



Wegleitung

Lungenventilation

V1 14.06.2024

www.bag.admin.ch/

[str-wegleitungen](#)

Kontakt

Tel.: 058 462 96 14

E-Mail: str@bag.admin.ch

Empfehlungen zum Schutz des Personals bei der Lungenventilationsszintigraphie

Die Durchführung einer Lungenventilation kann mit einem Kontaminations- sowie Inkorporationsrisiko für das Personal verbunden sein. In dieser Wegleitung werden verschiedene Untersuchungsmethoden miteinander verglichen. Dabei werden die Gefahr für das Personal abgeschätzt und Massnahmen zur Reduktion der Strahlendosis für das Personal empfohlen.

1 Ausgangslage

Die Lungenventilationsszintigraphie wird in den meisten Fällen in Kombination mit einer Lungenperfusionsszintigraphie zum Nachweis bzw. Ausschluss von Lungenembolien durchgeführt. Bei der Lungenventilationsszintigraphie wird über die Atemluft ein Radiopharmazeutikum zugeführt, dessen Verteilung in den Lufträumen der Lunge anhand der von ihr ausgehenden Gammastrahlung beobachtet wird. Die Ventilationsszintigraphie wird mit einer Gamma-Kamera durchgeführt, entweder während des Einatmens eines radioaktiven Edelgases oder nach dem Einatmen von radioaktivem Aerosol nach dessen Ablagerung im Bronchialsystem.

Die Lungenventilationsszintigraphie wird teilweise durch Computertomographie mit Kontrastmittel ersetzt (CT-Angiographie), obwohl die CT-Untersuchung eine höhere Patientendosis zur Folge hat. Ein CT verursacht für die Patientinnen und Patienten eine effektive Dosis von 2–6 mSv [1]. Demgegenüber liegt die effektive Dosis der Lungenventilationsszintigraphie in der Regel unter 1 mSv. Neben der geringeren Strahlenbelastung gehören auch die wegfallende Belastung der Niere durch das Kontrastmittel sowie die höhere Sensitivität für periphere Lungenembolien zu den Vorteilen der Lungenventilationsszintigraphie.

In die ärztliche Entscheidung, ob für die Untersuchung die Lungenventilationsszintigraphie oder die CT-Angiographie gewählt wird, müssen jedoch auch andere Parameter miteinbezogen werden.

Die Vor- und Nachteile beider Methoden werden in der Publikation von Vock übersichtlich dargestellt [2]

2 Durchführung

Es stehen verschiedene Ventilationssysteme und Radiopharmazeutika für die Lungenventilationsuntersuchung zur Verfügung. Nachfolgend wird die Lungenventilation mit einem mit Tc-99m-markierten Aerosol (z. B. Tc-99m-DTPA) oder mit den als «Technegas» bekannten, Tc-99m-markierten Kohlenstoffpartikeln näher besprochen.

Tabelle 1: Übliche Aktivitäten bei einer Lungenventilationsszintigraphie und die effektive Dosis für Patientinnen und Patienten mit Tc-99m-DTPA (Aerosol) und Tc-99m-Technegas.

Radiopharmazeutikum	Aktivität im Aerosol-generator	Aktivität in der Lunge deponiert	Effektive Dosis ¹
Tc-99m-DTPA (Aerosol)	400–1300 MBq	ca. 50–100 MBq	ca. 0.35–0.70 mSv
Tc-99m-Technegas	300–700 MBq	ca. 20–50 MBq	ca. 0.30–0.75 mSv

¹ Für eine erwachsene Patientin / einen erwachsenen Patienten

2.1 Tc-99m-DTPA (Aerosol)

Die Zerstäubung von Tc-99m-DTPA zu einem Aerosol kann in verschiedenen Systemen erfolgen (z. B. «VentiscanTM»- oder das «SmartVentTM»). Je nach System werden 400–1300 MBq Tc-99m-DTPA-Lösung in den Radio-Aerosol-Generator gegeben, wovon etwa 20–40 MBq in den Lungen der Patientin oder dem Patienten deponiert wird. Die Inhalationsdauer beträgt je nach System 1 bis 5 Minuten. Die effektive Dosis beträgt 0,007 mSv pro MBq, also im Normalfall ca. 0,28 mSv pro Untersuchung. Wenn eine Patientin oder ein Patient während der Behandlung das Mundstück entfernt, entweichen je nach verwendetem System verschiedene Mengen Radio-Aerosol. Dabei soll gemäss Firmenangabe beim SmartVent-System kein Radio-Aerosol entweichen.

