sollte die Gesamtaktivität von ca. 150 MBq auf diese Gefäße aufgeteilt werden – vorzugsweise etwa im Verhältnis der von den Gefäßen versorgten Gewebmassen.

Die Bildgebung nach ^{99m}Tc -MAA-Applikation sollte bevorzugt mit einer Kombination aus funktioneller und morphologischer Bildgebung erfolgen (z. B. SPECT/CT), um nicht nur die Quantifizierung des hepato-pulmonalen Shuntvolumens zu ermöglichen, sondern auch um einen eventuellen extrahepatischen Abstrom morphologisch zuzuordnen. Sollte in der Szintigraphie eine relevante abdominale extrahepatische ^{99m}Tc -MAA-Anreicherung nachweisbar sein, muss das entsprechende Gefäß vor einer Therapie identifiziert und falls möglich verschlossen werden.

Die Aktivitätsverteilung des Therapiepräparates ist (vorzugsweise innerhalb von 24 Stunden) posttherapeutisch zu dokumentieren. Im Falle reiner β -Strahler wie ^{90}Y müssen Bremsstrahlungsaufnahmen mit einer dafür optimierten Geräteeinstellung erfolgen.

2.1.1 Baulicher und organisatorischer Strahlenschutz

In Deutschland gibt es derzeit keine Angiographieräume, die alle Anforderungen an Kontrollbereiche für den Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen erfüllen. Daher wird die Therapie in der Regel in temporären Kontrollbereichen nach StrlSchV durchgeführt. Die zu beachtenden Strahlenschutzmaßnahmen werden im Rahmen der Umgangsgenehmigung mit der zuständigen Aufsichtsbehörde festgelegt.

Bei Neubauten oder wesentlichen baulichen Veränderungen sind eine Schleuse für Patienten und Personal sowie ein gesonderter Raum für den Aufbau der Injektionsvorrichtung einzurichten. Eine geschlossene räumliche Einheit von Schleuse, Vorbereitungsraum sowie Angiographieraum minimieren die Kontaminationsgefahr nach außen. Als Schutzmaßnahme vor nicht restlos entfernbaren Kontaminationen im Raum ist z. B. eine geeignete Abdeckung des Bodens erforderlich.

Bei den Anforderungen bezüglich des baulichen Strahlenschutzes sollte berücksichtigt werden, dass die Durchführung der SIRT in aller Regel zeitlich nur einen kleinen Teil der Nutzung dieses Raumes darstellt und vorhandene Räumlichkeiten für Anwendungen nach der StrlSchV nur suboptimal nachgerüstet werden können. Da in diesen Fällen insbesondere dem baulichen Strahlenschutz nicht im vollen Umfang entsprochen werden kann, sind erhöhte Anforderungen an den organisatorischen Strahlenschutz zu stellen.

Für den organisatorischen Strahlenschutz ist insbesondere zu beachten:

- Röntgenschutzkleidung und Schutz vor Kontaminationen für alle im Applikationsraum Anwesenden ist zwingend notwendig.
- Einwegteile, welche noch Aktivität enthalten, und eventuell kontaminierte Gegenstände müssen fachgerecht gelagert und entsorgt werden. Der Transport dieser Teile darf nur in geeigneten Abschirmungen bzw. Abschirmbehältern erfolgen.
- Der Angiographieraum muss nach jeder Behandlung auf Kontaminationsfreiheit überprüft werden. Ebenso muss an allen im Angiographieraum beschäftigten Personen

und am Patienten eine Messung auf Kontamination durchgeführt werden. Es ist die notwendige Ausrüstung zur Dekontamination vorzuhalten.

2.1.2 Schutz des Patienten

Die eigentliche Therapie erfolgt über ein koaxiales Kathetersystem an dem zuvor festgelegten Ort im Lebergefäßsystem. Eine Bilddokumentation der korrekten Katheterposition insbesondere unmittelbar vor und auch nach der Injektion, falls erforderlich auch die wiederholte Kontrolle des korrekten antegraden Blutflusses, muss erfolgen. Bei zeitlichen Verzögerungen der Injektion oder bei Verdacht einer möglichen Dislokation der Katheterspitze (z. B. durch Patientenbewegung) ist diese Kontrolle der korrekten Lage zu wiederholen. Für die Verabreichung der kommerziell erhältlichen Mikrosphären werden ausschließlich die von den Herstellern zur Verfügung gestellten Applikationssysteme verwendet.

2.1.3 Schutz des Personals

Für die Strahlenexposition des Personals sind verschiedene Situationen bzw. Gruppen zu betrachten: Durchführung der Therapie, Pflege auf der Station und die eventuell mögliche operative Intervention nach einer Therapie.

