



Strahlenschutzkommission

Geschäftsstelle der
Strahlenschutzkommission
Postfach 12 06 29
D-53048 Bonn

<http://www.ssk.de>

**Verwendung von Jodtabletten zur Jodblockade der
Schilddrüse bei einem Notfall mit Freisetzung von
radioaktivem Jod**

Empfehlung der Strahlenschutzkommission

Vorwort

Auf Grundlage der Erfahrungen aus dem Reaktorunfall in Fukushima und der aktuellen Leitlinie der WHO zur Jodblockade der Schilddrüse hat das Bundesumweltministerium die Strahlenschutzkommission (SSK) um Überprüfung und ggf. Aktualisierung der zuletzt 2011 veröffentlichten Merkblätter zur „Verwendung von Jodtabletten zur Jodblockade der Schilddrüse bei einem kerntechnischen Unfall“ (sog. Jodmerkblätter) gebeten.

Die Überarbeitung der Jodmerkblätter, die zu der vorliegenden Empfehlung führte, wurde durch die Arbeitsgruppe „Medizinischer Notfallschutz“ der Ausschüsse „Strahlenschutz in der Medizin“ und „Notfallschutz“ der Strahlenschutzkommission vorgenommen. Die folgenden Mitglieder gehörten der Arbeitsgruppe an:

- Herr Prof. Dr. Burchert, Herz- und Diabeteszentrum NRW, Bad Oeynhausen
- Herr Dipl.-Phys. Fehringer, Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse, Köln
- Herr Dr. Kirchinger, Helmholtz Zentrum München
- Herr Dipl.-Phys. Kopp, Klinikum Augsburg
- Herr Prof. Dr. Port, Institut für Radiobiologie der Bundeswehr, München
- Herr Prof. Dr. Reiners, Universität Würzburg
- Frau Dr. Schneider, Universität Würzburg

Die Überprüfung ergab insgesamt nur geringfügigen Bedarf an inhaltlichen Änderungen, sowohl im Merkblatt für Ärzte und Apotheker als auch im Merkblatt für die Bevölkerung. Allerdings wurden die Merkblätter mit dem Ziel der besseren Verständlichkeit und der umfassenderen Information über das Schutzkonzept redaktionell überarbeitet und ergänzt.

Bonn, im April 2018

Dipl.-Phys. Franz Fehringer
Vorsitzender der Arbeitsgruppe
"Medizinischer Notfallschutz"

Prof. Dr. Joachim Breckow
Vorsitzender der
Strahlenschutzkommission

Prof. Dr. Stefan Delorme
Vorsitzender des Ausschusses
"Strahlenschutz in der Medizin"

Dipl.-Phys. Jürgen Kopp
Vorsitzender des Ausschusses
"Notfallschutz"

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Empfehlung und Begründung | 4 |
| 2 | Merkblatt für Ärzte, Apotheker und die Fachöffentlichkeit | 6 |
| 3 | Merkblatt für die Bevölkerung | 13 |
| 4 | Literaturhinweise | 18 |

1 Empfehlung und Begründung

Auf Grundlage der Erfahrungen aus dem Reaktorunfall in Fukushima und der aktuellen Leitlinie der WHO zur Jodblockade der Schilddrüse (im Folgenden Jodblockade genannt) hat das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) die Strahlenschutzkommission (SSK) um Überprüfung der zuletzt 2011 veröffentlichten Merkblätter zur „Verwendung von Jodtabletten zur Jodblockade der Schilddrüse bei einem kerntechnischen Unfall“ (sog. Jodmerkblätter) gebeten.

Die Überprüfung ergab insgesamt nur geringfügigen Bedarf an inhaltlichen Änderungen sowohl im Merkblatt für Ärzte und Apotheker als auch im Merkblatt für die Bevölkerung. Die Merkblätter wurden aber mit dem Ziel der besseren Verständlichkeit und der umfassenderen Information über das Schutzkonzept redaktionell überarbeitet und ergänzt.

Ziel der Jodblockade in Form der Einnahme von hohen Dosen stabilen Jods (wissenschaftliche Schreibweise Iod) in der Größenordnung des 100- bis 1000fachen der täglichen Nahrungszufuhr ist in erster Linie die Verhinderung von strahleninduziertem Schilddrüsenkrebs bei besonders vulnerablen Gruppen der Bevölkerung (Ungeborene, Kinder und Jugendliche). Schwangere und Stillende zählen auch zur Gruppe der besonders vulnerablen Personen, da über sie die Ungeborenen und die Säuglinge geschützt werden.

Deutschland galt in der Vergangenheit als Gebiet mit ausgeprägtem ernährungsbedingtem Jodmangel. Diese Situation hat sich mit der Einführung jodierten Speisesalzes in Deutschland seit 1989 deutlich verbessert. Aktuelle Studien zeigen jedoch, dass weiterhin ein leichter Jodmangel nach den Kriterien der Weltgesundheitsorganisation (WHO) besteht, der nicht mehr regional, sondern durch die Ernährungsgewohnheiten bestimmt ist. Deshalb kommt der Jodblockade in Deutschland eine höhere Bedeutung zu als in ausreichend jodversorgten Ländern.

Die bisherige Empfehlung der SSK besagt, Personen, die älter als 45 Jahre sind, keine Kaliumiodidtabletten zur Jodblockade (im Folgenden Jodtabletten genannt) zu verabreichen, da mit steigendem Lebensalter das Risiko von Nebenwirkungen wie der Auslösung einer Überfunktion in einer durch Jodmangel vorgeschädigten Schilddrüse höher ist als das geringe Risiko, durch notfallbedingte Expositionen mit radioaktivem Jod an Schilddrüsenkrebs zu erkranken. Die SSK empfiehlt, an der Altersgrenze von 45 Jahren bis auf weiteres als Orientierungswert festzuhalten, weil sich der Schilddrüsenstatus durch Verbesserung der Jodversorgung gerade bei älteren Personen noch nicht so stark verändert hat wie bei jüngeren Personen. Die genannte Altersgrenze gilt nicht für Personen, die während eines Notfalls bzw. unmittelbar danach in einer kerntechnischen Anlage tätig sind.

Im Regelfall genügt die einmalige Einnahme von Tabletten mit einer ausreichend hohen Menge stabilen Jods. Auf Ausnahmen von dieser Regel wurde bereits in den Jodmerkblättern von 2011 hingewiesen. Nicht zuletzt der Ablauf des Reaktorunfalls in Fukushima zeigte, dass radioaktives Jod wiederholt über einen Zeitraum von Tagen freigesetzt werden kann. Für den Fall der wiederholten oder länger anhaltenden Jodfreisetzung sowie bei Freisetzung mehr als einige Stunden nach zurückliegender Tabletteneinnahme empfiehlt die SSK die erneute Einnahme von Jodtabletten.

Neu in die aktuelle Empfehlung aufgenommen werden Hinweise auf weitere frühe Schutzmaßnahmen wie Aufenthalt in Gebäuden, Evakuierung und Vermeidung des Verzehrs von kontaminierter Nahrung und kontaminiertem Trinkwasser. Auch ein Hinweis auf die Verwendung einfacher Atemschutzmasken zur Einschränkung der Inhalation von radioaktivem Jod wird gegeben.

Den für die Planung der Jodblockade zuständigen Behörden wird nachdrücklich empfohlen, die Ärzte und Apotheker in potenziellen Verteilungsgebieten vorab mit den Jodmerkblättern und Informationen über die Jodblockade zu versorgen, z. B. durch Hinweise auf die Internetseite www.jodblockade.de. Es wird weiterhin empfohlen, das Thema Jodblockade im Rahmen der ärztlichen Fortbildung zu behandeln.