2.2 Tc-99m-Technegas

Technegas wird in einem sogenannten Technegas-Generator hergestellt. Dabei werden in einer sauerstofffreien Argon-Atmosphäre Graphittiegel aus ultrareinem Graphit in Gegenwart von Tc-99m-Natriumpertechnetat auf 2550 °C erhitzt. Bei dieser hohen Temperatur verdampft eine sehr geringe Menge Graphit und es bildet sich eine ultrafeine Dispersion aus Tc-99m-markierten Kohlenstoff-Mikropartikeln (Technegas-Aggregate).

Nach dem Einatmen des Technegas werden diese Mikropartikel zum grössten Teil in den Lungenalveolen abgelagert, nur ein kleiner Teil wird wieder ausgeatmet. Es findet keine Ausscheidung durch Diffusion in den Gefässraum statt, weshalb die Radioaktivität in den Lungen praktisch mit der physikalischen Halbwertszeit des Tc-99m abnimmt. Bei Patientinnen und Patienten mit schweren Atemwegserkrankungen kann es vorkommen, dass sich ein Teil der Tc-99m-Technegas-Partikel bereits in den oberen Atemwegen abgelagert und dort verbleibt. Diese Radioaktivität wird hauptsächlich mit dem Schleim abgehustet oder nach dem Schlucken über den Magen-Darm-Trakt ausgeschieden, ohne dass dort eine Aufnahme erfolgt.

Der Graphittiegel sollte mit 200–750 MBq Tc-99m-Per technetat gefüllt werden. Von dieser Aktivität werden nur etwa 20–30 % in die Technegas-Aggregate eingebaut und von der Patientin oder dem Patienten eingeatmet. Die Menge und spezifische Aktivität des inhalierten Tc-99m-Technegas sind zudem stark abhängig davon, wie viel Zeit zwischen der Herstellung des Tc-99m-Technegas bis zu dessen Inhalation verstreicht. Technegas sollte bis spätestens zehn Minuten nach dessen Herstellung im Generator verabreicht werden. Die Patientin oder der Patient inhaliert das Aerosol mit 3–5 Atemzügen. Die effektive inhalierte Dosis für Patienten beträgt 0,018 mSv/MBq, also maximal 4 mSv (30 % von 750 MBq), in der Regel jedoch ca. 0,7 mSv (20 % von 200 MBq).

2.3 Kontaminations- und Inhalationsgefahr für das Personal

Bei der Anwendung von Radio-Aerosolen können z. B. eine schlechte Kooperation der Patientin oder des Patienten oder Schwierigkeiten mit der Atmung über das Schlauchsystem zu einer Kontamination der Luft führen. In solchen Fällen besteht grundsätzlich eine gewisse Kontaminations- und Inhalationsgefahr für das Personal. Insbesondere bei der Verwendung des Technegas-Systems ist die Wahrscheinlichkeit einer Kontamination erhöht. Aus diesem Grund wird dieses System nachfolgend detailliert behandelt.

Petzold et al. [3] haben untersucht, welche Aktivität an Tc-99m-Kohlenstoffpartikeln bei der Lungenventilationsszintigraphie mittels Technegas vom Personal inkorporiert wird, und mit welchen Massnahmen die Inkorporation verringert werden kann.

Nachfolgend werden die vorgeschlagenen Massnahmen aufgelistet, welche zu einer Verringerung der Inkorporation beim Personal um einen Faktor 1000 geführt haben:

- Aufrüstung des Generators mit moderner Filtertechnik und Änderung der Steuerungssoftware;
- Positionierung einer zusätzlichen Absaugeinheit mit Absaugglocke beim Kopf der Patientin/des Patienten während und nach der Ventilation. Die Saugleistung sollte etwa 300 m³/h betragen
- Die Patientin/der Patient muss nach der Ventilation während mindestens einer Minute Umgebungsluft in die Absaugeinheit ausatmen;

- Bestimmung des Zeitpunkts, an dem die angereicherte Aktivität in der Lunge für die Szintigraphie ausreicht mittels externer Aktivitätsmessung;
- Kleiderwechsel und Duschen nach der Behandlung.

