



Bundesamt für Strahlenschutz

Bekanntmachung der aktualisierten diagnostischen Referenzwerte für nuklearmedizinische Untersuchungen

Vom 15. Juni 2021

Die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034, 2036), die zuletzt durch Artikel 6 des Gesetzes vom 20. Mai 2021 (BGBl. I S. 1194) geändert worden ist, sieht in § 125 Absatz 1 Satz 1 vor, dass das Bundesamt für Strahlenschutz diagnostische Referenzwerte (DRW) für Untersuchungen mit ionisierender Strahlung und radioaktiven Stoffen ermittelt, erstellt und veröffentlicht. Gemäß § 122 Absatz 3 StrlSchV sind die DRW bei Untersuchungen von Personen zu Grunde zu legen. Spätestens drei Jahre nach der letzten Veröffentlichung ist zu prüfen, ob die DRW aktualisiert werden müssen (§ 125 Absatz 2 StrlSchV). Auf dieser Grundlage wurden die DRW für nuklearmedizinische Untersuchungen überarbeitet. Diese werden für folgende Untersuchungsarten in der Anlage bekannt gemacht:

Tabelle 1: Diagnostische Referenzwerte für häufige und dosisintensive nuklearmedizinische Untersuchungen bei Erwachsenen

Tabelle 2: Bruchteile der zu verabreichenden Erwachsenen-Aktivität bei Kindern unterschiedlichen Körpergewichts

Tabelle 3: Diagnostische Referenzwerte für Low-Dose-CT-Aufnahmen zur Schwächungskorrektur und/oder anatomischen Koregistrierung bei Hybriduntersuchungen an PET/CT- und SPECT/CT-Systemen

Diese Bekanntmachung ersetzt die bisher gültige vom 25. September 2012 (BAnz AT 19.10.2012 B5). Weitere Ausführungen dienen der Erläuterung der Grundlagen der diagnostischen Referenzwerte und enthalten Hinweise für deren Anwendung.

Salzgitter, den 15. Juni 2021

Bundesamt für Strahlenschutz

Im Auftrag
Dr. A. Giussani

**Anlage****Tabelle 1:** Diagnostische Referenzwerte für häufige und dosisintensive nuklearmedizinische Untersuchungen bei Erwachsenen.

Organ	Scan/Test	Radiopharmakon	DRW (MBq)	DRW gewichts- adaptiert (MBq/kg)	A _{Min} ^a (MBq)	
Schilddrüse	Szintigraphie	^{99m} Tc-Perchnetat	70		10	
Skelett	Knochenszintigraphie	^{99m} Tc-MDP/DPD/HDP		8,0	40	
Herz	Perfusion/Vitalität	^{99m} Tc-Sestamibi			80	
		– Zweitagesprotokoll	400 ^b			
		– Eintagesprotokoll	1000 ^c			
		^{99m} Tc-Tetrofosmin				
		– Zweitagesprotokoll	400 ^b		80	
		– Eintagesprotokoll	1000 ^c			
Nieren	Funktionsszintigraphie	^{99m} Tc-MAG3	100		15	
Lunge	Ventilation	^{99m} Tc-DTPA	1000 ^d		–	
		^{99m} Tc-Technegas	350 ^d		100	
	Perfusion nach Ventilation	^{99m} Tc-MAA	160		10	
	Perfusion ohne Ventilation	^{99m} Tc-MAA	50		10	
Gehirn	DAT-SPECT	¹²³ I-FP-CIT	180		–	
	PET	¹⁸ F-FDG		3,0	14	
		¹⁸ F-FET			2,5	14
Nebenschilddrüse	Szintigraphie	^{99m} Tc-Sestamibi	550		80	
Tumordetektion im Körperstamm	Szintigraphie	¹¹¹ In-Octreotid	150		–	
		^{99m} Tc-Tektrotyd	750		–	
	PET	¹⁸ F-FDG			3,0	14
		⁶⁸ Ga-PMSA			2,5	–
		⁶⁸ Ga-DOTA-Peptide			2,0	–
Sentinel-Lymphknoten	Diagnostik bei Mammakarzinom	^{99m} Tc-markierte Kolloide				
		– OP am gleichen Tag	40		–	
		– OP am Folgetag	150		–	