Bezüglich des Strahlenschutzes bei der Therapie müssen Vorgaben des Herstellers beachtet werden, die im Rahmen der Zulassung des Präparates überprüft wurden. Nicht berücksichtigt ist dabei die Verbindung zwischen Applikationseinheit und Patienten. Die Passage der Mikrosphären über den Applikationsschlauch kann zu einer relevanten Strahlenexposition des Personals führen. Entsprechend sind Schutzmaßnahmen gegenüber der β -Strahlung (Abschirmung, Abstand) zu ergreifen.

Die vom Patienten ausgehende Bremsstrahlung ist aufgrund der geringen Dosisleistung für das Pflegepersonal von untergeordneter Bedeutung. Allerdings kann nicht ausgeschlossen werden, dass das Verbandsmaterial oder andere am Patienten befindliche Gegenstände kontaminiert sind, was wegen der vom Patienten emittierten Bremsstrahlung nur nach Entfernung vom Patienten sicher gemessen werden kann. Die Ausscheidungen des Patienten sind bis zur messtechnischen Klärung als kontaminiert anzusehen. Die Pflege auf nuklearmedizinischen Therapiestationen erfordert keine zusätzlichen Vorkehrungen. Sollte der Patient aus gesundheitlichen Gründen außerhalb einer nuklearmedizinischen Therapiestation betreut werden müssen, ist ein temporärer Kontrollbereich einzurichten. Insbesondere müssen die dort tätigen Mitarbeiter unterwiesen werden, alles Material, das mit dem Patienten in Kontakt war, auf Kontaminationsfreiheit zu überprüfen. Im Falle einer festgestellten Kontamination muss es einer fachgerechten Lagerung bzw. Entsorgung über die nuklearmedizinische Therapiestation zugeführt werden. Vor Aufhebung des temporären Kontrollbereichs ist der Nachweis der Kontaminationsfreiheit zu führen.

Im Rahmen der Genehmigung ist sicherzustellen, dass der Genehmigungsinhaber über ausreichendes Personal verfügt, das die notwendige Erfahrung im Umgang mit Beta-Strahlern besitzt, und dass die notwendigen Messgeräte zur Verfügung stehen.

Die SIRT kann auch als sog. Brückentherapie bei Patienten eingesetzt werden, die auf eine Lebertransplantation warten. Es ist somit nicht ausgeschlossen, dass die Leber sehr zeitnah nach der SIRT explantiert wird. Im Rahmen der Operation kann es dabei – falls keine Schutzmaßnahmen ergriffen werden – zu einer signifikanten Bestrahlung der Chirurgen kommen.

Die Bestrahlung ergibt sich überwiegend durch die Aktivität in der obersten Schicht der Leber (obersten ca. 3 mm) und betrifft die Körperteile der Chirurgen, die in Sichtlinie erreicht werden – in erster Linie die Hände. Abhilfe schafft eine Abschirmung von lediglich wenigen mm Dicke (Wasseräquivalent). Die notwendigen Strahlenschutzmaßnahmen sind vorab im Einzelfall festzulegen, und die Strahlenexposition der Hände der Chirurgen ist mittels geeigneter Fingerringdosimeter zu messen. Die Exposition hängt entscheidend davon ab, ob stark anreichernde Tumoren randständig an der Leber zu finden sind. Die Möglichkeit einer Lebertransplantation – die nur selten dann tatsächlich zeitnah zur SIRT erfolgen wird – sollte nicht von der Therapie abhalten, und die SIRT sollte den Patienten dann auch nicht von der Transplantation ausschließen. Wenn ein Operationskonzept in Zusammenarbeit mit dem Medizinphysik-Experten erarbeitet wird, das die geeigneten Maßnahmen zur Minimierung der Strahlenexpositionen festlegt, kann die Einhaltung der Grenzwerte der StrlSchV für das Personal gewährleistet werden.

Das explantierte Organ soll, soweit dem keine medizinischen Gründe entgegenstehen, bis zur Unterschreitung des Freigabewertes abklingen. Anderenfalls ist der in die Therapie involvierte Medizinphysik-Experte für die Planung eines strahlenschutzoptimierten weiteren Vorgehens hinzuzuziehen.

