

Hp. Moecke¹, T. Bey², K. L. Koenig², P. Rechenbach³, J. Schallhorn³

¹Institut für Notfallmedizin, Asklepios Klinik Nord, Hamburg

²Department of Emergency Medicine, University of California, Irvine, USA

³Feuerwehr Hamburg

Polonium-210 – eine Kurzinformation

Die Polonium-Affäre um den verstorbenen ehemaligen russischen Agenten Alexander Litwinenko (30.08.1962–23.11.2006) hat das öffentliche Interesse auf das Thema „Radiologischer Terrorismus“ gelenkt.

Polonium-210

Das Isotop Polonium-210 ist Teil der natürlichen Radioaktivität. Polonium-210 ist ubiquitär im Boden in sehr niedrigen Konzentrationen und in der Luft über den Abbau des Gases Radon-222 vorhanden [3]. Häufig wird auch die Schreibweise ^{210}Po für das Isotop Polonium-210 verwendet. Polonium-210 kann auch mit Hilfe von Neutronenbestrahlung künstlich in Nuklearreaktoren aus Bismut-209 hergestellt werden, was jedoch technisch sehr aufwändig ist. Die US Nuklear-Regulierungsbehörde (NRC) schätzt, dass weltweit nur etwa 100g von Polonium-210 hergestellt werden, was dieses Material – im Gegensatz zu anderen Radionukliden – sehr selten macht [7]. Da Tabakblätter, sowie breitblättriges Gemüse aus der Luft natürliches Polonium-210 konzentrieren, haben insbesondere Raucher eine erhöhte Po-210 Konzentration in ihrem Körper [4].

Dieser Beitrag ist dem russischen Psychiater und Chefarzt der 3. Psychiatrischen Abt. der Asklepios Klinik Nord-Ochsenzoll Dr. Jurij Novikov (1943-2006) gewidmet. Informationen zusammengestellt aus Materialien des Centers for Disease Control and Prevention / USA, Health Physics Society/USA und des National Health Service / GB und der US Nuclear Regulatory Commission

Polonium-210 ist ein silbrig-graues und durchaus volatiles Metall, wobei nach 45 Stunden bei einer Temperatur von 55°C 50% des Metalls in der Luft verdampft sind. Dies bedeutet, dass frei herum liegendes Polonium-210 nach längeren Lagerungszeiten (Stunden) und bei höheren Temperaturen gesteigerte Luftkonzentrationen erzeugt, insbesondere in geschlossenen Räumen[4].

Radiotoxische Eigenschaften

Radioaktivität, Strahlenbelastung, Dosis, biologischer Effekt, Radiotoxizität im Zusammenhang mit Po-210

Polonium-210 sendet nahezu ausschließlich Alphastrahlung und sehr niedrige Gammastrahlung aus. Polonium-210 zerfällt in das stabile Blei-206 (^{206}Pb), womit der radionukleare Zerfall endet [4]. Da Alphastrahlung, eine relative schwere Teilchenstrahlung bestehend aus zweifach positiv ionisiertem Helium, nur kurze Wegstrecken überwindet (wenige Zentimeter) und schon von einem Papierblatt oder der menschlichen Haut blockiert wird, tritt eine Schädigung nur dann ein, wenn es inhaliert, verschluckt oder über eine offene Wunde in den Körper eingebracht wird [2]. Bestrahlung von außen oder die Kontamination von intakter Haut durch Polonium-210 sind relativ ungefährlich. In den Körper in ausreichender Dosis eingebracht, gilt Polonium-210 als eines der gefährlichsten radioaktiven Materialien überhaupt, weil

es sich, je nach physikalischem Zustand und Ionisationsgrad, im Körperwasser und somit in den Zellen verteilt und Zellstrukturen schädigt.