Darüberhinaus empfiehlt die SSK dem Bundesumweltministerium, Initiativen im Hinblick auf die Harmonisierung der Maßnahme Jodblockade in Europa zu ergreifen.

2 Merkblatt für Ärzte, Apotheker und die Fachöffentlichkeit

Vorbemerkungen

Die für den Bevölkerungsschutz zuständigen Behörden bevorraten Kaliumiodidtabletten zur Jodblockade der Schilddrüse (im Folgenden Jodtabletten genannt), um diese bei einem nuklearen oder anderen radiologischen Notfall an die Bevölkerung auszugeben, sofern sie nicht schon unter bestimmten Voraussetzungen vorher bereitgestellt wurden. Das vorliegende Merkblatt soll den Arzt, Apotheker und die Fachöffentlichkeit über die wesentlichen, mit einer Jodblockade der Schilddrüse (im Folgenden Jodblockade genannt) zusammenhängenden Fragen informieren. Auf das separate Merkblatt für die Bevölkerung wird in diesem Zusammenhang verwiesen.

Jodtabletten schützen nicht vor Strahlung, die von außerhalb den Körper trifft, oder vor der Wirkung anderer radioaktiver Stoffe außer Jod, die in den Körper aufgenommen worden sind.

Was ist das Prinzip der Jodblockade?

Zu den Spaltprodukten, die beim Betrieb von Kernreaktoren entstehen, gehören die verschiedenen radioaktiven Isotope des Jods. Sie nehmen wegen der biologischen Besonderheit des Jods, nämlich seiner Aufnahme in die Schilddrüse und den Einbau in die Schilddrüsenhormone, eine Sonderstellung ein. Da bei den in Kernreaktoren vorhandenen Temperaturen das Jod in gasförmigem Zustand vorliegt, muss bei Unfällen unter ungünstigen Umständen mit der Abgabe von radioaktivem Jod in die Luft gerechnet werden. Dieses radioaktive Jod wird sich zum größten Teil auf dem Boden und auf Pflanzen niederschlagen. Von dort kann es mit den Nahrungsmitteln, insbesondere mit der Milch, in den Menschen gelangen. Radioaktives Jod kann aber auch mit der Atemluft aufgenommen und in den Lungen resorbiert werden.

Nach der Aufnahme über die Lunge oder der Resorption im Magen verhält sich das radioaktive Jod genauso wie stabiles Jod. Es wird im Blutplasma transportiert und vorübergehend in den Speicheldrüsen und in der Magenschleimhaut angereichert. Hauptsächlich wird das Jod von der Schilddrüse mittels des sogenannten Natrium-Iod-Symporters (NIS) aufgenommen und dort länger gespeichert (biologische Halbwertszeit etwa 80 Tage). Die Aufnahme und Speicherung hängt vom Funktionszustand der Schilddrüse ab, bei normaler Schilddrüsenfunktion insbesondere vom Jodangebot in der Nahrung.

Die Speicherung von radioaktivem Jod in der Schilddrüse kann effektiv verhindert werden, wenn kurz vor oder nach dessen Aufnahme eine größere Menge von stabilem (nicht radioaktivem) Jod in hohen Einzeldosen eingenommen wird (etwa das 100- bis 1 000fache der normalen täglichen Zufuhr mit der Nahrung, altersabhängig zwischen 12,5 mg und 100 mg Jod, siehe Tabelle 1). Die hierdurch erzielbare „Jodblockade“ der Schilddrüse wird nach heutigen Erkenntnissen durch eine massive Erhöhung der Jod-Plasmaspiegel erreicht, die über einen noch nicht geklärten Mechanismus zu einem stark verminderten Transport des radioaktiven Jods über den NIS in die Schilddrüsenzelle führt. Das noch im Blutplasma zirkulierende, nicht in der Schilddrüse gespeicherte Jod wird über die Nieren rasch mit einer biologischen Halbwertszeit von einigen Stunden ausgeschieden. Damit nimmt die Wirksamkeit der Jodblockade rasch ab, was bei wiederholter oder länger anhaltender Freisetzung von radioaktivem Jod berücksichtigt werden muss.

Wirkungen von radioaktivem Jod auf die Schilddrüse: Was ist das Ziel der Jodblockade und für wen ist sie besonders wichtig?

Kommt es zur Aufnahme sehr großer Mengen von radioaktivem Jod in die Schilddrüse, so kann die davon ausgehende Strahlung zum Absterben nennenswerter Gewebeanteile führen mit der Folge einer nach Wochen bis Monaten entstehenden Schilddrüsenunterfunktion.

Radioaktives Jod kann mit der Luft über größere Entfernungen verfrachtet werden und so – in geringeren Mengen – von der Bevölkerung aufgenommen werden. Außer per Inhalation kann radioaktives Jod auch über die Nahrungskette und vor allem über kontaminierte Milch in die Schilddrüse gelangen. In diesen Fällen ist die Strahlendosis in der Regel zu gering, um eine Schilddrüsenunterfunktion zu verursachen. Die Strahlung des radioaktiven Jods führt dann in der Schilddrüse nicht zum Absterben von Gewebe, sondern sie verursacht in den weiterlebenden Zellen Mutationen mit der möglichen Folge von Schilddrüsenkrebs. Besonders empfindlich in dieser Hinsicht sind Ungeborene ab etwa dem dritten Schwangerschaftsmonat sowie Kinder und Jugendliche bis etwa zum 18. Lebensjahr.

Ziel der Jodblockade ist somit in erster Linie die Verhinderung von strahleninduzierten Schilddrüsenkarzinomen bei Ungeborenen, Kindern und Jugendlichen der betroffenen Bevölkerung. Der Fokus liegt dabei auch auf Schwangeren und Stillenden, um über die Mutter das Ungeborene bzw. die Säuglinge zu schützen.

Bei Personen, die während eines Notfalls oder unmittelbar danach in einer kerntechnischen Anlage tätig sind, können die Jodtabletten auch zur Vermeidung einer Schilddrüsenunterfunktion dienen.

Welche Bedeutung hat der ernährungsbedingte Jodmangel in Zusammenhang mit der Jodblockade?

Deutschland galt in der Vergangenheit als Gebiet mit ausgeprägtem ernährungsbedingtem Jodmangel. Diese Situation hat sich mit der Einführung jodierten Speisesalzes in Deutschland seit 1989 deutlich verbessert. Aktuelle Studien zeigen jedoch, dass weiterhin ein leichter Jodmangel nach den Kriterien der Weltgesundheitsorganisation (WHO) besteht, der nicht mehr regional, sondern durch die Ernährungsgewohnheiten bestimmt ist. Bei ernährungsbedingtem Jodmangel ist die Schilddrüse „jodhungrig“ und nimmt bei einer Freisetzung von radioaktivem Jod mehr davon auf als bei ausreichender Jodversorgung. Deshalb kommt der Jodblockade in Deutschland eine höhere Bedeutung zu als in ausreichend jodversorgten Ländern.

Gibt es weniger vulnerable Gruppen in der Bevölkerung?

Das relative Risiko für Personen, die älter als 45 Jahre sind, nach Strahlenexposition an Schilddrüsenkrebs zu erkranken, ist deutlich geringer als für Kinder und Jugendliche (<18 Jahre). Ob es bei älteren Menschen – und wenn, dann mit sehr geringer Wahrscheinlichkeit – überhaupt zu strahleninduzierten Schilddrüsenkarzinomen kommen kann, wird in der Wissenschaft schon seit langem diskutiert. Es gilt aber als sicher, dass bei Erwachsenen eine lange Latenzzeit von 30 bis 40 Jahren vergeht, bis es zur Manifestation einer solchen Krebserkrankung kommt. Dies bedeutet, dass unter Ansetzung der heute üblichen Lebenserwartung nur ein kleiner Teil der wenigen Betroffenen aus der Gruppe der älter als 45-Jährigen den Schilddrüsenkrebs – wenn überhaupt – erleben wird.