3 Intravasale Bestrahlung mit offenen radioaktiven Stoffen zur Restenoseprophylaxe nach PTA¹ und PTCA² – Beschreibung des Verfahrens

Die intravasale Brachytherapie wird nach Aufdehnung eines zuvor verengten Gefäßes (mit oder ohne Stent-Implantation) durchgeführt. Das Ziel der Bestrahlung ist die Proliferationshemmung glatter Muskelzellen und Myofibroblasten im Bereich der Tunica Media und Adventitia (mittlere bzw. äußere Schicht der Arterie) des dilatierten Gefäßabschnittes. Hierdurch soll einer Intimahyperproliferation (Intima = innere Schicht der Arterie) und einem konstriktiven Gefäßumbau vorgebeugt werden.

Der entsprechende Gefäßabschnitt wird vom Gefäßinneren heraus bestrahlt. In der Vergangenheit wurde dies durch höchst unterschiedliche Bestrahlungsmethoden realisiert. Hierbei kamen sowohl Gamma-Strahler wie auch Beta-Strahler zum Einsatz. Die Bestrahlung erfolgte meist durch im Gefäß zentrierte oder unzentrierte umschlossene radioaktive Stoffe in Form von Drähten, „Seeds“ oder „Trains“, aber auch durch Befüllen von Ballonkathetern mit radioaktiven Flüssigkeiten oder Gasen.

Die Wirksamkeit der intravasalen Bestrahlung zur Restenoseprophylaxe nach PTA und PTCA wurde in umfangreichen Studien nachgewiesen. Trotz guter klinischer Ergebnisse der intravasalen Brachytherapie führte die Markteinführung von DES³ zur fast vollständigen Verdrängung der intravasalen Brachytherapie. Es zeigte sich jedoch, dass DES für viele Anwendungen nicht geeignet bzw. nicht verfügbar sind (z. B. In-Stent-Restenosen, Stenosen im Becken-Bein-Bereich).

¹ Perkutane transluminale Angioplastie

² Perkutane transluminale coronare Angioplastie

³ Drug-Eluting-Stents

In der Empfehlung „Endovaskuläre Strahlentherapie“ vom 7. Dezember 2000 hatte sich die SSK die Aufgabe gestellt, sich weiterhin mit den speziellen Strahlenschutzproblemen der endovaskulären Strahlentherapie zu befassen, wenn sich entsprechende Methoden in der Praxis etablieren. Es ist zu einer Wiederbelebung der intravasalen Bestrahlung gekommen, und seit 2008 steht ein verbessertes Ballonkatheter-Bestrahlungssystem kommerziell zur Verfügung.

Bei dieser Methode wird ein Ballonkatheter im zuvor dilatierten Gefäßabschnitt positioniert und mit radioaktiver Flüssigkeit gefüllt. Durch das Befüllen des Ballons mit (geringem) Druck wird dieser im Lumen des Gefäßes zentriert und die Gefäßwand im Wesentlichen radialsymmetrisch bestrahlt. Zum Befüllen des Ballons wird ^{188}Re -Perrhenat-Lösung verwendet. Die Betastrahlung von ^{188}Re mit einer maximalen Reichweite von etwa 10 mm in Gewebe führt zu einer lokalen Bestrahlung des dilatierten Gefäßabschnittes. Hierbei fällt die Dosis mit der Entfernung von der Katheteroberfläche steil ab. Im Bereich der Media wird üblicherweise eine Dosis zwischen 10 und 20 Gy angestrebt. Die Bestrahlungszeit zum Erreichen dieser Dosis hängt hierbei im Wesentlichen von der Entfernung des Zielgewebes von der Ballonoberfläche, von der Aktivitätskonzentration und dem Durchmesser des Ballonkatheters ab. Die individuelle Dosimetrie ist in enger Zusammenarbeit mit einem fachkundigen Medizinphysik-Experten durchzuführen und resultiert in der Berechnung der für die Therapie notwendigen Bestrahlungszeit. Aus diesem Grund sind die Kriterien zu einer ambulanten Durchführung dieser Therapie (Kapitel 6.6.3 der Richtlinie Strahlenschutz in der Medizin) nicht gegeben.

Bei peripheren Gefäßen mit einem Lumen von 4 bis 6 mm beträgt der maximale Abstand der Media zur Ballonoberfläche etwa 2 mm; wegen der maximal tolerierbaren Verschlusszeiten des Gefäßes sind hierbei Bestrahlungszeiten von 10 bis 20 Minuten möglich. Zur Einhaltung dieser Zeitvorgaben ist eine Aktivitätskonzentration von etwa 5 GBq/ml erforderlich. Bei der Anwendung der intravasalen Bestrahlung nach PTCA ist zu berücksichtigen, dass das Lumen der Herzkranzgefäße und damit auch der Abstand des Zielgewebes von der Ballonoberfläche kleiner sind. Allerdings sind die tolerierbare Verschlusszeit und die daraus resultierende Bestrahlungszeit erheblich kürzer, so dass höhere Aktivitätskonzentrationen bis zu 10 GBq/ml erforderlich sind. Gegebenenfalls kann die Bestrahlungszeit auch durch mehrmaliges Befüllen des Katheters mit zwischenzeitlichen Erholungszeiten (Reperfusionzeiten) unterbrochen werden.