► Po-210 gilt als eines der gefährlichsten radioaktiven Materialien überhaupt

Polonium-210 hat eine Affinität zu Weichteilgeweben und bindet auch an Thiolgruppen und Metallthionine, speziell in der Leber [2, 6]. Um Strahlenbelastung, zum Beispiel von Alphastrahlung zu quantifizieren, wird der Begriff „Dosis“ oder die von einer Materie aufgenommene Energiemenge pro Masseneinheit verwendet. Die physikalische Einheit von Dosis wird in Gray (Gy) ausgedrückt, wobei 1 Gray=1 Joule/kg ist. Radioaktiver Zerfall oder Radioaktivität (in Bq) (Becquerel=Bq) bedingt eine Strahlenbelastung, sofern die Strahlung in Form von Energie von einer Materie, wie einem Organismus oder einem Gewebe, aufgenommen oder auf diese übertragen wird. Polonium-210 hat eine extrem hohe spezifische Aktivität, welche durch die Anzahl der Zerfälle pro Gewichtseinheit des Isotops (Bq/mg) charakterisiert ist. Kleinste Mengen von Polonium-210 geben somit im Vergleich zu anderen Radionukliden höchste Mengen von Alphastrahlung ab [2]. Logischerweise folgt hieraus, dass je höher die inkorporierte Menge des radioaktiven Isotops (in mg) und somit die auftretende Radioaktivität (in Bq) oder die aufgenommene Strahlendosis (in Gy) im Körper, den Organen oder Zellen ist, desto höher ist das Gesundheitsrisiko.

Solange sich Polonium-210 außerhalb des menschlichen Körpers befindet, ist es ungefährlich. Unter Radiotoxizität versteht man die Fähigkeit eines Radionuklids, einem bestimmten biologischen Gewebe oder Organ Schaden zuzufügen. Radiotoxizität wird normalerweise mit der Einheit Sievert (Sv) angegeben. Unterschiedliche Aufnahmeformen sowie verschiedene Gewebe haben unterschiedliche effektive und charakteristische Dosis-koeffizienten. Die Radiotoxizität von über die Lungen inhaliertem Polonium-210 ist ca. 3,6 bis 4,9-mal höher (je nach Literatur-angabe) als die von verschlucktem Polonium-210 gleicher Menge.

Die physikalische Halbwertszeit dieses Radionuklids beträgt 138 Tage, wohingegen die biologische Halbwertszeit im menschlichen Körper ca. 50 Tage beträgt [3, 4, 7].

Biologisches Schicksal

Zwischen 50% und 90% des Materials erscheint im Gastrointestinaltrakt und wird mit dem Stuhl ausgeschieden. Der verbleibende Teil wird über das Blut verteilt und sammelt sich bevorzugt im Weichteilgewebe von Leber, Milz und Niere. Ca. 45% werden in Niere, Milz oder Leber gespeichert, 10% im Knochenmark [3]. Der Rest verteilt sich auf alle anderen Körpergewebe. Die unterschiedlichen Angaben der Organverteilung in der Literatur sind auch in den unterschiedlichen Ausgangsvoraussetzungen und Studienbedingungen zu suchen. So haben oral oder inhalativ absorbiertes oder injiziertes Polonium-210 unterschiedliche Verteilungsmuster. Viele der Studien zur Organverteilung von Polonium-210 beziehen sich auf injiziertes Polonium-210 in tierexperimentellen Studien, vor allem an Nagetieren [6]. Es gibt hierzu wenige Studien oder Berichte von Polonium-210 am Menschen, und viele Angaben zum biologischem Schicksal oder zur Radiotoxizität stützen sich auf Risikoeinschätzungen und deterministische und mathematische Modelle [3, 6].

Symptome nach Kontamination

Je höher die Dosis, desto schneller und intensiver treten die Symptome auf. Im Fal-

le von inkorporiertem Polonium-210 genügen schon kleinste Mengen in Mikrogramm (μg) oder Bq, um den sicheren und unausweichlichen Tod herbeizuführen. Die Beschreibung der Abfolge von Symptomen der „Strahlenkrankheit“ oder des „acute radiation syndrome“ (ARS) ist nur bedingt geeignet, die Radiotoxizität und den Verlauf einer Polonium-210 Inkorporation zu beschreiben. Das ARS beschreibt Krankheitssyndrome wie das Knochenmarkssyndrom oder das gastrointestinale Syndrom nach Exposition ionisierender Strahlung, wie Gamma- oder Röntgenstrahlung [5]. Hierbei handelt es sich in der Regel um eine bestimmte Dosis einer Ganzkörperbestrahlung akut oder fraktioniert, über einen bestimmten Zeitraum hinweg, die sistiert sobald der Patient von der ionisierten Strahlungsquelle entfernt wird.