Auf der anderen Seite führt der weiterbestehende Jodmangel in Deutschland dazu, dass gutartige Schilddrüsenveränderungen im Sinne von Knoten in der Bevölkerung gerade bei Älteren häufig sind (bei 25% bis 40% der Personen, die älter als 45 Jahre sind, im Vergleich

zu 10% bis 15% der Personen, die 45 Jahre oder jünger sind). Etwa ein Drittel dieser Knoten bei Älteren sind funktionell autonom, was bedeutet, dass bei Aufnahme hoher Jodmengen, wie bei der Jodblockade, das nicht zu vernachlässigende Risiko der Auslösung einer u. U. schweren Schilddrüsenüberfunktion besteht.

Daraus lässt sich im Sinne einer Nutzen-Risiko-Abwägung ableiten, dass die bisher gültige Empfehlung, bei Personen aus der Bevölkerung, die älter als 45 Jahre sind, keine Jodblockade durchzuführen, durchaus sinnvoll ist und bzgl. der Schutzmaßnahmen im Katastrophenschutz weiter gilt.

Personen, die großen Mengen von radioaktivem Jod ausgesetzt sind (z. B. während eines Notfalls bzw. unmittelbar danach in einer kerntechnischen Anlage), sollten Jodtabletten unabhängig von dieser Altersgrenze erhalten, um eine Zerstörung von Schilddrüsenewebe zu verhindern.

Gibt es zusätzliche Maßnahmen, um sich zu schützen?

Die Aufforderung zur Einnahme von Jodtabletten ist nur eine von mehreren Schutzmaßnahmen, welche die Katastrophenschutzbehörde und die anderen für den Schutz der Bevölkerung zuständigen Behörden ggf. durchführen werden. Zur Vermeidung der Aufnahme von radioaktivem Jod mit der Atemluft kann ggf. von der Behörde auch der Aufenthalt in Gebäuden bei geschlossenen Fenstern und Türen empfohlen werden, bis die „radioaktive Wolke“ vorbeigezogen ist. Die Aufnahme von radioaktivem Jod über die Atemluft lässt sich auch durch einfache im Handel erhältliche FFP-Atemschutzmasken, die üblicherweise für den Arbeitsschutz verwendet werden, deutlich verringern. Wirkungsvoller in dieser Hinsicht kann die rechtzeitige Evakuierung sein, am besten vor der Freisetzung von radioaktivem Jod. Es kann nötig sein, diese Maßnahmen mit der Jodblockade zu kombinieren. Am effektivsten im Hinblick auf die Vermeidung der Aufnahme größerer Mengen von radioaktivem Jod mit der Nahrung ist die behördliche Kontaminationsüberwachung der Nahrungsmittel und des Trinkwassers. Die Überwachung der Milch spielt hierbei eine besonders wichtige Rolle.

Wann ist die Jodblockade angezeigt?

Eine Jodblockade der Schilddrüse auf Aufforderung durch die zuständigen Behörden kommt nur dann in Betracht, wenn nach der radiologischen Lage tatsächlich eine erhebliche Freisetzung radioaktiven Jods erwartet werden muss. Da das Risiko eines strahleninduzierten Schilddrüsenkarzinoms bei Ungeborenen, Kindern und Jugendlichen eindeutig erhöht ist, steht der Schutz von Kindern, Jugendlichen, Schwangeren und Stillenden bei der Durchführung der Jodblockade im Vordergrund.

Eine Freisetzung von radioaktivem Jod in einem Ausmaß, das eine Jodblockade für die Bevölkerung als zweckmäßig erscheinen lässt, wird in der Regel rechtzeitig erkannt. Daher kann mit einer Vorwarnzeit von Stunden bis Tagen gerechnet werden, in der die Behörde auf Grundlage des radiologischen Lagebildes und weiterer Informationen Schutzmaßnahmen durchführen kann. In die Entscheidung über Schutzmaßnahmen fließen die gültigen Eingreifrichtwerte der Radiologischen Grundlagen (SSK 2014)¹ ein.

¹ SSK 2014: Strahlenschutzkommission (SSK). Radiologische Grundlagen für Entscheidungen über Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei Ereignissen mit Freisetzungen von Radionukliden. Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 268. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 13./14.02.2014. BAnz AT 18.11.2014 B5, urn:nbn:de:101:1-2014111925770

Die Bevölkerung ist darauf hinzuweisen, dass es nutzlos und sogar schädlich ist, wenn sie eine Jodblockade aus eigener Initiative, d. h. ohne Aufforderung durch die zuständigen Behörden, durchführt.

Die für die Jodblockade vorgesehenen, hochdosierten Jodtabletten dürfen nur im Falle einer Freisetzung von radioaktivem Jod eingenommen werden. Sie sind nicht zum Ausgleich eines alimentären Jodmangels geeignet. Sie stellen auch keine universell gegen jede Art von Strahlenschäden wirkende „Strahlenschutzsubstanz“ dar; sie wirken nur auf die Schilddrüse.

Bei Patienten, deren Schilddrüse durch Operation vollständig entfernt wurde, ist die Jodblockade nicht angezeigt. Dies betrifft nicht Patienten nach teilweiser Entfernung der Schilddrüse.

Wie wirkt die Jodblockade in Abhängigkeit vom Einnahmezeitpunkt der Tabletten und der Freisetzung radioaktiven Jods?

Da die Speichercurve der Schilddrüse am Anfang sehr steil verläuft, ist die Jodblockade mit einer über 95%igen Wirkung am besten, wenn das stabile Jod kurz vor der Resorption des radioaktiven Jods im Organismus vorhanden ist. Aber auch in den ersten Stunden nach Aufnahme des radioaktiven Jods wird durch die Gabe von stabilem Jod noch eine Reduktion der Speicherung erreicht (Jodgabe nach zwei Stunden – Reduktion der Speicherung des radioaktiven Jods um 60% bis 80%, Jodgabe nach acht Stunden – Reduktion der Speicherung um 20% bis 40%). Im Gegensatz dazu hat die Verabreichung von stabilem Jodid später als 24 Stunden nach abgeschlossener Inhalation oder Ingestion keinen protektiven Einfluss mehr auf die Speicherung des radioaktiven Jods, da sie die Verweildauer des radioaktiven Jods in der Schilddrüse nach diesem Zeitpunkt sogar verlängert. Deshalb sollte die Einnahme von Jodtabletten nach diesem Zeitpunkt nicht mehr durchgeführt werden. Werden die Jodtabletten zu früh, d. h. mehr als 24 Stunden vor der Aufnahme von radioaktivem Jod eingenommen, ist eine erneute Einnahme erforderlich.

Ist eine Jodblockade der Schilddrüse bei Schwangeren und Stillenden zulässig und angezeigt?

Unabhängig vom Alter sollen Schwangere zum Schutz des Ungeborenen die behördlich empfohlene Jodblockade durchführen.

Feten nehmen etwa ab der 12. Schwangerschaftswoche Jod in die Schilddrüse auf. Ab dem 6. Monat ist die Jodspeicherung in der fetalen Schilddrüse erheblich. Damit ist auch die Notwendigkeit einer Jodblockade der Schilddrüse des älteren Feten gegeben, die über die Jodgabe an die Schwangere ohne Erfordernis einer besonderen Dosisanpassung erfolgt.