3.1 Empfehlungen zur Vorbereitung und Durchführung der Therapie

Die Therapie muss in Kooperation zwischen dem fachkundigen Arzt nach RöV und dem fachkundigen Arzt nach StrlSchV geplant werden. Das Therapiezielvolumen muss im Vorfeld definiert werden, und der Medizinphysik-Experte muss im Vorfeld überprüfen, ob die vorhandene Aktivität bzw. Aktivitätskonzentration für die Herbeiführung des Therapieziels ausreicht.

3.1.1 Baulicher und organisatorischer Strahlenschutz

Die Therapie wird derzeit in der Regel außerhalb des Kontrollbereichs der Nuklearmedizin durchgeführt. Diesbezüglich gelten die Ausführungen wie unter 2.1.1. Eine routinemäßige Betreuung des Patienten auf einer nuklearmedizinischen Therapiestation nach der Therapie ist nicht erforderlich. Wegen der Möglichkeit einer Kontamination ist allerdings sicherzustellen, dass der Patient jederzeit auf eine nuklearmedizinische Therapiestation verlegt werden kann.

3.1.2 Schutz des Patienten

Im Normalfall inkorporiert der Patient keinerlei Radioaktivität, da diese aus dem Katheter wieder abgesaugt und danach der Katheter entfernt wird. Allerdings könnte es zu einem Leck des Katheters kommen, und die Aktivität würde in unterschiedlichem Ausmaß in die Blutbahn gelangen. In der Folge käme es zu einer Ganzkörperstrahlenexposition. Solche Ereignisse sind selten, aber nicht ganz auszuschließen. Für die Bestrahlung darf nicht der zur Dilatation eingesetzte Katheter verwendet werden, sondern es muss ein separater Bestrahlungskatheter, welcher mit einem niedrigen Fülldruck von ca. 2 bar mit weit weniger als dem Nenndruck von üblicherweise 10 bis 20 bar belastet wird, eingesetzt werden. Dadurch wird das Risiko einer Ruptur weiter reduziert. Trotzdem ist im Rahmen der Arbeitsanweisung ein entsprechendes Notfallschema (siehe Anhang 2) aufzustellen und zu organisieren.

Für den Fall eines solchen Zwischenfalls muss im Vorfeld abgeschätzt werden, welche Ganzkörperdosis bzw. Organdosen sich für den Patienten ergeben würden. Es sind Maßnahmen zu ergreifen, welche die Anreicherung eventuell freigesetzter Aktivität in gefährdeten Organen verhindern (z. B. in der Regel eine prophylaktische Blockade der Schilddrüse mit Perchlorat) und welche die Ausscheidung des radioaktiven Stoffes beschleunigen. Der Patient muss unverzüglich auf eine nuklearmedizinische Therapiestation verlegt werden. Sämtliche Ausscheidungen sind vom Zeitpunkt der Ballonruptur bis zum Eintreffen auf der nuklearmedizinischen Therapiestation zu sammeln und alles am Patienten befindliche Material (z. B. Zellstoff, Tücher, Kleidung etc.) ist als potentiell kontaminiert anzusehen.

3.1.3 Schutz des Personals

Aufgrund der sehr hohen Aktivitätskonzentration ist die durch die Beta-Strahlung resultierende Dosisleistung in der unmittelbaren Nähe des radioaktiven Stoffes sehr hoch. Daher muss die Beta-Strahlung wenn immer möglich abgeschirmt werden. Bei der Handhabung von radioaktivitätsgefülltem Equipment sind immer Greifwerkzeuge einzusetzen. Zur Messung der Handdosis sind geeignete Fingerringdosimeter einzusetzen.

Neben der Beta-Strahlung wird von ^{188}Re auch mittelharte Gamma-Strahlung (63 - 155 keV) und harte Gamma-Strahlung (450 keV - 2 MeV) emittiert, wodurch teilweise schwere Abschirmungen beim Umgang, beim Transport und bei der Lagerung der Aktivität erforderlich werden.

