

Merkblatt zur BK Nr. 2402:
Erkrankungen durch ionisierende Strahlen
Merkblatt für die ärztliche Untersuchung

(Bek. des BMA vom 13. Mai 1991, BArbBl. 7-8/1991, S. 72ff.)

I. Vorkommen und Gefahrenquellen

Röntgenstrahlen sind in der Antikathode durch Abbremsung der Elektronen erzeugte energiereiche, elektromagnetische Wellen. Von Gegenständen, die durch Röntgenstrahlen getroffen werden, gehen Streustrahlen aus.

Röntgenstrahlen können eine Gefahrenquelle darstellen für Personen, die der direkten oder indirekten Einwirkung, z. B. im Bereich der Medizin, bei der Materialprüfung, in der Röntgenapparate- oder -röhrenindustrie, ausgesetzt sind.

Radioaktive Stoffe sind Elemente, d. h. Radionuklide, die von selbst zerfallen und dabei spontan Strahlen aussenden, meist Alpha-, Beta- oder Gammastrahlen. Man unterscheidet natürliche und künstliche radioaktive Stoffe. Letztere werden vorwiegend in Reaktoren als Spaltprodukte oder durch Neutronenbeschuss gewonnen. Radioaktive Stoffe kommen in fester oder flüssiger Form oder als Gase vor; sie werden als offene oder umschlossene Präparate verwendet. Radioaktive Stoffe können in entsprechenden Dosen eine Gefahrenquelle für Personen sein, die bei Gewinnung, Verarbeitung, Verwendung oder beim Transport mit diesen Stoffen oder den von ihnen ausgesandten Strahlen in Berührung kommen, z. B. bei der medizinischen Diagnostik oder Therapie, bei wissenschaftlichen Untersuchungen, bei der Werkstoffprüfung, bei bestimmten Meßverfahren, bei der industriellen Verarbeitung und Anwendung von Radionukliden sowie bei Tätigkeiten im Uranbergbau und in kerntechnischen Anlagen.

Unter anderen ionisierenden Strahlen sind solche atomaren Teilchen zu verstehen wie Elektronen, Protonen, Deuteronen und andere beschleunigte Ionen sowie Neutronen, die direkt oder indirekt ionisieren. Diese können in Atomreaktor- und Teilchenbeschleunigerbetrieben vorkommen.

II. Pathophysiologie

Alle energiereichen ionisierenden Strahlen lösen beim Auftreffen auf Materie physikalisch-chemische Reaktionen aus, die im lebenden Gewebe zu Störungen der Zelltätigkeit, zum Zelluntergang und damit zu funktionellen und morphologischen Veränderungen führen können. Durch die Körperoberfläche, d. h. von außen einwirkende ionisierende Strahlen (externe Exposition) haben im Organismus bei identischer Dosis prinzipiell die gleiche Wirkung wie die Strahlen, die von inkorporierten (über Atem- und Verdauungswege oder Haut und Schleimhaut) radioaktiven Stoffen ausgehen (interne Exposition).

Das Ausmaß der biologischen Wirkung ist abhängig von physikalischen Komponenten, wie

1. absorbiertes Strahlenmenge (Dosis),
2. Strahlenart,
3. zeitlicher Verteilung der Dosis (Dosisleistung, ein- oder mehrmalige Bestrahlung in kürzeren oder längeren Zeitabständen),
4. räumlicher Verteilung der Dosis (Ganzkörperbestrahlung, lokale Bestrahlung) und von biologischen Faktoren, wie
5. Alter, Geschlecht, Gesundheits- und Ernährungszustand, Temperatur des exponierten Individuums,
6. Strahlenempfindlichkeit des betroffenen Gewebes.

Bei Inkorporierung spielen die physikalische Halbwertszeit und das Stoffwechselverhalten des radioaktiven Stoffes eine entscheidende Rolle.

III. Krankheitsbild und Diagnose

Man unterscheidet nicht-stochastische und stochastische Strahlenwirkungen.

Bei den nicht-stochastischen Wirkungen muß eine Schwellendosis überschritten werden, damit der Effekt eintritt; bei den stochastischen Strahlenwirkungen wird keine Schwellendosis angenommen.

A. Akuter Strahlenschaden nach Ganzkörperbestrahlung

Er beruht meistens auf einem Unfall. Im Vordergrund stehen bei Dosen über 1 Sv zunehmend Schäden der Zellerneuerungssysteme für Blut und des Darmepithels. Das Bild der akuten Strahlenkrankheit aggraviert mit steigender Dosis und ist gekennzeichnet durch das sogenannte akute Strahlensyndrom. Hierzu gehören u. a. in der Frühphase Kopfschmerzen, Übelkeit, Brechreiz, Abgeschlagenheit, Appetitmangel und später insbesondere Infektanfälligkeit sowie Blutgerinnungsstörungen mit Blutungen in Haut und Schleimhäuten; auch blutige Durchfälle und Erbrechen können auftreten.