Jod wird während der Stillzeit in individuell unterschiedlicher Menge in die Muttermilch abgegeben. Da hierdurch eine ausreichende Jodblockade beim gestillten Kind nicht gewährleistet ist, sollen auch Neugeborene bzw. Säuglinge Jodtabletten (s. Dosierungsschema, Tabelle 1) erhalten.

Frauen, die während der Schwangerschaft und Stillzeit mit hohen Dosen Jod behandelt worden sind, müssen darauf hingewiesen werden, dies dem Geburtshelfer und dem Kinderarzt mitzuteilen, damit diese beim Neugeborenen besonders auf eine mögliche Schilddrüsenunterfunktion achten.

Wie sind Jodtabletten zu dosieren?

Neben dem Zeitpunkt der Verabreichung ist die Menge des stabilen Jods entscheidend für die Reduktion der Speicherung radioaktiven Jods. Da es wichtig ist, dass die Jodblockade möglichst vollständig ist, muss eine hohe Plasmakonzentration an stabilem Jodid hergestellt werden. Dies wird bei Erwachsenen durch eine Dosis von 130 mg Kaliumiodid erreicht.

Eine Verringerung der Dosis reduziert eventuelle Nebenwirkungen nicht, eine Erhöhung bringt keine weitere nennenswerte Verringerung der Strahlenbelastung.

Tab 1: Dosierungsschema für 65 mg-Kaliumiodidtabletten

| Personengruppe | Tabletten à 65 mg Kaliumiodid | Tagesgabe in mg Kaliumiodid | Tagesgabe in mg Jod |
|---------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|---------------------|
| Geburt bis 1 Monat | ¼ | 16,25 | 12,5 |
| 1 Monat bis 3 Jahre | ½ | 32,5 | 25 |
| 3 Jahre bis 12 Jahre | 1 | 65 | 50 |
| älter als 12 Jahre bis 45 Jahre | 2 | 130 | 100 |

(Bei Tabletten mit anderen Kaliumiodidgehalten bitte die jeweiligen Dosisangaben beachten.)

Schwangere und Stillende erhalten die gleiche Joddosis wie die Gruppe älter als 12 Jahre bis 45 Jahre. Das Gleiche gilt für operierte Patienten nach teilweiser Entfernung der Schilddrüse.

Die Einnahme von Kaliumiodid sollte aufgrund potenzieller Reizung der Magenschleimhaut möglichst nicht nüchtern erfolgen. Die Tabletten können geschluckt oder in Flüssigkeit gelöst eingenommen werden. Die Einnahme kann – vor allem für Säuglinge und Kinder – durch Auflösen der Tablette in einem Getränk, z. B. Wasser oder Tee, erleichtert werden. Die Lösung ist jedoch nicht haltbar und muss sofort getrunken werden.

Jodtabletten sind nur nach Aufforderung durch die zuständige Behörde einzunehmen. Sie wird in ihrer Aufforderung darauf hinweisen, welche Personengruppen die Tabletten einnehmen sollen.

Kann es erforderlich sein, Jodtabletten wiederholt einzunehmen?

Grundsätzlich ist eine einmalige Einnahme der Jodtabletten ausreichend. In Abhängigkeit von der radiologischen Lage kann die zuständige Behörde unter bestimmten Voraussetzungen (z. B. länger anhaltende Jod-Freisetzung oder wiederholte Freisetzung, nach schon mehr als 24 Stunden zurückliegender Tabletteneinnahme) zu einer erneuten Einnahme von Jodtabletten auffordern. Die Schutzwirkung der Jodtabletten nimmt mit zunehmender Länge des Zeitraums zwischen Einnahme der Tabletten und Aufnahme des radioaktivem Jods ab: auf 80% bei 48 Stunden vor, auf 50% bei 72 Stunden vor und auf nur 10% bei Einnahme der Tabletten 96 Stunden vor der Aufnahme des radioaktiven Jods.

Für Schwangere, Stillende und bei Neugeborenen sollte die zuständige Behörde durch Ergreifen anderer Maßnahmen sicherstellen, dass eine weitere Einnahme von Jodtabletten nicht erforderlich ist.

Welche gesundheitlichen Risiken birgt die Jodblockade der Schilddrüse?

Personen mit einer bekannten Überempfindlichkeit gegen Jod (sehr seltene Erkrankungen, wie „echte“ Jodallergie, Dermatitis herpetiformis Duhring, Jododerma tuberosum, hypokomplementämische Vaskulitis, Myotonia congenita) dürfen keine Jodtabletten einnehmen. Jodtabletten können selten auch zu Hautausschlägen, Gewebswassereinlagerungen, Halsschmerzen, Augentränen, Schnupfen, Speicheldrüsenschwellungen und Fieber führen.

In sehr seltenen Fällen können sich Zeichen einer Überempfindlichkeit gegen Jod („echte“ Jodallergie), z. B. Jodschnupfen oder Jodexanthem, bemerkbar machen. Die Möglichkeit einer Jodintoleranz sollte nicht überbewertet werden. Die Jodresorption kann durch Magenspülung mit Stärkelösung (30 g auf 1 Liter solange, bis Blaufärbung verschwindet) oder mit 1 % bis 3 % Natriumthiosulfatlösung gehemmt werden. Zur beschleunigten Ausscheidung sind die Gabe von Glaubersalz und eine forcierte Diurese zu empfehlen. Ein möglicher Schock sowie Wasser- und Elektrolytstörungen sind in üblicher Weise zu behandeln.

Bei Vorerkrankungen der Schilddrüse, auch wenn sie bis dahin asymptomatisch verliefen (insbesondere bei Knotenstruma mit funktioneller Autonomie), kann eine Hyperthyreose innerhalb von Wochen bis Monaten nach Jodgabe ausgelöst werden.

Umgekehrt neigen besonders Neugeborene und Kleinkinder bei Verabreichung höherer Joddosen zur Hypothyreose. Deshalb sollten Kinder dieser Altersgruppe nach Einnahme der Jodtabletten zur Jodblockade vom Kinderarzt auf eine mögliche jodinduzierte Schilddrüsenunterfunktion untersucht werden.

Die gesunde Schilddrüse des Erwachsenen verfügt über Anpassungsmechanismen, um ein Überangebot von Jod ohne eine schädliche Steigerung der Produktion von Schilddrüsenhormonen zu tolerieren (sogen. Wolff-Chaikoff-Effekt). Dieser Schutzeffekt kann aber gestört sein (sogen. Escape-Phänomen) bei knotig veränderten Schilddrüsen auf der Grundlage langjährigen nahrungsbedingten Jodmangels oder bei äußerlich unauffälligen Schilddrüsen in Folge von Autoimmunprozessen bei auch frühen Stadien des Morbus-Basedow. Es muss deshalb nach Verteilung von Jodtabletten zur Jodblockade an größere Bevölkerungsschichten mit dem häufigeren Auftreten von Schilddrüsenüberfunktionen gerechnet werden, auch ohne dass ausgeprägte klinische Hyperthyreosezeichen vorliegen.

Gibt es Kontraindikationen gegen die Jodblockade der Schilddrüse?

In der Literatur gelegentlich genannte, jedoch unbegründete Kontraindikationen, sind Herzinsuffizienz und die verschiedenen Formen der Tuberkulose. Auch Schwangerschaft und Stillzeit sowie Hypothyreosen und Thyreoiditiden werden genannt, stellen jedoch keine Kontraindikationen dar.