Die radioaktive Flüssigkeit befindet sich während der Behandlung in einem geschlossenen System aus Vorratsgefäß, Applikationsspritze, Ballonkatheter und diversem Zubehör. Nach der Bestrahlung wird die Flüssigkeit zum größten Teil wieder in das Gefäß zurückgesaugt. Der Ballonkatheter wird nach Entnahme zusammen mit der Applikationsspritze und den Einwegteilen in ein speziell abgeschirmtes Gefäß abgelegt. Das gesamte Bestrahlungssystem wird nicht geöffnet. Allerdings ist eine Abtrennung vom Vorratsgefäß erforderlich, wobei es prinzipiell zu Kontaminationen kommen kann.

Im Normalfall ist der Patient aktivitätsfrei und kann auf jede Station verlegt werden. Eine Unterweisung des dort tätigen Personals ist nicht erforderlich. Im Falle einer Katheterruptur/-leckage oder anderweitiger Kontamination des Patienten ist eine unverzügliche Aufnahme auf der nuklearmedizinischen Therapiestation erforderlich. Die Therapiestation muss eine

Umgangsgenehmigung für das verwendete Radionuklid haben. Weitergehende Anforderungen an die Station müssen nicht definiert werden.

4 Spezielle Anforderungen

Die SSK stellt fest, dass der Umgang mit β -Strahlen in den hier behandelten Aktivitäten einer besonders hohen Sorgfalt bedarf. Unabgeschirmt kann beim Umgang mit 1 GBq ^{90}Y bereits bei einer Applikation der Jahresgrenzwert der Hautdosis überschritten, oder es können sogar deterministische Hautschäden ausgelöst werden, wenn das Aktivitätsfläschchen in der Hand gehalten wird. Der genaue Wert hängt stark von der Geometrie des Gefäßes und der Flüssigkeitsverteilung ab. Auch ist zu bedenken, dass die (unabgeschirmten) Applikationsschläuche/-katheter während der Injektion eine starke Strahlungsquelle darstellen. Die Reichweite der β -Teilchen ist zwar auf wenige mm im Gewebe beschränkt, in Luft sind es einige Meter. Der Nachweis und die quantitative Messung von β -Strahlung setzt besonderes Gerät und Kompetenz voraus. Die SSK empfiehlt daher, dass eine ausreichende Zahl von Personen vorhanden sein muss, die Erfahrung im Umgang mit offenen β -Strahlern und den dabei auftretenden Strahlenschutzproblemen besitzen.

Die Therapien erfolgen in der Regel in Angiographieräumen, die Kontrollbereiche nach RöV darstellen. Deshalb empfiehlt die SSK, dass, solange sich offene Radioaktivität im Raum befindet, also bis der Patient den Raum verlassen hat und die Kontaminationsfreiheit des Raumes nachgewiesen wird, der Raum auch temporärer Kontrollbereich nach StrlSchV ist. Der Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen in den Angiographieräumen bedarf der Genehmigung durch die zuständige Behörde. Die Aufgaben und Verantwortlichkeiten der beteiligten fachkundigen Personen müssen mittels einer Arbeitsanweisung nach § 34 StrlSchV im Rahmen des Genehmigungsbescheides festgelegt werden. Der Einsatz dieser Therapien in Studien bedarf der Genehmigung im Rahmen des § 23 StrlSchV.

Zum Umgang, zum Transport und zur Lagerung des radioaktiven Stoffes müssen geeignete Abschirmbehälter zur Verfügung stehen. Dies gilt auch für den entstehenden radioaktiven Abfall. Die Handhabung von aktivitätsbehafteten Gegenständen darf nur mit geeigneten Greifwerkzeugen erfolgen.

Zumindest in einem Angiographieraum mit schwer dekontaminierbaren Oberflächen müssen die kontaminationsgefährdeten Oberflächen bei der Therapie z. B. mit leicht entfernbaren Folien abgedeckt werden. Nach der Bestrahlung sind die Räume fachgerecht auf Kontaminationsfreiheit zu messen und der Kontrollbereich nach StrlSchV ist aufzuheben. Für den Kontaminationsfall müssen geeignete Dekontaminationsmaßnahmen ergriffen werden.

Die Nachsorge der Patienten bezüglich der Wirkung und Nebenwirkung der strahlentherapeutischen Maßnahmen muss gewährleistet sein.