Bei entsprechend hoher Dosis (2 Sv und höher) fällt bereits in den ersten Stunden bis Tagen nach dem Strahleninsult die Lymphozytenzahl im zirkulierenden Blut ab; die übrigen Blutelemente (Granulozyten, Thrombozyten, Erythrozyten) folgen dosisabhängig und entsprechend ihrer biologischen Lebenszeit in späteren Tagen, da die Zellerneuerung im Knochenmark geschädigt ist.

B. Akuter lokaler Strahlenschaden nach Teilkörperbestrahlung

Bei Bestrahlung größerer Körperabschnitte können die Symptome des lokalen Schadens mit den unter A genannten Allgemeinerscheinungen verbunden sein.

1. Ein akuter Schaden der Haut infolge beruflicher Tätigkeit ist vorwiegend an den Händen lokalisiert und beginnt mit einem meist juckenden Erythem, das je nach Dosis in Wochen, Tagen oder Stunden mit wechselnder Intensität in Erscheinung tritt. Sehr hohe Dosen verursachen Desquamation und Nekrose (Ulcus).

2. Ein akuter Schaden der Schleimhaut kann etwas früher als der akute Schaden der Haut auftreten und besteht wie dieser in Erythem, Desquamation mit Blutungen und ggf. Nekrose.
3. Ein akuter Schaden des Auges äußert sich überwiegend in einer entzündlichen Veränderung der Bindehaut.
4. Ein akuter Schaden der Keimdrüsen äußert sich in temporärer oder dauernder Sterilität mit Amenorrhoe bzw. Oligo-Azoospermie.

Die unter Ziff. 1 bis 4 genannten Schäden sind nur bei Einwirkung höherer Dosen (1 Sv und höher) zu erwarten.

C. Chronischer allgemeiner Strahlenschaden nach Ganzkörperbestrahlung

Er kann sich durch einmalige Einwirkung einer hohen Strahlendosis als Folge einer akuten Strahlenschädigung wie auch durch wiederholte Einwirkung kleinerer Dosen entwickeln. Die unter A geschilderten Symptome könnten bei geringeren Strahlendosen bzw. geringer Dosisleistung fehlen oder in abgeschwächter Form auftreten, und dennoch werden später Strahleneffekte hervorgerufen (s. Abschnitt E).

D. Chronischer lokaler Strahlenschaden nach Teilkörperbestrahlung

Akute oder chronische Teilkörperbestrahlungen verursachen Spätschäden (s. Abschnitt E).

Besondere Beachtung verdient:

1. Bei externer Bestrahlung kommt es immer zu einer Exposition der Haut. Ein chronischer Schaden der Haut äußert sich nach hohen Strahlendosen (mehrere Sv und höher) in Atrophie mit pergamentartiger Beschaffenheit der Haut sowie in Pigmentverschiebung, ungleichmäßiger Pigmentierung, Trockenheit infolge Störung der Talg- und Schweißdrüsenabsonderung, Dauerepilation, trockener Abschilferung, Verhornung, Rhagadenbildung und Teleangiektasie. Außerdem können Wachstumstörungen mit Längsriffelung und Brüchigkeit der Nägel auftreten. Ekzeme und schmerzhafte Ulzerationen sowie Warzenbildung und Hautkarzinome sind möglich.
2. Chronischer Schaden der Atemwege und der Lunge: U. a. kommt es bei der Förderung von Pechblende-Erz, welches Radium, dessen Zerfallsprodukte und andere radioaktive Stoffe enthält, durch Inhalation zur lokalen Exposition der Atemwege. Nach mehrjähriger Einwirkungszeit können chronische Schäden (z. B. Lungenfibrosen) und Lungenkrebs (sog. "Schneeberger Lungenkrebs") auftreten. Die Zerfallsprodukte des Radiums (Radon u. a.), welche vorwiegend über die Atemwege aufgenommen werden, spielen dabei eine wichtige Rolle.
3. Chronische Schäden an anderen Organen können durch Strahleneinwirkung inkorporierter radioaktiver Stoffe auftreten. Sie finden sich am häufigsten bei den sogenannten kritischen Organen, d. h. denjenigen Organen, in denen radioaktive Stoffe sich bevorzugt ablagern (z. B. Schilddrüsen für Jod, Knochen für Strontium, Radium, Polonium u. a.).