Die Jodgabe muss bei „echter“ Jodallergie unterbleiben. Diese ist sehr selten und nicht zu verwechseln mit einer Unverträglichkeitsreaktion bzw. Allergie gegen Röntgenkontrastmittel, die meist nicht durch das darin enthaltene Jod verursacht wird.

Patienten mit den sehr seltenen Erkrankungen „echte“ Jodallergie, Dermatitis herpetiformis Duhring, Jododerma tuberosum, hypokomplementämische Vaskulitis, Myotonia congenita dürfen auf keinen Fall Jod einnehmen.

Unter Behandlung stehende Patienten mit Hyperthyreose sollten Jodtabletten möglichst erst nach Rücksprache mit dem behandelnden Arzt einnehmen. Alle hyperthyreoten Patienten sind, falls sie die Jodblockade durchgeführt haben, nach Beendigung der Notfallsituation in

kurzfristigen Abständen mittels Hormonanalysen ärztlich zu überwachen (unabhängig davon, ob ihre Hyperthyreose behandelt wird oder nicht).

Ist eine Schilddrüsenblockade durch andere Medikamente möglich?

Eine Reihe monovalenter Anionen (wie Perchlorat oder Thiocyanat) konkurrieren wegen ihres iodidähnlichen Anionenvolumens am Natrium-Iod-Symporter (NIS) mit der Aufnahme von Jod in die Schilddrüse. Therapeutisch nutzt man dies beim Einsatz von Natriumperchlorat zur Therapie der Hyperthyreose. Als Medikament ist es im Handel als Irenat^R erhältlich. Es wird auch in der nuklearmedizinischen Diagnostik und Therapie mit radiojodmarkierten Arzneimitteln erfolgreich eingesetzt zur Blockierung der unerwünschten Schilddrüsen-Anreicherung von radioaktivem Jod, das aus der Bindung an die organspezifische Trägersubstanz freigesetzt wird.

Wegen des nicht unerheblichen Nebenwirkungspotenzials von Natriumperchlorat ist es gegenüber Kaliumiodid ein Medikament der zweiten Wahl zur Blockade der Schilddrüse und sollte nur bei den seltenen Kontraindikationen von Kaliumiodid verwendet werden. Zu den häufigeren Nebenwirkungen zählen Hautausschlag, Lymphknotenschwellungen, Fieber und Abnahme der Leukozytenzahl. Seltener werden Agranulocytose/aplastische Anämie, Ikterus und nephrotisches Syndrom beobachtet.

Während der Schwangerschaft wird die Einnahme von Natriumperchlorat nicht empfohlen, da keine ausreichenden Erfahrungen über ein mögliches Risiko für das Ungeborene vorliegen. Ist während der Stillzeit eine Behandlung mit Natriumperchlorat unumgänglich, sollte abgestellt werden.

Für die Schilddrüsenblockade werden folgende Dosierungen von Natriumperchlorat empfohlen, die möglichst wenige Stunden vor der Aufnahme von radioaktivem Jod einzunehmen sind:

Erwachsene: einmalig 600 mg – 1 000 mg (= 30 – 50 Tropfen Irenat^R)

Kinder: einmalig 300 mg – 600 mg (= 15 – 30 Tropfen Irenat^R) pro m² Körperoberfläche.

Für den Fall der wiederholten oder länger anhaltenden Freisetzung sowie bei Freisetzung mehr als einige Stunden nach zurückliegender Medikamenteneinnahme ist u. U. analog zur Jodblockade eine erneute Einnahme von Natriumperchlorat nach 24 Stunden erforderlich.

3 Merkblatt für die Bevölkerung

Der nukleare Notfall mit Freisetzung von radioaktivem Jod

Bei Unfällen in kerntechnischen Anlagen, insbesondere in Kernkraftwerken, kann es unter ungünstigen Umständen zur Freisetzung von radioaktiven Stoffen – darunter auch radioaktivem Jod – kommen.

Radioaktives Jod (wissenschaftliche Schreibweise Iod) hat die gleichen chemischen und biologischen Eigenschaften wie das in der Nahrung vorkommende natürliche Jod und wird deshalb wie normales, nicht radioaktives Jod in der Schilddrüse gespeichert. Diese konzentrierte Speicherung in der Schilddrüse unterscheidet Jod von anderen Stoffen. Durch die Einnahme von Kaliumiodidtabletten (Jodtabletten) mit hohem Jodgehalt (etwa das 100 bis 1 000fache der täglichen Zufuhr mit der Nahrung) als Gegenmaßnahme kann diese Speicherung verhindert werden. Man nennt dieses Vorgehen „Jodblockade der Schilddrüse“ (im Folgenden Jodblockade genannt).

Wie kommt radioaktives Jod in den Körper?

Wie andere Stoffe aus der Umwelt des Menschen kann radioaktives Jod im Wesentlichen auf zwei Wegen in den Körper gelangen:

- mit der Luft über die Atemwege,
- mit Nahrung und Getränken über Magen und Darm.

Die Aufnahme über die intakte Haut ist üblicherweise so geringfügig, dass sie außer Betracht bleiben kann. Die Aufnahme mit Wasser oder Nahrung kann erheblich sein, wenn z. B. Milch getrunken wird, die von Kühen stammt, deren Futter mit radioaktivem Jod kontaminiert war.

Wie wirken Jodtabletten?

Die Schilddrüse benötigt für ihre normale Funktion geringe Mengen an Jod, die in der Regel mit der Nahrung aufgenommen werden. Deshalb wird zur Vorbeugung von Jodmangelkrankheiten die Verwendung von jodiertem Speisesalz oder die Einnahme von Tabletten mit niedrigem Jodgehalt (0,1 mg bis 0,2 mg) empfohlen; diese Tabletten sind jedoch nicht zur Jodblockade der Schilddrüse geeignet.

Zur Jodblockade sind nur die für den nuklearen Notfall vorgesehenen wesentlich höher dosierten Jodtabletten geeignet, da sie die Aufnahme von radioaktivem Jod in die Schilddrüse blockieren. Das überschüssige Jod wird schnell aus dem Körper ausgeschieden.

Wie kann ich mich zusätzlich schützen?

Die Aufnahme von radioaktivem Jod durch die Atemluft lässt sich durch Aufenthalt in Gebäuden – bei geschlossenen Fenstern und Türen – und die Verwendung von einfachen, im Handel erhältlichen FFP-Atemschutzmasken, die üblicherweise für den Arbeitsschutz verwendet werden, deutlich verringern. Wirkungsvoller in dieser Hinsicht kann die rechtzeitige Evakuierung sein, am besten vor der Freisetzung von radioaktivem Jod. Es kann nötig sein, diese Maßnahmen mit der Jodblockade zu kombinieren. Am effektivsten im Hinblick auf die Vermeidung der Aufnahme größerer Mengen von radioaktivem Jod mit der Nahrung ist es, frisch geerntete oder andere Nahrungsmittel (z. B. Milch) die möglicherweise erheblich radioaktiv kontaminiert sein können, nicht zu verzehren.

Über die Durchführung der Maßnahmen entscheidet die zuständige Behörde unter Einbeziehung des radiologischen Lagebildes und der Radiologischen Grundlagen (SSK 2014)². Achten Sie auf die Informationen der Behörden und folgen Sie deren Aufforderungen und Verhaltensempfehlungen.

Warum die vorbeugende Einnahme von Jodtabletten, wann sind sie wirksam?