Polonium-210 hingegen gelangt in den menschlichen Körper über die Lungen, den Verdauungstrakt oder über Haut- oder Schleimhautwunden. Theoretisch wäre auch eine intravenöse, intramuskuläre oder intraperitoneale Injektion denkbar, wie in der Literatur dies bei tierexperimentellen Studien häufig beschrieben wird. Polonium-210 wird vergleichbar einem Toxin in den Körper aufgenommen, stufenweise umverteilt und ausgeschieden [6]. All dies bedingt kinetische, dynamische und zeitlich protrahierte Vorgänge mit andauernder interner Alphastrahlenbelastung in den Geweben. Gammastrahlung kann durch Entfernen des Patienten von der Strahlenquelle gestoppt werden, wohingegen aktives Polonium-210 so lange strahlt, wie es in im Körper vorhanden ist.

Zudem haben Gammastrahlen andere biologische Effekte auf den menschlichen Organismus und die Zellen als Alphastrahlung. Somit sind diese beiden Strahlungsformen nur bedingt in ihren biologischen Wirkungen vergleichbar, wenngleich gewisse Symptome sich sehr ähnlich sind, wie die Schädigung sich rasch teilender Gewebe (z. B. Knochenmark).

Die relativ schweren und schnellen Alphapartikel zerstören Zellstrukturen, Zellkerne, schädigen die DNA und können zum Zelltod führen. Das beschriebene biologische Verteilungsmuster und

die Anreicherung von Polonium-210 im Körper bestimmen zudem die Strahlentoxizität in Leber, Milz, Nieren, Knochenmark und sich schnell teilendem Gewebe. Die Organverteilungs- und Schädigungsmuster sind dennoch komplex. Biologische Effekte und Schädigungen sind z. B. häufiger in den Nieren als in der Milz festzustellen, obwohl sich Polonium-210 in der Milz in höheren Konzentrationen anreichert als in den Nieren, laut der amerikanischen Health Physics Society [3].

— Multiorganversagen, Immunsuppression und Haarausfall sind die Symptome, welche letztendlich Morbidität und Mortalität von Polonium-210 mitbestimmen.

In diesem Zusammenhang sollte auch die Veröffentlichung des Abschlussberichtes mit den klinischen Daten, Laborwerten und des Gesamtverlaufes inklusive des Obduktionsberichtes im Falle Litwinenko abgewartet werden, um einen endgültigen Vergleich von Gemeinsamkeiten und Unterschieden des klassischen ARS mit einer fast reinen Alphaexposition vorzunehmen.

Patientenmanagement

Wenn eine Inkorporation von Alphastrahlern oder Exposition von ionisierender Strahlung angenommen werden muss, sind folgende Initialmaßnahmen erforderlich:

- Kontrolle und ggf. Sicherung der Vitalfunktionen
- Behandlung von schweren Verletzungen oder Trauma hat Vorrang
- Behandlung von Infektionen
- Sofortige Blutprobe für großes Blutbild mit dem Fokus auf Lymphozytenzahl und HLA-Typisierung vor der ersten evtl. notwendigen Transfusion. Kontrolluntersuchungen alle 2-3 Stunden (insbesondere bei Gammastrahlung)
- Dekontamination soweit notwendig. Nicht notwendig bei alleiniger Exposition von Gammastrahlung
- Urin- und möglichst Stuhlproben sammeln

Hp. Moecke, T. Bey, K. L. Koenig, P. Rechenbach, J. Schallhorn

Polonium-210 – eine Kurzinformation

Zusammenfassung

Der Tod von Alexander Litwinenko am 23. November 2006 durch Po-210 steigerte die Besorgnis in Bezug auf „Radiologischen Terrorismus“. Die US Nuklear-Regulierungsbehörde schätzt, dass jährlich weltweit nur etwa 100g hergestellt werden, was Po-210 zu einem extrem seltenen Radionuklid macht. Es ist ein fast ausschliesslicher Alphastrahler. Seine physikalische Halbwertszeit beträgt 138 Tage. Seine biologische HWZ liegt bei etwa 50 Tagen. Alphastrahlen können schon durch ein Blatt Papier gestoppt werden und haben eine Reichweite von nur wenigen Zentimetern. Aus diesem Grunde ist es relativ harmlos außerhalb des Körpers, stellt aber ein erhebliches Gesundheitsrisiko dar, wenn es in den menschlichen Körper inkorporiert wird.