4.1 SIRT

Die SSK stellt fest, dass die selektive intraarterielle Radionuklidtherapie bei gegebener Indikation eine geeignete Methode zur Behandlung von primären oder sekundären bösartigen Leberneubildungen ist. Das methodische Vorgehen ist weitgehend standardisiert. Die Planung und die Durchführung der Therapie müssen in enger Kooperation zwischen dem fachkundigen Arzt nach StrlSchV, dem fachkundigen Arzt nach RöV und dem fachkundigen

Medizinphysik-Experten erfolgen. Der fachkundige Arzt nach StrlSchV trägt dabei die Verantwortung für die Indikationsstellung zur Therapie mit dem offenen radioaktiven Stoff, das Therapieergebnis und die Nachsorge. Der fachkundige Arzt nach RöV trägt die Verantwortung für den radiologisch interventionellen Teil. Die SIRT kann als individuelle Therapie mit hohen Anforderungen an den Strahlenschutz nicht ambulant durchgeführt werden.

Die SSK empfiehlt, dass – wegen möglicher Kontaminationen des Patienten und von Verbandsmaterial – der Patient nach der Therapie unabhängig vom verwendeten Nuklid mindestens 48 Stunden auf der nuklearmedizinischen Therapiestation verbringen muss, sofern es sein Gesundheitszustand bei in der Regel fortgeschrittenem Tumorleiden erlaubt. Anderenfalls muss er auf einer anderen Station mit dem Hintergrund einer nuklearmedizinischen Station betreut werden. In den ersten 48 Stunden bleiben die Strahlenschutzbeauftragten für den Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen verantwortlich. Ausscheidungen und Materialien (z. B. Verbände), die potentiell mit Körperflüssigkeiten in Kontakt waren, müssen auf Kontaminationsfreiheit gemessen und ggf. als radioaktive Abfälle entsorgt werden. Die in Anhang 1 zusammengefassten Aspekte der Qualitätssicherung müssen beachtet werden.

4.2 Intravasale Bestrahlung

Die SSK stellt in Fortführung ihrer Empfehlung „Endovaskuläre Strahlentherapie“ vom 7. Dezember 2000 fest, dass die intravasale Bestrahlung mit offenen radioaktiven Stoffen ein etabliertes Verfahren zur Restenoseprophylaxe nach PTA und PTCA ist.

Die SSK empfiehlt, dass die Durchführung der Therapie in enger Kooperation zwischen dem fachkundigen Arzt nach RöV, dem fachkundigen Arzt nach StrlSchV und dem fachkundigen Medizinphysik-Experten erfolgen muss. Der Ablauf der einzelnen Arbeitsvorgänge und die Aufgabenverteilung sind in einer Strahlenschutz- oder Arbeitsanweisung zu regeln. In der Bestrahlungsplanung und Dokumentation sind alle relevanten Bestrahlungsparameter (Aktivitätskonzentration, verwendeter Ballonkatheter, Bestrahlungslänge, dilatierte Strecke, Dosis in definiertem Abstand zur Ballonoberfläche, Bestrahlungszeit, Bestrahlungsfraktionen) zu dokumentieren. Aufgrund der individuellen Dosisplanung empfiehlt die SSK, eine ambulante Durchführung dieser Therapie nicht zu genehmigen.

Wegen der zwar seltenen aber dennoch möglichen Ballonruptur und der damit verbundenen Inkorporationsgefahr für den Patienten muss sichergestellt sein, dass der Patient nach einer Inkorporation unmittelbar auf eine nuklearmedizinische Therapiestation verlegt werden kann. Für einen solchen Fall muss es einen auf die Situation der Therapieeinheit zugeschnittenen Notfallplan geben (Beispiel zu den allgemeinen Punkten siehe Anhang 2).

Zur Verringerung des Risikos einer Ballonruptur ist für die Bestrahlung nicht der zur Dilatation eingesetzte Katheter, sondern ein separater Bestrahlungskatheter zu verwenden, welcher mit einem Fülldruck weit unter dem Nenndruck belastet wird. Ferner ist der Bestrahlungskatheter unmittelbar vor der Bestrahlung auf Undichtigkeit zu prüfen.

ANHANG 1

Qualitätssicherungsaspekte bei der SIRT

Der verantwortliche fachkundige Arzt nach StrlSchV muss während der Applikation persönlich anwesend sein. Er hat zuvor mit dem fachkundigen Arzt nach RöV das Therapiekonzept besprochen. Die Applikation erfolgt, nachdem der fachkundige Arzt nach RöV dem fachkundigen Arzt nach StrlSchV die gewünschte Lage der Katheterspitze demonstriert hat und dieser die Applikation explizit freigibt. Wer die Applikation technisch durchführt, hängt von den individuellen Gegebenheiten ab. Der fachkundige Arzt nach StrlSchV ist auch für den technischen Teil der Applikation verantwortlich. Ein Medizinphysik-Experte ist während der Applikation anwesend zur Kontrolle der Dosimetrie und der Einhaltung der Sicherheitsmaßnahmen sowie anschließend zu Kontaminationskontrollen, Dekontaminationsmaßnahmen und zur Entsorgung.