Jodtabletten sollen – das muss betont werden – ausschließlich kurz vor oder nach der Aufnahme von radioaktivem Jod durch die Atemluft in die Schilddrüse schützen. Der Schutz ist dann am wirksamsten, wenn die Jodtabletten unmittelbar vor dem möglichen Einatmen von radioaktivem Jod eingenommen werden. Die Schutzwirkung für die Schilddrüse kann unzureichend sein, wenn die Tabletten zu früh (mehr als 24 Stunden vor der Aufnahme von radioaktivem Jod) oder zu spät (allerhöchstens acht Stunden nach dem Einatmen von radioaktivem Jod) eingenommen werden. Später als einen Tag danach schützt die Einnahme von Jodtabletten nicht mehr; sie ist dann eher schädlich.

Jodtabletten schützen nicht vor anderen radioaktiven Stoffen.

Wo und wann sind Jodtabletten bei Bedarf erhältlich?

Die zuständigen Behörden haben Jodtabletten in ausreichender Menge bevorratet und so gelagert, dass sie im Notfall unverzüglich an die Personen, für die eine Jodblockade vorgesehen ist, ausgegeben werden können, sofern sie nicht schon unter bestimmten Voraussetzungen vorher bereitgestellt wurden.

Die Ausgabe der Jodtabletten ist eine Vorsorgemaßnahme und bedeutet nicht, dass die Tabletten sofort eingenommen werden sollen. Wenn die Einnahme tatsächlich erforderlich ist, wird die betroffene Bevölkerung durch die zuständige Behörde dazu ausdrücklich, z. B. durch Rundfunk- oder Lautsprecherdurchsage, aufgefordert.

Ein mit den von den Behörden bevorrateten Tabletten identisches Arzneimittel sollte in den Apotheken rezeptfrei erhältlich sein.

Ob die Einnahme von Jodtabletten erforderlich ist, können nur die zuständigen Behörden aufgrund aller ihnen vorliegenden Informationen und einer fachkundigen Bewertung der radiologischen Lage entscheiden. Daher sollten die Tabletten nie aus eigener Veranlassung oder Befürchtung eingenommen werden.

Vorsicht: Im Internet sind aus dem Ausland stammende hochdosierte Jodtabletten als sogenannte Nahrungsergänzungsmittel erhältlich, die Kaliumiodid in unterschiedlichen Mengen enthalten. Es handelt sich hierbei nicht um zugelassene Arzneimittel; von der Verwendung wird abgeraten.

Wie wirken Jodtabletten und wie werden sie angewendet?

Die Jodtabletten hindern in der empfohlenen Dosierung und bei Einnahme zum empfohlenen Zeitpunkt die Schilddrüse daran, radioaktives Jod aufzunehmen und blockieren damit dessen

² SSK (2014) Strahlenschutzkommission (SSK). Radiologische Grundlagen für Entscheidungen über Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei Ereignissen mit Freisetzungen von Radionukliden. Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 268. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 13./14.02.2014. BAnz AT 18.11.2014 B5, urn:nbn:de:101:1-2014111925770

Speicherung (sogenannte Jodblockade). Diese Art von Jodtabletten ist nicht zur Beseitigung des nahrungsbedingten Jodmangels geeignet. Sie können im Notfall aber zusätzlich zu den viel niedriger dosierten Jodtabletten eingenommen werden, mit denen der nahrungsbedingtem Jodmangel behandelt wird.

Ziel der Jodblockade ist in erster Linie die Verhinderung von durch Strahlung verursachtem Schilddrüsenkrebs bei Ungeborenen, Kindern und Jugendlichen. Besonders geschützt werden müssen dabei auch Schwangere und Stillende, um über die Mutter das Ungeborene bzw. die Säuglinge zu schützen.

Bei Patienten, deren Schilddrüse durch Operation vollständig entfernt wurde, ist die Jodblockade nicht erforderlich. Dies betrifft nicht Patienten nach teilweiser Entfernung der Schilddrüse.

Wie sind die Jodtabletten zu dosieren und anzuwenden?

Tab. 1: Dosierungsschema für 65 mg-Kaliumiodidtabletten

| Personengruppe | Tabletten à 65 mg Kaliumiodid |
|---------------------------------|-------------------------------|
| Geburt bis 1 Monat | $\frac{1}{4}$ |
| 1 Monat bis 3 Jahre | $\frac{1}{2}$ |
| 3 Jahre bis 12 Jahre | 1 |
| älter als 12 Jahre bis 45 Jahre | 2 |

(Bei Tabletten mit anderen Kaliumiodidgehalten bitte die jeweiligen Dosisangaben beachten.)

Kinder älter als 12 Jahre und Erwachsene nehmen einmalig 2 Tabletten ein. Kinder von 3 Jahren bis 12 Jahren nehmen einmalig 1 Tablette ein. Kleinkinder vom 1. Lebensmonat bis zum 3. Lebensjahr nehmen einmalig $\frac{1}{2}$ Tablette ein. Säuglinge bis zum 1. Lebensmonat nehmen einmalig $\frac{1}{4}$ Tablette ein.

Schwangere und Stillende erhalten die gleiche Joddosis wie die Gruppe älter als 12 Jahre bis 45 Jahre. Das Gleiche gilt für operierte Patienten nach teilweiser Entfernung der Schilddrüse.

Die Jodtabletten sollen möglichst nicht auf nüchternen Magen eingenommen werden. Die Tabletten können geschluckt oder in Flüssigkeit gelöst eingenommen werden. Die Einnahme kann – vor allem für Säuglinge und Kinder – durch Auflösen der Tablette in einem Getränk, z. B. Wasser oder Tee, erleichtert werden. Die Lösung ist jedoch nicht haltbar und sollte sofort getrunken werden.

Jodtabletten sind nur nach Aufforderung durch die zuständige Behörde einzunehmen. Die Behörde wird in ihrer Aufforderung darauf hinweisen, welche Personengruppen die Tabletten einnehmen sollten.

Kann es notwendig sein, Jodtabletten wiederholt einzunehmen?

Grundsätzlich ist eine einmalige Einnahme der Jodtabletten ausreichend. Eine weitere Tabletteneinnahme sollte nur erfolgen, wenn die zuständige Behörde dies empfiehlt. Falls die Jodtabletten versehentlich zu früh, d.h. mehr als 24 Stunden vor der Aufnahme von radioaktivem Jod eingenommen wurden, ist eine erneute Einnahme erforderlich. Die

Schutzwirkung der Jodtabletten nimmt mit zunehmender Länge des Zeitraums zwischen Einnahme der Tabletten und Aufnahme des radioaktivem Jods ab: auf 80% bei 48 Stunden vor, auf 50% bei 72 Stunden vor und auf nur 10% bei Einnahme der Tabletten 96 Stunden vor der Aufnahme des radioaktiven Jods.

Für Schwangere, Stillende und bei Neugeborenen sollte die zuständige Behörde durch Ergreifen anderer Maßnahmen sicherstellen, dass eine weitere Einnahme von Jodtabletten nicht erforderlich ist.

Sollen Jodtabletten in der Schwangerschaft und Stillzeit eingenommen werden?

Unabhängig vom Alter sollen Schwangere zum Schutz des Ungeborenen und Stillende zum Schutz des Säuglings die behördlich empfohlene Jodblockade durchführen, da durch die Jodeinnahme das Ungeborene geschützt wird. Sie sollten den Arzt über die Jodeinnahme informieren, da dieser dann die ohnehin erfolgende Schilddrüsenvorsorgeuntersuchung des Neugeborenen besonders beachten wird.

Was sind die Unverträglichkeiten und Risiken?