E. Strahlenspättschäden

Strahlenspättschäden können sowohl nach einmaliger Einwirkung einer hohen Dosis als auch nach langzeitiger oder wiederholter Einwirkung kleiner Dosen auftreten. Der Strahlenexposition folgt eine längere symptomfreie Latenzzeit, eine akute Strahlenkrankheit muß dabei nicht vorausgegangen sein. Neben o. g. Spättschäden der Haut und Atemwege und neben Katarakten, die nach Bestrahlung der Augen mit höheren Dosen (>2 Sv; vorwiegend bei Neutronen und schweren Teilchen, aber auch bei locker ionisierender Strahlung) vom hinteren Linsenpol ausgehend beobachtet werden, sind vor allem Leukämien und andere maligne Tumoren als strahlenbedingte Spättschäden bedeutsam (s. Anhang 2). Die Eintrittswahrscheinlichkeit dieser Erkrankungen ist dosisabhängig.

IV. Weitere Hinweise

Um zu beurteilen, ob eine Erkrankung auf eine Strahlenexposition zurückzuführen ist, sind eine eingehende Arbeitsanamnese unter Berücksichtigung technischer Einzelheiten am Arbeitsplatz, der Ergebnisse der Personen- und Ortsdosismessungen, anderer unter II genannter physikalischer und biologischer Faktoren sowie die für den Arbeitsplatz getroffenen Strahlenschutzmaßnahmen von entscheidender Bedeutung.

Besonders ist zu prüfen, ob es sich beim Umgang mit radioaktiven Stoffen um offene oder umschlossene Präparate gehandelt hat. Bei Arbeiten mit offenen Präparaten ist die Möglichkeit einer Kontamination oder Inkorporation gegeben. Ggf. ist der Nachweis inkorporierter radioaktiver Stoffe im Körper und in den Körperausscheidungen in speziell hierfür eingerichteten Instituten zu führen.

Die Beurteilung der Strahleneinwirkung ist in der Regel schwierig und sollte daher ggf. in Zusammenarbeit mit einem Strahlenbiologen/-physiker erfolgen.

Die Anhänge 1 und 2 zum Merkblatt sind zu beachten.

V. Literatur

BEIR:

The Effects of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. National Academy Press, Washington, D. C., 1980

Boice, J. D. und Fraumeni, J. F.:

Radiation Carcinogenesis: Epidemiology and Biological Significance. Raven Press, New York, 1984

DeVita, V. T., Hellmann, S. und Rosenberg, S. A.:

Principles and Practice of Oncology. Lippincott, Philadelphia, 1985

Feinendegen, L. E.:

Begutachtung von Fällen, bei denen ein Strahlenschaden in Erwägung gezogen werden muß. In: "Strahlenschutz in Forschung und Praxis", Band XV, 140-146 Thieme, Stuttgart, 1976

ICRP:

Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Annals of the ICRP, Publication 26, Pergamon Press, 1977

Kleihauer, E.:

Hämatologie. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1978

NIH:

Report of the National Institutes of Health: ad hoc Working Group to Develop Radioepidemiological Tables. NIH Publication No. 85-2748, U. S. Department of Health and Human Services, Washington, D. C., 1985

Preston, D. L., Kato, H., Kopecki, K. J. und Fujita, Sh.:

Cancer Mortality among A-Bomb Survivors in Hiroshima and Nagasaki, 1950-1982. Life Span Study Report 10, Part 1, Radiation Effects Research Foundation, Hiroshima, 1987

Shimizu, Y., Kato, H., Schull, W. J., Preston, D. L., Fujita, Sh. und Pierce, D. A.: Comparison of risk coefficients for site-specific cancer mortality based on the DS86 and T65DR shielded kerma and organ doses. Life Span Study Report 11, Radiation Effects Research Foundation, Hiroshima, 1987

Streffer, C.:

Untersuchung des Leukämie- und Krebsrisikos bei beruflich strahlenexponierten Personen. In: "Strahlenschutz in Forschung und Praxis", Band 30, 93-120. Fischer, Stuttgart, New York, 1988

UNSCEAR:

Sources, Effects and Risks of Ionizing. United Nations Scientific Committee on the Effects of Ionizing Radiation. United Nations, New York, 1977

UNSCEAR:

Sources, Effects and Risks of Ionizing. United Nations Scientific Committee on the Effects of Ionizing Radiation. United Nations, New York, 1988

Wintrobe, M. M., Lee, G. R., Boggs, D. R., Bithell, T. C., Foerster, J., Athens, J. W. und Lukens, J. N.:

Clinical Hematology. Lea & Febiger, Philadelphia, 1965

Anhang 1 zum Merkblatt für die ärztliche Untersuchung zu Nr. 2402 Anl. 1 BeKV

Erläuterungen von ausgewählten Begriffen und Einheiten

1. Ionisieren bedeutet das Abtrennen von Elektronen aus dem Atomverband, wobei die ionisierten Atome oder die ionisierte Atome enthaltenden Moleküle in einen Zustand veränderter chemischer und dadurch auch biologischer Reaktionsbereitschaft gelangen.