Mittels eines Ganzkörperzählers haben Petzold et al. die vom Personal inkorporierten Aktivitäten nach einer Untersuchung mit Technegas ermittelt. Ohne Umsetzung dieser Massnahmen wurden 500–800 kBq pro Untersuchung gemessen, wobei nicht die gesamte Aktivität tatsächlich inkorporiert, sondern auch als Oberflächenkontamination auf den Kleidern abgelagert wurde. Die Messwerte konnten somit durch einen Kleiderwechsel und Duschen um 80–90 % reduziert werden.

Für die Abschätzung der tatsächlichen Inkorporation wurde deshalb der für die Lunge berechnete Wert in Becquerel mit einem Faktor 0,25 multipliziert, um den Anteil der überlagernden Kontamination zu korrigieren. Dieser Faktor ist grösser als der höchste gemessene Einzelwert um die Inkorporation nicht zu unterschätzen. Die mit dieser Korrektur berechnete inkorporierte Aktivität führte zu einer effektiven Dosis von maximal 3,6 µSv pro Untersuchung. Bei 20 Untersuchungen pro Jahr ergibt dies eine effektive Dosis von 72 µSv. Vergleicht man diese Dosis für das Personal zum Beispiel mit jener durch die externe Bestrahlung bei PET-Untersuchungen, kann die Gefahr durch Lungenventilationsuntersuchungen als sehr gering eingestuft werden, wenn alle oben aufgeführten Vorsichtsmassnahmen eingehalten werden. Bei Untersuchungen mit Tc-99m-DTPA ist die Dosis sogar noch etwas tiefer.

3 Empfehlungen des BAG

Jede Lungenventilationsuntersuchung birgt das Risiko einer Kontamination und Inkorporation für das Personal. Aus diesem Grund empfiehlt das BAG, unmittelbar nach jeder Untersuchung eine Triagemessung durchzuführen und nicht erst am Ende des Tages, wie es die Dosimetrieverordnung [4] vorschreibt. Mit dieser Kontrollmessung würde zudem auch eine Kontamination entdeckt.

Ein Kleiderwechsel wird empfohlen, wenn die Triagemessung einen erhöhten Wert anzeigt. Es wurde festgestellt, dass Einweg-Überkleidung die Kontamination der darunter getragenen Kleidung nicht vollständig verhindern kann [3].

Nach dem Wechsel und, falls nötig, zusätzlicher Massnahmen zur Körperdekontamination (z. B. Duschen) muss die Triagemessung wiederholt werden.

Falls die Ventilation selbst direkt neben der Gamma-Kamera durchgeführt wird, ist es ratsam, die Messflächen der Kamera mit Tüchern gut abzudecken.

Ausserdem soll darauf geachtet werden, die Zeit zwischen Ventilation und Messung so kurz wie möglich zu halten. Die Untersuchung soll in einem Raum stattfinden, der nicht gleichzeitig von anderen Patientinnen und Patienten genutzt wird.

4 Referenzen

- [1] Mayo J. R., Aldrich J., Müller N. L. Radiation exposure at chest CT: a statement of the Fleischner Society. *Radiology* 2003; 228: 15-21.
- [2] Vock P., Müller-Brand J., Valley J.-F. Medizinische Strahlenexposition in der Schweiz. Teil 2: Die Rolle dosisintensiver Untersuchungen, insbesondere der Computertomographie (CT). *Schweiz Med Forum* 2004; 4: 865-872.
- [3] Petzold J., Alborzi H., Fundke R., Petzold L., Sabri O., Seese A., «*Verringerung der Inkorporation von ^{99m}Techne- tium beim Personal während Lungenventi- lationsuntersuchungen.*» in *Strahlenschutzpraxis* 2007, Heft 3/2007, S.23-28.
- [4] Verordnung über die Personen- und Umgebungs- dosimetrie (Dosimetrieverordnung, *SR 814.501.43*) vom 26. April 2017, Anhang 15, Nr. 22.

5 Rechtlicher Stellenwert

Diese Wegleitung ist eine Vollzugshilfe des BAG als Aufsichts- behörde für Strahlenschutz und richtet sich primär an die Bewilligungsinhaber bzw. Sachverständigen. Sie konkretisiert Anforderungen aus dem Strahlenschutzrecht und entspricht dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik. Berücksichtigen die Bewilligungsinhaber bzw. Sachverständigen diese Wegleitung, so können sie davon ausgehen, dass sie das Strahlenschutzrecht rechtskonform vollziehen.