Jodtabletten dürfen nicht eingenommen werden bei folgenden ärztlich gesicherten Diagnosen:

- bekannte, echte Überempfindlichkeit gegenüber Jod („echte“ Jodallergie, diese ist sehr selten und darf nicht mit der weniger seltenen Allergie gegen Röntgenkontrastmittel verwechselt werden),
- sehr seltene Erkrankungen (Dermatitis herpetiformis Duhring, einer blasenbildenden, immunologisch bedingten Hauterkrankung sowie Hypokomplementämischer Vaskulitis, einer allergisch bedingter Entzündung der Blutgefäßwände).

Die Einnahme von Jodtabletten kann selten auch zu allergischen Reaktionen wie Hautausschlägen, Gewebswassereinlagerungen, Halsschmerzen, Augentränen, Schnupfen, Speicheldrüsenanschwellungen, Fieber u. ä. Symptomen führen.

Personen, die an einer Überfunktion der Schilddrüse leiden oder litten, sollten Jodtabletten möglichst erst nach Rücksprache mit dem behandelnden Arzt einnehmen. Bei Patienten, die an einer Überfunktion oder an einer knotig veränderten Schilddrüse leiden, ist das Risiko einer Verschlechterung des Zustandes bzw. der Auslösung einer Schilddrüsenüberfunktion erhöht. Deshalb ist nach Einnahme ein baldiger Besuch beim Arzt erforderlich.

Personen, bei denen im Zeitraum von einer Woche bis zu drei Monaten nach Einnahme der Tabletten Beschwerden auftreten, die auf eine Schilddrüsenüberfunktion hinweisen, wie Unruhezustände, Herzklopfen, Gewichtsabnahme oder permanenter Durchfall, sollten ebenfalls ihren Arzt aufsuchen.

Sollen Personen, die älter als 45 Jahre sind, Jodtabletten einnehmen?

Die Einbeziehung von Personen, die älter als 45 Jahre sind, in die Schutzmaßnahmen zur Jodblockade (Bevorratung, Verteilung der Tabletten), wird aus zwei Gründen nicht empfohlen:

1. Mit steigendem Lebensalter treten häufiger Knoten und damit verbundene Stoffwechselstörungen in der Schilddrüse auf. Eine solche sogenannte funktionelle Autonomie erhöht das Risiko der Nebenwirkungen einer Jodblockade.

2. Mit steigendem Lebensalter nimmt das Risiko von Schilddrüsenkrebs, der durch Strahlung verursacht wird, stark ab.

Welche Nebenwirkungen können auftreten?

Eine Reizung der Magenschleimhaut kann insbesondere bei Einnahme von Jodtabletten auf nüchternen Magen auftreten. Bei längerer Dauer der Erscheinungen sollte ein Arzt befragt werden.

Wogegen schützen Jodtabletten nicht?

Jodtabletten schützen nicht vor Strahlung, die von außerhalb des Körpers trifft oder vor der Wirkung anderer radioaktiver Stoffe außer Jod, die in den Körper aufgenommen worden sind.

Dringende Bitte:

- Achten Sie bei einem Notfall auf behördliche Lautsprecherdurchsagen, Nachrichten und Meldungen regionaler Rundfunk- und Fernsehsender sowie auf amtliche Warnungen über mobile Endgeräte mittels App oder im Internet.
- Folgen Sie in Ihrem eigenen Interesse den Mitteilungen, Empfehlungen und Aufforderungen der zuständigen Behörde, die alle notwendigen Informationen über die radiologische Lage hat, diese beurteilen kann und geeignete Schutzmaßnahmen durchführt.

Hinweis:

Die Tabletten sind – wie andere Arzneimittel – vor Licht und Feuchtigkeit geschützt und für Kinder unzugänglich aufzubewahren.

Jodtabletten dürfen nur nach ausdrücklicher Aufforderung durch die zuständigen Behörden eingenommen werden. Die Schutzwirkung für die Schilddrüse kann unzureichend sein, wenn die Tabletten zu früh oder zu spät eingenommen werden. Außerdem sind die oben aufgeführten Risiken und Nebenwirkungen zu beachten.

4 Literaturhinweise

- Arriagada et al. 2015 Arriagada AA, Albornoz E, Opazo MC, Becerra A, Vidal G, Fardella C, Michea L, Carrasco N, Simon F, Elorza AA, Bueno SM, Kalergis AM, Riedel CA. Excess iodide induces an acute inhibition of the sodium/iodide symporter in thyroid male rat cells by increasing reactive oxygen species. *Endocrinology*. 2015 Apr;156(4):1540-51, doi: 10.1210/en.2014-1371. Epub 2015 Jan 16
- BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). Einnahme von Jodtabletten, Schutzmaßnahme bei einem schweren Unfall in einem Kernkraftwerk. Internetseite www.iodblockade.de, zuletzt aufgerufen am 26.04.2018
- Brenner 2012 Brenner DJ. We can do better than effective dose for estimating or comparing low-dose radiation risks. *Ann ICRP*. 2012 Oct-Dec;41(3-4):124-8, doi: 10.1016/j.icrp.2012.07.001. Epub 2012 Sep 12
- Cardis et al. 2005 Cardis E, Kesminiene A, Ivanov V, Malakhova I, Shibata Y, Khrouch V, Drozdovitch V, Maceika E, Zvonova I, Vlassov O, Bouville A, Goulko G, Hoshi M, Abrosimov A, Anoshko J, Astakhova L, Chekin S, Demidchik E, Galanti R, Ito M, Korobova E, Lushnikov E, Maksioutov M, Masyakin V, Nerovnia A, Parshin V, Parshkov E, Piliptsevich N, Pinchera A, Polyakov S, Shabeka N, Suonio E, Tenet V, Tsyb A, Yamashita S, Williams D. Risk of thyroid cancer after exposure to 131-I in childhood. *J. Natl. Cancer Inst.* 2005 May;97(10):724-32, doi: 10.1093/jnci/dji129
- Eskandari et al. 1997 Eskandari S, Loo DD, Dai G, Levy O, Wright EM, Carrasco N. Thyroid Na⁺/I⁻ symporter. Mechanism, stoichiometry, and specificity. *J Biol Chem*. 1997 Oct 24;272(43):27230-8, doi: 10.1074/jbc.272.43.27230
- EC 2010 European Commission (EC). Medical effectiveness of iodine prophylaxis in a nuclear reactor emergency situation and overview of European practices. Final Report of Contract TREN/08/NUCL/SI2.520028. Radiation Protection 165, Luxembourg 2010, ISBN 978-92-79-17122-2
- Fachinformation KI 2010 Fachinformation Kaliumiodid „Lannacher“ 65 mg-Tabletten. Nov. 2010, https://www.gelbe-liste.de/produkte/K-Iodid-Lannacher-65mg-Tbl_509301/fachinformation, zuletzt aufgerufen am 26.04.2018
- Fachinformation Irenat 2016 Fachinformation Irenat^R Tropfen. Nov. 2016, https://www.gelbe-liste.de/produkte/Irenat-Tropfen-300-mg-ml-Tropfen-zum-Einnehmen_17490/fachinformation, zuletzt aufgerufen am 26.04.2018
- Hänscheid et al. 2011 Hänscheid H, Reiners C, Goulko G, Luster M, Schneider-Ludorff M, Buck AK, Lassmann M. Facing the nuclear threat: thyroid blocking revisited. *J Clin Endocrinol Metab*. 2011 Nov;96(11):3511-6, doi: 10.1210/jc.2011-1539. Epub 2011 Aug 24