^a Minimale Aktivität für pädiatrische Untersuchungen^b Pro Applikation^c Für beide Applikationen zusammen. Für die Aufteilung der Gesamtaktivität zwischen erster und zweiter Untersuchung wird empfohlen, ein Verhältnis von 1:3 (250 MBq/750 MBq) zu verwenden.^d Im Vernebler



Tabelle 2: Bruchteile der zu verabreichenden Erwachsenen-Aktivität bei Kindern unterschiedlichen Körpergewichts. Die verabreichten Aktivitäten sollen nicht die untersuchungsabhängige minimale Aktivität (A_{\min}) aus Tabelle 1 unterschreiten.

Körpergewicht in kg	Bruchteil der zu verabreichenden Erwachsenen-Aktivität
3	0,07
4	0,08
6	0,12
8	0,15
10	0,19
12	0,22
14	0,25
16	0,28
18	0,31
20	0,34
22	0,37
24	0,40
26	0,43
28	0,45
30	0,48
32	0,51
34	0,54
36	0,56
38	0,59
40	0,62
42	0,64
44	0,67
46	0,70
48	0,72
50	0,75
52	0,77
54	0,80
56	0,82
58	0,85
60	0,88
62	0,90
64	0,93
66	0,95
68	0,98
≥ 70	1



Tabelle 3: Diagnostische Referenzwerte für auxiliäre CT-Aufnahmen (Low-Dose-CTs) zur Schwächungskorrektur und/oder anatomischen Koregistrierung bei Hybriduntersuchungen an PET/CT- und SPECT/CT-Systemen

Untersuchte Region	DRW CTDI _{vol} (mGy)
Ganzkörper, Rumpf, Schilddrüse, Nebenschilddrüse, Skelett	3,0
Thorax, Herz	2,0
Kopf*	15

* bezogen auf den 16-cm-CTDI-Prüfkörper

Erläuterungen und Hinweise

Internationale und nationale Grundlagen für die Festlegung von diagnostischen Referenzwerten

Die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) weist in ihrer Veröffentlichung 105 von 2007 [7] über „Strahlenschutz in der Medizin“ auf die große Bedeutung der beiden Strahlenschutzgrundsätze „Rechtfertigung“ und „Optimierung“ bei diagnostischen und therapeutischen Anwendungen von Röntgenstrahlung hin. Das grundsätzliche Ziel der Optimierung ist, jede Strahlenexposition unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik und unter Berücksichtigung der Umstände im Einzelfall so gering zu halten, wie dies mit den Anforderungen an die diagnostische oder therapeutische Bildqualität vereinbar ist (ALARA – as low as reasonable achievable). Die ICRP stellt in diesem Zusammenhang fest, dass Dosisgrenzen, deren Bedeutung für die berufliche Strahlenexposition und die Exposition der Bevölkerung unbestritten ist, für die medizinische Exposition von Patientinnen und Patienten kein geeignetes Mittel des Strahlenschutzes sind. Sie betont jedoch, dass „eine gewisse Begrenzung der Exposition in der medizinischen Diagnostik notwendig“ ist und empfiehlt die Anwendung von DRW.

In der jüngsten Publikation der ICRP zu DRW aus dem Jahr 2017 [8] werden Empfehlungen für die Festlegung und Anwendung der DRW gegeben. Danach sollten DRW auch in der Nuklearmedizin auf Basis der 75. Perzentile der Verteilung der in einer repräsentativen Auswahl an Einrichtungen erhobenen Medianwerte festgelegt werden (Paragraph 402). Darüber hinaus wird empfohlen (Paragraph 376), idealerweise gewichtsbezogene Aktivitäten (MBq pro Kilogramm Körpergewicht) als Bezugsgröße für DRW zu verwenden.