Po-210 hat eine extrem hohe spezifische Aktivität in Bq pro mg Material, und macht es zu einem der gefährlichsten Radionuklide, insbesondere bei Inkorporation. Nach Absorption und multiphasischer Distribution im menschlichen Körper akkumuliert sich Po-210 vor allem in Weichteilgeweben und kann dann in der Leber, der Milz, den Nieren und im Knochenmark gefunden werden. Die schweren Alphapartikel haben zerstörerische Effekte auf die Zellstrukturen und die DNA. Die Inkorporation von Po-210 kann deshalb Symptome erzeugen, die denen der Strahlenkrankheit oder dem „acute radiation syndrome“ sehr ähneln, jedoch im Hinblick auf Radiotoxizität und Organtoxizität nicht identisch sind. Der Tod durch Po-210-Inkorpora-

tion tritt durch Multiorganversagen und Immunosuppression ein. Die überwiegende Menge von Po-210 wird durch den Stuhl ausgeschieden, der Rest durch den Urin. Das medizinische Personal, welches einen Po-210 erkrankten Patienten betreut, sollte die allgemeinen Schutzmaßnahmen befolgen und den direkten Kontakt zu den kontaminierten Ausscheidungsprodukten vermeiden. Das therapeutische Management des Patienten besteht in abwartender und unterstützender Behandlung der vitalen Funktionen.

Schlüsselwörter

Polonium-210 · Alexander Litwinenko · Alphastrahler · Inkorporation · Strahlung · Radiotoxizität · akute Strahlenkrankheit

Polonium-210 – an Overview

Abstract

The death of the Russian dissident Alexander Litvinenko on November 23, 2006 in London caused by the radionuclide Polonium-210 has heightened concerns about radiological terrorism. The element Polonium was discovered by Marie and Pierre Curie in Paris in 1898. Polonium-210 occurs naturally in very low concentrations and can also be artificially produced by neutron bombardment from Bismuth-209 in nuclear reactors. The US Nuclear Regulatory Commission estimates that only 100 g of Polonium-210 is produced annually worldwide making it an extremely rare radionuclide. Polonium-210 is an alpha emitter; its physical half-life is 138 days whereas its biological half-life in the human body is about 50 days. External alpha irradiation is not harmful because alpha particles can travel only a few centimeters and are completely absorbed within that distance. While Polonium-210 is relative-

ly benign when outside the body, it has serious health risks when incorporated in the human body, usually by ingestion or inhalation. Polonium-210 is a very intensive alpha emitter, making it one of the most dangerous radionuclides in existence when incorporated. After absorption and multiphasic distribution within the human body, Polonium-210 accumulates in the soft tissues and can be found in liver, spleen, kidneys and bone marrow. The heavy alpha particles have devastating effects on cell structures and DNA. Hence, the incorporation of Polonium-210 can cause symptoms which are similar but not identical to the acute radiation syndrome (ARS) caused by whole body gamma radiation. Multiorgan failure and immunosuppression are the causes of death from Polonium-210. Most of the Polonium-210 is excreted by feces and the remainder in the urine. Incorporation of even a small amount (micrograms) of Poloni-

um-210 can cause death within several days. Medical staff caring for patients with Polonium-210 ingestion should use standard precautions and should avoid direct contact with contaminated bodily excretions. Patient management consists of expectant supportive care. Decorporation by chelation therapy with dithiol derivatives such as dimercaptosuccinic acid (DMSA) is experimental and to date has only been studied in rodents. In summary, the alpha emitter Polonium-210 is a very rare radionuclide which is relatively harmless outside the body, but when incorporated into the human body causes death from multiorgan failure over several days due to internal alpha radiation.

Keywords

Polonium-210 · Alexander Litvinenko · alpha emitter · incorporation · radiation · radiotoxicity · acute radiation syndrome

Alles ist Kommunikation

... aber sie ist nicht
immer einfach.



2007. 144 S. 18 Abb. Geb.
€ (D) 29,95; € (A) 30,79 sFr 51,00
ISBN 978-3-540-48590-2

- Die richtigen Botschaften zur richtigen Zeit: typische Gesprächssituationen, Lösungsvorschläge, Übungen
- Tipps zum professionellen Beschwerdemanagement
- Erfolgreiche Teamführung = bessere Leistung; erfolgreiche Patientengespräche = zufriedene Patienten

Jetzt in Ihrer Buchhandlung.