- Hatch et al. 2009 Hatch M, Brenner A, Bogdanova T, Derevyanko A, Kuptsova N, Likhtarev I, Bouville A, Tereshchenko V, Kovgan L, Shpak V, Ostroumova E, Greenebaum E, Zablotska L, Ron E, Tronko M. A screening study of thyroid cancer and other thyroid diseases among individuals exposed in utero to iodine-131 from Chernobyl fallout. *J Clin Endocrinol Metab.* 2009 Mar;94(3):899-906, doi: 10.1210/jc.2008-2049. Epub 2008 Dec 23
- Heidenreich et al. 1999 Heidenreich WF, Kenigsberg J, Jacob P, Buglova E, Goulko G, Paretzke HG, Demidchik EP, Golovneva A. Time trends of thyroid cancer incidence in Belarus after the Chernobyl accident. *Radiat Res.* 1999 May;151(5):617-25
- IAEA 2015 International Atomic Energy Agency (IAEA). Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency. General Safety Requirements, No. GSR Part 7. Wien, 2015, ISBN 978-92-0-105715-0, http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/P_1708_web.pdf, zuletzt aufgerufen am 01.08.2016
- Ilyin 1972 Ilyin LA. Radioactive Iodine in the Problem of Radiation Safety. Moscow: Atomizdat. 1972, E. t. 1974, Übersetzung
- Johner et al. 2016 Johner SA, Thamm M, Schmitz R, Remer T. Examination of iodine status in the German population: an example for methodological pitfalls of the current approach of iodine status assessment. *Eur J Nutr.* 2016 Apr;55(3):1275-82, doi: 10.1007/s00394-015-0941-y. Epub 2015 Jun 2
- Leung et al. 2017 Leung AM, Bauer AJ, Benvenga S, Brenner AV, Hennessey JV, Hurley JR, Milan SA, Schneider AB, Sundaram K, Toft DJ. American Thyroid Association Scientific Statement on the Use of Potassium Iodide Ingestion in a Nuclear Emergency. *Thyroid.* 2017 Jul;27(7):865-77, doi: 10.1089/thy.2017.0054. Epub 2017 Jun 21
- Miller und Zanzonico 2005 Miller RW, Zanzonico PB. Radioiodine fallout and breast-feeding. *Radiat Res.* 2005 Sep;164(3):339-40
- NCRP 1977 National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP). Protection of the thyroid gland in the event of releases of radioiodine: Recommendations of the National Council on Radiation Protection and Measurements. NCRP Report No 55, 1977, ISBN 0-913392-37-6
- Pfänder et al. 2016 Pfänder M, Dreger S, Christianson L, Lhachimi SK, Zeeb H. The effects of iodine blocking on thyroid cancer, hypothyroidism and benign thyroid nodules following nuclear accidents: a systematic review. *J Radiol Prot.* 2016 Dec;36(4):R112-R130. Epub 2016 Sep 21
- Pochin und Barnaby 1962 Pochin EE, Barnaby CF. The Effect of Pharmacological Doses of Non-radioactive Iodide on the Course of Radioiodine Uptake by the Thyroid. *Health Phys.* 1962 Jan;7:125-6

- Ramsden et al. 1967 Ramsden D, Passant FH, Peabody CO, Speight RG. Radioiodine uptakes in the thyroid. Studies of the blocking and subsequent recovery of the gland following the administration of stable iodine. *Health Phys.* 1967 Jun;13(6):633-46
- Reiners et al. 2004 Reiners C, Wegscheider K, Schicha H, Theissen P, Vaupel R, Wrbitzky R, Schumm-Draeger PM. Prevalence of thyroid disorders in the working population of Germany: ultrasonography screening in 96,278 unselected employees. *Thyroid.* 2004 Nov;14(11):926-32, doi: [10.1089/thy.2004.14.926](https://doi.org/10.1089/thy.2004.14.926)
- Reiners et al. 2016 Reiners C, Schneider R, Akashi M, Akl EA, Jourdain JR, Li C, Murith C, Van Bladel L, Yamashita S, Zeeb H, Vitti P, Carr Z. The First Meeting of the WHO Guideline Development Group for the Revision of the WHO 1999 Guidelines for Iodine Thyroid Blocking. *Radiat Prot Dosimetry.* 2016 Sep;171(1):47-56, doi: 10.1093/rpd/ncw238
- Schneider und Smith 2012 Schneider AB, Smith JM. Potassium iodide prophylaxis: what have we learned and questions raised by the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. *Thyroid.* 2012 Apr;22(4):344-6, doi: 10.1089/thy.2012.2204.com
- Sicherer 2004 Sicherer SH. Risk of severe allergic reactions from the use of potassium iodide for radiation emergencies. *J Allergy Clin Immunol.* 2004 Dec;114(6):1395-7, doi: [10.1016/j.jaci.2004.09.026](https://doi.org/10.1016/j.jaci.2004.09.026)
- Soldin et al. 2001 Soldin OP, Braverman LE, Lamm SH. Perchlorate clinical pharmacology and human health: a review. *Ther Drug Monit.* 2001 Aug;23(4):316-31
- Spallek et al. 2012 Spallek L, Krille L, Reiners C, Schneider R, Yamashita S, Zeeb H. Adverse effects of iodine thyroid blocking: a systematic review. *Radiat Prot Dosimetry.* 2012 Jul;150(3):267-77, doi: 10.1093/rpd/ncr400. Epub 2011 Oct 20.
- SSK 2015 Strahlenschutzkommission (SSK). Weiterentwicklung des Notfallschutzes durch Umsetzen der Erfahrungen aus Fukushima. Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 274. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 19./20.02.2015. *BAnz AT 04.01.2016 B3*, urn:nbn:de:101:1-201512213326
- Verger et al. 2001 Verger P, Aurengo A, Geoffroy B, Le Guen B. Iodine kinetics and effectiveness of stable iodine prophylaxis after intake of radioactive iodine: a review. *Thyroid.* 2001 Apr;11(4):353-60, doi: 10.1089/10507250152039082
- WHO 2006 World Health Organization (WHO). Health Effects of the Chernobyl Accident and Special Health Care Programmes. Geneva, 2006, ISBN 92 4 159417 9, http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/43447/1/9241594179_eng.pdf, zuletzt aufgerufen am 26.04.2018

- WHO 2007 World Health Organization (WHO). Assessment of iodine deficiency disorders and monitoring their elimination: a guide for programme managers. 3rd ed. Geneva, 2007, ISBN 978 92 4 159582 7, http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/43781/1/9789241595827_eng.pdf, zuletzt aufgerufen am 26.04.2018
- WHO 2017 World Health Organization (WHO). Iodine thyroid blocking: guidelines for use in planning for and responding to radiological and nuclear emergencies. Geneva 2017, ISBN 9789241550185, <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/259510/1/9789241550185-eng.pdf>, zuletzt aufgerufen am 26.04.2018
- Zablotska et al. 2011 Zablotska LB, Ron E, Rozhko AV, Hatch M, Polyanskaya ON, Brenner AV, Lubin J, Romanov G N, McConnell RJ, O’Kane P, Evseenko VV, Drozdovich VV, Luckyanov N, Minenko VF, Bouville A, Masyakin VB. Thyroid cancer risk in Belarus among children and adolescents exposed to radioiodine after the Chornobyl accident. *Br J Cancer*. 2011 Jan 4;104(1):181-7, doi: 10.1038/sj.bjc.6605967. Epub 2010 Nov 23
- Zanzonico und Becker 2000 Zanzonico PB, Becker DV. Effects of time of administration and dietary iodine levels on potassium iodide (KI) blockade of thyroid irradiation by ¹³¹I from radioactive fallout. *Health Phys*. 2000 Jun;78(6):660-7