Die Europäische Kommission hat das ICRP-Konzept der DRW als ein Mittel der Optimierung im Strahlenschutz aufgegriffen, erstmals in der Richtlinie 97/43/EURATOM („Patientenschutzrichtlinie“ [9]) verankert und später in der Richtlinie 2013/59/EURATOM [10] bestätigt. Beide EURATOM-Richtlinien definieren DRW als „Dosiswerte bei strahlendiagnostischen medizinischen oder interventionsradiologischen medizinischen Tätigkeiten für typische Untersuchungen an einer Gruppe von Patienten mit Standardmaßen oder an Standardphantomen für allgemein definierte Arten von Ausrüstung“. Die EU-Mitgliedstaaten haben sicherzustellen, „dass diagnostische Referenzwerte für strahlendiagnostische Untersuchungen ... festgelegt, regelmäßig überprüft und angewendet werden und dass eine entsprechende Leitlinie verfügbar ist“. Bei Anwendung guter und üblicher Praxis hinsichtlich der diagnostischen und der technischen Leistung wird erwartet, dass bei Standardverfahren die betreffenden DRW nicht überschritten werden.

Mit der StrlSchV vom 20. Juli 2001 [11] wurde das Konzept der DRW auch in Deutschland in die nuklearmedizinische Diagnostik eingeführt. In der StrlSchV vom 29. November 2018 [12] sind DRW definiert als „empfohlene Aktivitätswerte bei Anwendung radioaktiver Stoffe am Menschen, für typische Untersuchungen, bezogen auf Standardphantome oder auf Patientengruppen, für einzelne Gerätekategorien.“ In § 125 Absatz 1 Satz 1 StrlSchV heißt es: „Das Bundesamt für Strahlenschutz ermittelt, erstellt und veröffentlicht diagnostische Referenzwerte für Untersuchungen mit ionisierender Strahlung und radioaktiven Stoffen.“, und in Satz 2: „Das Bundesamt für Strahlenschutz prüft spätestens drei Jahre nach der letzten Veröffentlichung, ob die diagnostischen Referenzwerte aktualisiert werden müssen und aktualisiert sie gegebenenfalls.“ In § 122 Absatz 3 StrlSchV heißt es: „Der Strahlenschutzverantwortliche hat dafür zu sorgen, dass die diagnostischen Referenzwerte nach § 125 Absatz 1 Satz 1 bei Untersuchungen von Personen mit radioaktiven Stoffen oder ionisierender Strahlung zugrunde gelegt werden.“

Vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) wurden DRW für radiologische und nuklearmedizinische Untersuchungen erstmals mit Bekanntmachung vom 10. Juli 2003 veröffentlicht [1]. Die DRW für diagnostische und interventionelle Röntgenuntersuchungen wurden mit Bekanntmachungen vom 22. Juni 2010 [2], 22. Juni 2016 [3] und 16. August 2018 [4] aktualisiert; die erste Aktualisierung der DRW für nuklearmedizinische Untersuchungen erfolgte am 25. September 2012 [5].

Die DRW geben die für eine gute Bildqualität notwendige Aktivität bei der Verwendung üblicher Messsysteme an und sollen bei Standardverfahren appliziert werden. Nichtsdestotrotz können und sollen sie unterschritten werden, wenn die erreichte Bildqualität für die diagnostische Bewertung hinreichend gut ist, z. B. bei Verwendung neuer Gerätetechnologien. Die Einhaltung der DRW ersetzt also nicht das Optimierungsgebot nach § 83 Absatz 5 StrlSchG: „Die Exposition durch eine Untersuchung mit ionisierender Strahlung oder radioaktiven Stoffen ist so weit einzuschränken, wie dies mit den Erfordernissen der medizinischen Wissenschaft zu vereinbaren ist“.

Die DRW sind als 75. Perzentile einer Verteilung von Patientendosen verschiedener Anwender festgelegt, und nicht als Optimalwerte zu interpretieren. Andererseits stellen sie keine Grenzwerte für Patientenuntersuchungen dar und gelten auch nicht für individuelle Strahlenanwendungen. Sie gelten vielmehr für ein typisches Patientenkollektiv, denn die



Dosis einer Untersuchung bzw. die applizierte Aktivität hängt nicht nur von der verwendeten Gerätetechnik und der technischen Durchführung der Untersuchung ab, sondern von vielen weiteren Faktoren, wie z. B. den Körpermaßen und dem Gewicht des Patienten oder der Mitarbeit des Patienten. Wenn aus einem dieser Gründe die applizierte Aktivität bei einem Patienten höher liegt als der entsprechende DRW, so ist das erklärbar und zu dokumentieren, erfordert aber keine weiteren Konsequenzen. Doch sollte der für eine Gruppe von mindestens zehn Patienten erhobene Medianwert der applizierten Aktivität den jeweiligen DRW in der Regel nicht überschreiten.