An der Therapieapparatur werden Dosisleistungsmessgeräte positioniert, um den Aktivitätstransfer (bzw. Restaktivitäten) vom Aktivitäts-Vial in den Mikrokatheter anzuzeigen.

Die Durchführung der Therapie ist nur speziell qualifiziertem Personal nach ausgiebiger Schulung (praktisches Training) erlaubt. Insbesondere müssen die Beteiligten ohne nuklearmedizinischen Hintergrund über Strahlenschutzaspekte beim Umgang mit β -Strahlern informiert werden. Der fachkundige Arzt nach RöV (interventioneller Radiologe) muss darüber hinaus über die theoretischen Hintergründe der Therapie unterwiesen werden, und ihm muss bewusst sein, dass die Lage der Spitze des Applikationskatheters ebenso therapieentscheidend ist wie die gleichmäßige Durchmischung der Therapiepartikel mit dem Blutstrom. Entsprechendes gilt für die radiologische Volumetrie des zu behandelnden Leberanteils bzw. des Tumors und die Zuverlässigkeit der Katheterspitzenpositionierung.

Die Ausbildung umfasst neben der theoretischen Weiterbildung und der praktischen Ausbildung sowie der routinemäßigen Anwendung auch das Training für nicht-routinemäßige Abläufe einschließlich vorzeitiger Beendigung der Applikation (oder Leckage): Abbruch der Injektion, Trennung des Patienten vom System, Deponierung aller Systemteile einschließlich Aktivitäts-Vial, Administrations-Set, Katheter, Unterlagen, Handschuhe etc. in abgeschirmten Abfallbehältern, Kontaminationskontrolle aller Personen, die den Raum verlassen, Dekontamination des Raumes und Überprüfung auf Kontaminationsfreiheit.

Die Aktivität muss mit zwei unabhängigen Messverfahren bestimmt werden.

Aktivimeter müssen speziell auf die verwendeten Behälter (Material, Wanddicke, Geometrie, Füllung) kalibriert sein. Anderenfalls sind Fehlmessungen von 50 % oder mehr leicht möglich.

Konstantes Monitoring der Dosisleistung/ Aktivitätsverläufe am Applikationsweg (Sicherstellung einer vollständigen Applikation, Restaktivitäten sofort erkennen).

Kontrolle des Aufbaus und Ablaufs an Hand von Checklisten, Abnahme durch eine zweite Person.

Im Falle der Kontamination ist zu bedenken, dass die Aktivität an Korpuskeln gebunden, also diskret verteilt ist. Es müssen geeignete Dekontaminationsvorrichtungen vorhanden sein, die es ermöglichen, diese mikroskopischen Partikel aufzunehmen. Repetitives „Verdünnen“, wie

bei der Dekontamination von Flüssigkeiten, führt nicht sicher zum Erfolg; z. B. kann mit Klebefolien gearbeitet werden, mit denen die oberste Schicht des Bodens „abgerissen“ wird.

Literatur zu Anhang 1

Gulec SA, Siegel JA: Posttherapy radiation safety considerations in radiomicrosphere treatment with ⁹⁰Y-microspheres. *J Nucl Med* 48: 2080-2086; 2007

Mehrdad Sarfaraz, Andrew S. Kennedy, Zong J. Cao, Gregory D. Sackett, Cedric X. Yu, Martin A. Lodge, Ravi Murthy, Bruce R. Line, and David A. Van Echo: Physical aspects of yttrium-90 microsphere therapy for nonresectable hepatic tumors. *Med. Phys.* 30: 199-203; 2003

Riad Salem, MD, MBA, and Kenneth G. Thurston, MA: Radioembolization with ⁹⁰ Yttrium Microspheres: A State-of-the-Art Brachytherapy Treatment for Primary and Secondary Liver Malignancies. Part 1: Technical and Methodologic Considerations. *J Vasc Interv Radiol* 17: 1251-1278; 2006

Riad Salem, MD, MBA, Kenneth G. Thurston, MA, Brian I. Carr, MD, James E. Goin, PhD, and Jean-Francois H. Geschwind, MD: Yttrium-90 Microspheres: Radiation Therapy for Unresectable Liver Cancer. *J Vasc Interv Radiol* 13: 223-S229; 2002

Sarah Heard, Glenn D Flux, Matthew J Guy, Robert J Ott: Monte Carlo Simulation of ⁹⁰Y Bremsstrahlung Imaging. *IEEE*; 3579-3583; 2004