€(D) sind gebundene Ladenpreise in Deutschland und enthalten 7% MwSt; €(A) sind gebundene Ladenpreise in Österreich und enthalten 10% MwSt. Preisänderungen und Irrtümer vorbehalten.

Chelat-Therapie mit Dithiolderivaten, wie z. B. mit Dimercaptobernsteinsäure (DMSA), zur Dekorporation von Polonium-210 wurde bislang vorwiegend an Nagetieren studiert. Diäthylentriaminpentaessigsäure (DTPA), ebenfalls ein Chelat-Therapeutikum, wurde kürzlich u. a. im Zusammenhang mit der Gefahr einer „dirty bomb“ von der US Food and Drug Administration (FDA) zur Dekorporationstherapie der 3 radioaktiven Materialien und Alphastrahlern Plutonium (Pu), Americium (Am) und Curium (Cm) freigegeben [1].

■ Laut Literatur ist die Therapie mit DTPA zur Dekorporation von Polonium-210 ineffektiv.

Wenn das schädigende Ereignis nicht bekannt ist, kann es schwierig sein, die Diagnose von Inkorporation oder einer Gammaexposition zu stellen, da einige der Symptome in der Frühphase auch durch andere Erkrankungen, wie z. B. Schwermetallintoxikation oder Sepsis, ausgelöst werden können. Solange es sich um einzelne Patienten handelt, sollte die Behandlung in speziell qualifizierten Krankenhäusern mit strahlentherapeutischen Behandlungsteams erfolgen.

Gefährdung für Mitarbeiter im Gesundheitswesen

Normaler Kontakt mit Menschen, die erhöhte Konzentration von Polonium-210 aufgenommen haben, stellt keine Gefährdung dar. Die Mitarbeiter des University College Hospital UCH und Barnet Hospitals in London sind auf Kontamination untersucht worden. Es konnte keine nachgewiesen werden.

Messung

Die Messung und das Aufspüren von Polonium-210, einem fast reinem Alphastrahler, ist technisch relativ schwierig. Urinalysen brauchen Zeit und sind deshalb problematisch für ein Massenscreening.

P-210 und „dirty bomb“

Da Polonium-210 in nur geringen Mengen natürlich vorkommt und nur ca. 100g

weltweit laut der US Nuklear-Regulierungsbehörde produziert werden, ist die Gefahr der Verwendung beim Bau einer „schmutzigen Bombe“ eher als gering einzuschätzen [7]. Die physikalische Halbwertszeit ist zudem relativ kurz.

Korrespondenzautor

Dr. Hp. Moecke
Ärztlicher Direktor,
Asklepios Klinik Nord-Heidberg
Tangstedter Landstraße 400
22417 Hamburg
h.moecke@asklepios.com

Literatur

1. Center for Disease Control and Prevention (CDC) (2006) Fact Sheet: Diethylenetriaminpentaacetate (DTPA). <http://www.bt.cdc.gov/radiation/pdf/dtpa.pdf>
2. Center for Disease Control and Prevention (CDC) (2006) Information about Polonium-210 in recent events in the United Kingdom. <http://www.bt.cdc.gov/radiation/isotopes/pdf/qa.pdf>
3. Health Physics Society (2006) Polonium-210 Information Sheet. http://hps.org/documents/po210_information_sheet.pdf
4. International Atomic Energy Agency (IAEA) (2006) Fact Sheet on Polonium-210. <http://www.iaea.org/Publications/Factsheets/English/polonium210.html>
5. Koenig KL, Goans RE, Hatchett RJ et al. (2005) Medical treatment of radiological casualties: Current concepts. *Ann Emerg Med* 45: 643–652
6. Rencova J, Volf V, Jones MM et al. (2000) Mobilization and detoxification of polonium-210 in rats by 2,3-dimercaptosuccinic acid and its derivatives. *Int J Radiat Biol* 76: 1409–1415
7. United States Nuclear Regulatory Commission (2006) Fact Sheet: Polonium-210. <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/polonium.pdf>

Kongresstipp

13.–15.9.2007, Hamburg
4. International Emergency and Rescue Congress and Exhibition (INTERCON)

Radiologische Schadenslagen ist ein Schwerpunktthema des 4. INTERCON-Kongresses:

„Help: As Soon As Possible“ vom
13.–15. September 2007 in Hamburg.
Weitere Informationen unter:
www.internationaler-kongress.de