Den ärztlichen Stellen fällt die Aufgabe zu, die Beachtung der DRW bei der Patientenexposition zu überprüfen (§ 130 Absatz 1 Satz 2 Nummer 4 StrlSchV) sowie gegebenenfalls Optimierungsmaßnahmen vorzuschlagen und nachzuprüfen, ob und wie weit die Vorschläge umgesetzt werden (§ 130 Absatz 2 StrlSchV). Die ärztlichen Stellen sind verpflichtet, jede beständige, ungerechtfertigte Überschreitung der DRW der zuständigen Landesbehörde zu melden (§ 130 Absatz 3 Satz 1 Nummer 3 StrlSchV). Die Behörde kann daraufhin eine Überprüfung vor Ort veranlassen oder selbst durchführen, um die Ursachen für die beständige Überschreitung zu finden und zusammen mit den ärztlichen Stellen Maßnahmen zur Verringerung der Strahlenexposition zu empfehlen. Weiterhin übermittelt die zuständige Behörde dem BfS einmal pro Jahr die von den ärztlichen und zahnärztlichen Stellen erfassten Daten zur Exposition in anonymisierter Form (§ 125 Absatz 1 Satz 3 StrlSchV). Diese Maßnahme soll das BfS in die Lage versetzen, die DRW in regelmäßigen Zeitabständen zu prüfen und ggfs. zu aktualisieren.

Aktualisierte DRW für nuklearmedizinische Untersuchungen

Mit der vorliegenden Bekanntmachung erfolgt die zweite Aktualisierung der DRW für nuklearmedizinische Untersuchungen auf Grundlage der Ergebnisse eines Fachgesprächs, an dem Vertreter des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, der Strahlenschutzkommission, der ärztlichen Stellen sowie verschiedener Fachgesellschaften beteiligt waren. Der Aktualisierung liegen die Resultate einer umfangreichen Erhebung zu den in Deutschland durchgeführten nuklearmedizinischen Untersuchungen [6] sowie Meldungen der ärztlichen Stellen zu Grunde. Die aktualisierten DRW ersetzen die bisher gültigen und sind bei der Untersuchung von Menschen zu Grunde zu legen.

In Tabelle 1 sind die DRW für erwachsene Patientinnen und Patienten für häufige nuklearmedizinische Untersuchungen zusammengestellt, die mehr als 97 % aller nuklearmedizinischen Untersuchungen in Deutschland abdecken. Andere nuklearmedizinische Untersuchungen, die keine nennenswerten Beiträge zur kollektiven effektiven Dosis liefern, sowie Untersuchungen, die im Rahmen der Radionuklidtherapie, z. B. zur prätherapeutischen Dosimetrie angewendet werden, sind nicht berücksichtigt.

Den Empfehlungen der ICRP folgend, wird für PET-Untersuchungen und für einige ausgewählte Untersuchungen im Körperstammbereich der DRW als Aktivität pro Körpergewicht angegeben. Aus praktischen Gründen wird auf eine Anpassung der DRW nach dem Body-Mass-Index bzw. dem Lean-Body-Mass-Index verzichtet. Weitere Änderungen gegenüber der bisher geltenden Bekanntmachung betreffen folgende Untersuchungen:

- Die Unterscheidung zwischen malignen und benignen Knochenerkrankungen wird nicht mehr weitergeführt. Stattdessen wird für die Knochenszintigraphie unter Verwendung von mit ^{99m}Tc -markierten Phosphonaten ein allgemeingültiger gewichtsadaptierter DRW von 8 MBq pro Kilogramm Körpergewicht festgelegt.
- Es werden weiterhin zwei Referenzwerte für die Myokardszintigraphie mit Sestamibi bzw. Tetrofosmin festgelegt. Sie beziehen sich auf ein „Eintagesprotokoll“ bzw. „Zweitagesprotokoll“. Der Wert für das Eintagesprotokoll gilt für beide Applikationen zusammen. Nach Möglichkeit soll zuerst die Stressuntersuchung durchgeführt werden. Bei der zweiten Untersuchung wird üblicherweise die dreifache Menge der ersten Aktivität injiziert [13]. Der Wert für das Zweitagesprotokoll gilt für jede einzelne Applikation.
- Der DRW von 160 MBq für die Lungenperfusionsszintigraphie mit ^{99m}Tc -MAA gilt für Perfusionsstudien, die nach einer Ventilation erfolgen. Für eine reine Perfusionsuntersuchung wird der DRW auf 50 MBq ^{99m}Tc -MAA festgesetzt. Reine Perfusionsuntersuchungen sollten aber aufgrund niedriger Spezifität – außer in Ausnahmefällen (z. B. Schwangerschaft) – nicht mehr durchgeführt werden. Die bisherige Unterscheidung zwischen planarer und SPECT-Technik entfällt.
- Es wird weiterhin ein DRW für die Szintigraphie zur Tumordetektion im Körperstamm mit ^{111}In -Octreotid festgelegt. Aufgrund der geringeren diagnostischen Aussagekraft dieser Substanz ist aber eine Untersuchung mit PET vorzuziehen.

Einige Untersuchungen, für die in der Bekanntmachung von 2012 ein DRW festgelegt wurde, werden nun nicht mehr berücksichtigt, da sie, wenn überhaupt, nur selten durchgeführt werden und/oder durch andere, dosisärmere Untersuchungen ersetzt werden können.

Auf Basis der durchgeführten Datenerhebung werden nun DRW für folgende Untersuchungen neu eingeführt:

- Untersuchung des Ganzkörpers mit ^{99m}Tc -Tektrotyd;
- Sentinel-Lymphknoten-Diagnostik bei Mammakarzinom mit ^{99m}Tc -markierten-Kolloiden. Für diese Untersuchung werden zwei unterschiedliche DRW festgelegt, je nachdem, ob die Untersuchung am gleichen Tag wie der operative Eingriff stattfindet oder Untersuchung und OP an zwei aufeinander folgenden Tagen erfolgen;
- Untersuchung des Gehirns mit ^{18}F -FET;
- Untersuchung des Ganzkörpers mit ^{68}Ga -PSMA;
- Untersuchung des Ganzkörpers mit ^{68}Ga -DOTA-Peptiden.



Für Ventilationsstudien mit ^{99m}Tc -DTPA bzw. ^{99m}Tc -Technegas beziehen sich die DRW auf die Aktivität im Vernebler/Generator. Die dosimetrisch und diagnostisch relevante Größe ist aber die in die Lunge deponierte Aktivität, und nicht die im Vernebler bzw. Generator produzierte Aktivität. Sobald wissenschaftlich belastbare Daten vorliegen, werden DRW festgelegt werden, die sich auf die inhalierte Aktivität im Patienten beziehen.

Die bei pädiatrischen Untersuchungen zu verabreichenden Aktivitäten sind als Bruchteile der in Tabelle 1 angegebenen Erwachsenen-Aktivität in Abhängigkeit vom Körpergewicht festgelegt. Diese Bruchteile sind in Tabelle 2 aufgeführt. Sie sind einer Publikation von Jacobs et al. [14] entnommen (Cluster B), die auch der Paediatric Dosage Card der EANM [15], Class B, zu Grunde liegt. Dabei sollen die verabreichten Aktivitäten allerdings nicht die untersuchungsabhängige minimale Aktivität unterschreiten, die in Tabelle 1 Spalte 6 angegeben ist. Diese minimalen Aktivitäten sind ebenfalls der Paediatric Dosage Card der EANM [15] entnommen. Für Untersuchungen, die nur sehr selten an Kindern durchgeführt werden, sind in Tabelle 1 keine minimalen Aktivitäten angegeben und damit auch keine DRW festgelegt.