Siegel JA, Zimmerman BE, Kodimer K, Dell MA, Simon WE: Accurate dose calibrator activity measurement of ⁹⁰Y-Ibritumomabtiuxetan. *J Nucl Med* 45: 450-454; 2004

Stabin MG, Eckerman KF, Ryman JC, Williams LE: Bremsstrahlung radiation dose in yttrium-90 therapy applications. *J Nucl Med* 35: 1377-1380; 1994

Valley J-F, Billung S, Leresche M, Wastiel C: Determination of the efficiency of commercially available dose calibrators for beta-emitters. *J Nucl Med Techn* 31: 27-32; 2003

Wastiel C, Valley JF, DeLaloye A, Leresche M, Linder R, Sassowsky M, Bochud FO: Intercomparison of activity measurements for betaemitters in Swiss nuclear medicine laboratories. *J Nucl Med Techn* 33: 238-242; 2005

ANHANG 2

Notfallschema bei Ballonruptur eines mit einem β -Strahler gefüllten PTA-Ballons (am Beispiel einer ^{188}Re -Perrhenat Füllung)

Rationale

^{188}Re ist ein Beta-Strahler. In seiner pharmakologischen Form als Perrhenat wird es hauptsächlich von den Schilddrüsen- und Belegzellen des Magens aufgenommen und renal ausgeschieden. Um die Strahlenexposition dieser Organe im Fall eines Freiwerdens durch Ruptur des intravasal eingebrachten Ballons zu reduzieren, kann die Aufnahme des Perrhenats in die o.g. Zellen durch Perchlorat blockiert und die Ausscheidung durch eine forcierte Diurese beschleunigt werden.

Sofortmaßnahmen

- Ballon deflatieren
- Katheter evakuieren.

Medikamentöse Intervention

- Blockade der Schilddrüse und der Magenbelegzellen mit Perchlorat:
sofort z.B. 40 Trpf. (600 mg) Perchlorat (Irenat^R), im Weiteren z.B. 3 x 40 Trpf. (900 mg) über 2 Tage.
- Forcierte Diurese:
z.B. Infusion mit 4 (Niereninsuffiziente) bis 6 (Nierengesunde) Liter Ringerlösung mit 10 (Nierengesunde) bis 20 (Niereninsuffiziente) mg Furosemid/l (Grenze zwischen gesund und insuffizient bei 1,5 mg/dl Kreatinin) über 2 Tage, Infusionsgeschwindigkeit maximal 4 mg/min (Perfusor).
- Legen eines Blasenkatheters zur Reduktion der Strahlenexposition der Harnblasenwand.

Kontrolluntersuchungen

- Flüssigkeitsbilanz, ggf. zusätzliche Infusionen
- Elektrolytkontrollen, ggf. Substitution (v. a. Kalium!)
- Auf Zeichen der Herzinsuffizienz achten!
- Glukosespiegel kontrollieren.

Der Patient muss aus Strahlenschutzgründen zur Überwachung und für die notwendigen Maßnahmen zur Reduktion der Strahlenexposition mindestens 48 Stunden auf eine nuklearmedizinische Station aufgenommen werden, die eine entsprechende Umgangsgenehmigung hat. Sofern der für die Behandlung verantwortliche fachkundige Arzt nach StrlSchV nicht über eine solche Station verfügt, muss vertraglich ein Kooperationsvertrag mit einer Station geschlossen werden, in dem sichergestellt ist, dass in der Notfallsituation jederzeit ein Patient aufgenommen wird.

Literatur zu Anhang 2

Kotzerke J, Fenchel S, Guhlmann A, Stabin M, Rentschler M, Knapp FF, Reske SN: Pharmacokinetics of ^{99m}Tc -pertechnetate and ^{188}Re -perrhenate after oral administration of perchlorate: Option for subsequent care after the use of liquid ^{188}Re in a balloon catheter. Nucl Med Commun 19: 795-801; 1998

Lin WY, Tsai SC, Hsieh BT, Lee TW, Ting G, Wang SJ: Evaluation of three rhenium-188 candidates for intravascular radiation therapy with liquid-filled balloons to prevent restenosis. J Nucl Cardiol 7(1): 37-42; 2000

SSK: Endovaskuläre Strahlentherapie; Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 170. Sitzung am 7. Dezember 2000

Stabin MG, Konijnenberg M, Knapp FF, Spencer RH: Monte Carlo modeling of radiation dose distributions in intravascular radiation therapy. Med Phys 27(5): 1086-1092; 2000