2. Ionisierende Strahlen sind energiereiche Wellen-(Quanten- oder Photonen-) bzw. Teilchen-(Korpuskular)-strahlen, die beim Durchgang durch Materie die Atome zu ionisieren vermögen.
3. Direkt ionisierende Strahlen sind alle elektrisch geladenen Korpuskeln, wie z. B. schnelle Elektronen oder Betastrahlen, Alphastrahlen, Protonen usw.
4. Indirekt ionisierende Strahlen sind Röntgen- und Gammastrahlen sowie Neutronen, die durch Wechselwirkung mit Atomen direkt ionisierende Strahlen erzeugen (z. B. Röntgen- oder Gammastrahlen: Elektronen; Neutronen: Rückstoßprotonen oder Kernprozesse).
5. Von außen wirkende Strahlen sind solche, die von einer außerhalb des Körpers sich befindenden Strahlenquelle in den Körper einwirken (externe Exposition).
6. Von innen wirkende Strahlen sind solche Strahlen, die von inkorporierten radioaktiven Stoffen im Körper ausgehen (interne Exposition).
7. Kontamination ist eine Verunreinigung durch radioaktive Stoffe.
8. Umschlossene Strahler sind radioaktive Stoffe, die in festen und inaktiven Stoffen inkorporiert sind, oder die von einer inaktiven Hülle umschlossen sind, die ausreicht, um bei üblicher Beanspruchung ein Austreten radioaktiver Stoffe zu verhindern, um die Möglichkeit einer Kontamination auszuschalten.
9. Offene Strahler sind radioaktive Stoffe, die nicht in festen und inaktiven Stoffen inkorporiert oder von solchen umhüllt sind. Austreten radioaktiver Stoffe und Kontamination sind möglich.
10. Als Einheit der Strahlendosis (Ionendosis) gilt: "Coulomb pro Kilogramm" (C/kg). Die alte Einheit ist das "Röntgen" (R);
Umrechnungsfaktor: $1 \text{ C/kg} = 1,88 \times 10^3 \text{ R}$.
11. Als Einheit der absorbierten Dosis (Energiedosis) gilt das "Gray" (Gy). Die alte Einheit ist das "Rad" (rd).
Umrechnungsfaktor: $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rd}$.
12. Die Äquivalentdosis "Sievert" (Sv) wird als Einheit im Strahlenschutz verwendet. Sie berücksichtigt die unterschiedliche biologische Wirksamkeit verschiedener Strahlenqualitäten. Die Strahlenqualität wird bestimmt durch die Strahlenart und -energie. Zur Berücksichtigung der biologischen Wirksamkeit sind Bewertungsfaktoren (q) festgelegt ($\text{Sv} = \text{Gy} \times q$). Die alte Einheit ist das "Rem" (rem).
Umrechnungsfaktor: $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$.
13. Die Dosisleistung ist die Dosis/Zeit. Sie wird z. B. in "Gy/h", oder "Sv/sec" bzw. "Sv/min" usw. gemessen.
14. Als Einheit der Radioaktivität gilt das "Becquerel" ($1 \text{ Bq} = 1 \text{ Zerfall/sec}$); eine Umrechnung von "Bq" in "Gy" oder "Sv" ist u. a. nur bei genauer Kenntnis der Art des Strahlers und des Expositionspfades (z. B. externe, interne Bestrahlung) sowie der Kinetik des radioaktiven Stoffes und anderer Faktoren möglich.
15. Die physikalische Halbwertszeit (HWZ) ist die Zeit, in der die Hälfte der ursprünglich vorhandenen Atome zerfallen ist. (Nach 2 HWZ ist noch $1/4$, nach 3 HWZ noch $1/8$ usw. der ursprünglichen Aktivität vorhanden.)

16. Die biologische Halbwertzeit ist die Zeit, in der die Hälfte der ursprünglich im Körper inkorporierten radioaktiven Stoffe u. a. durch Stoffwechselfvorgänge ausgeschieden wird.

Anhang 2 zum Merkblatt für die ärztliche Untersuchung zu Nr. 2402 An1. 1 BeKV

Strahlenempfindlichkeit einzelner Organe und Gewebe in Hinsicht auf die Verursachung maligner Erkrankungen

Grad der Empfindlichkeit	Organ/Gewebe
Hoch	Brust Colon Knochenmark (Leukämie) Lunge Magen
Mittel	Blase Haut Leber Lymphat. Zellen (Plasmocytom) Ösophagus Ovar Schilddrüse
Niedrig	Hirn Knochen Lymphat. Zellen (maligne Lymphome) Niere Prostata Rektum