Schließlich werden in Tabelle 3 erstmals DRW für auxiliäre CT-Untersuchungen (sogenannte „Low-Dose“-CT-Aufnahmen), die zur Schwächungskorrektur und/oder anatomischen Koregistrierung bei Hybriduntersuchungen an PET/CT- und SPECT/CT-Systemen durchgeführt werden, festgelegt. Die Angaben beziehen sich auf den CT-Volumen-Dosisindex (CTDI_{vol}) und gelten sowohl für PET/CT als auch SPECT/CT-Geräte. Aufgrund der diskontinuierlichen Scanlängen an Hybrid-Systemen, werden keine Referenzwerte für das Dosis-Längen-Produkt (DLP) festgelegt.

Literatur:

- [1] Bundesamt für Strahlenschutz (2003) Bekanntmachung der diagnostischen Referenzwerte für radiologische und nuklearmedizinische Untersuchungen vom 10. Juli 2003 (BAAnz. S. 17 503).
- [2] Bundesamt für Strahlenschutz (2010) Bekanntmachung der aktualisierten diagnostischen Referenzwerte für diagnostische und interventionelle Röntgenuntersuchungen vom 22. Juni 2010 (BAAnz. S. 2594).
- [3] Bundesamt für Strahlenschutz (2016) Bekanntmachung der aktualisierten diagnostischen Referenzwerte für diagnostische und interventionelle Röntgenanwendungen vom 22. Juni 2016 (BAAnz AT 15.07.2016 B8).
- [4] Bundesamt für Strahlenschutz (2018) Bekanntmachung der aktualisierten diagnostischen Referenzwerte für interventionelle Röntgenanwendungen vom 16. August 2018 (BAAnz AT 03.09.2018 B8).
- [5] Bundesamt für Strahlenschutz (2012) Bekanntmachung der aktualisierten diagnostischen Referenzwerte für nuklearmedizinische Untersuchungen vom 25. September 2012 (BAAnz AT 19.10.2012 B5).
- [6] Borowski, M., Pirl, L. (2020) Erhebung von Häufigkeit und Dosis nuklearmedizinischer Untersuchungsverfahren – Vorhaben 3617S42443. BfS-RESFOR-164/20. (<http://doris.bfs.de/jspui/handle/urn:nbn:de:0221-2020091722831>).
- [7] International Commission on Radiological Protection (2007) Radiological Protection in Medicine. ICRP Publication 105. Ann. ICRP 37 (6).
- [8] International Commission on Radiological Protection (2017) Diagnostic reference levels in medical imaging. ICRP Publication 135. Ann. ICRP 46 (1).
- [9] Council of the European Union (1997) Council Directive 97/43/EURATOM of 30 June 1997 on health protection of individuals against the dangers of ionizing radiation in relation to medical exposure, and repealing Directive 84/466/EURATOM. Official Journal of the European Communities No L 180/22, 9.7.1997.
- [10] Council of the European Union (2013) Council Directive 2013/59/EURATOM of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom und 2003/122/Euratom. Official Journal of the European Union No L 13/1, 17.1.2014.
- [11] Strahlenschutzverordnung vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714; 2002 I S. 1459), aufgehoben durch Artikel 20 Absatz 1 Satz 2 der Verordnung vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034) mit Wirkung vom 31. Dezember 2018.
- [12] Strahlenschutzverordnung vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034, 2036), die zuletzt durch Artikel 6 des Gesetzes vom 20. Mai 2021 (BGBl. I S. 1194) geändert worden ist.
- [13] Bengel, F., Burchert, W., Dörr, R., Hacker, M., Lindner, O., Schäfer, W., Schäfers, M., Schmidt, M., Schwaiger, M., vom Dahl, J., Zimmermann, R. (2017) DGN-Handlungsempfehlung (S1-Leitlinie) Myokard-Perfusions-SPECT (Stand: 2/2017) – AWMF-Registernummer 031-006.
- [14] Jacobs, F., Thierens, H., Piepsz, A., Bacher, K., Van de Wiele, C., Ham, H., Dierckx, R.A. (2005) Optimised tracer-dependent dosage cards to obtain weight-independent effective doses. Eur J Nucl Med Mol Imaging 32, 581-588.
- [15] Lassmann, M., Treves, S.T. (2014) Pediatric Radiopharmaceutical Administration: Harmonization of the 2007 EANM Paediatric Dosage Card (Version 1.5.2008) and the 2010 North America Consensus guideline. Eur J Nucl Med Mol Imaging. 41, 1036-1041.