

Int. Kongreß der Ges. f. Strahlenschutz Bremen: Strahlenschutz nach der Jahrtausendwende. Bremen 9.-10. Juni 2000

Strahleninduzierte Katarakte als Folge berufsmäßiger Exposition

Inge Schmitz-Feuerhake, Universität Bremen, Fachbereich 1, AG Medizinische Physik

Einleitung

Die Beobachtungen über ein gehäuftes Auftreten von Katarakten bei der Bevölkerung in radioaktiv kontaminierten Gegenden werfen die Frage auf, ob diese Strahlenfolge nicht auch im Uranbergbau beachtet werden muß. Seminov und Fedorow (1994) berichten über Katarakte in der sibirischen Region Semipalatinsk, in der die UDSSR in den Jahren 1949-62 Atomwaffentests durchführten. Shubik und Kvasova (1996) führen Kataraktbildungen bei Personen aus der Umgebung des Tschernobylunglücks ebenfalls auf die chronische Niederdosisexposition zurück. Anlaß zu dieser Betrachtung war der Fall eines Wismutbeschäftigten, bei dem im Alter von 36 J. eine Katarakt diagnostiziert wurde, nachdem er 11 Jahre lang unter Tage gearbeitet hatte.

Frühere Annahmen über die Schwellendosis bei der Kataraktbildung

Trübungen der Augenlinse als Folgeerscheinung ionisierender Strahlung werden in der Literatur schon seit langer Zeit und auch aus dem Berufsmilieu beschrieben. Die sich ausbildenden Katarakte (Grauer Star) wurden zu den deterministischen Effekten gezählt und eine Schwellendosis von 2 Sv bei Akutbestrahlung bzw. von 4 Sv bei geringer Dosisleistung angenommen (UNSCEAR 82). Die ICRP gibt sogar eine Schwellendosis von 5 Sv bei Akutbestrahlung und von über 8 Sv bei geringer Dosisleistung an (1991).

Aus den Kataraktbefunden bei den japanischen Atombombenüberlebenden (Akutbestrahlung) wurden jedoch neuerdings wesentlich geringere Schwelldosiswerte abgeleitet. Für Gammastrahlung erhielten die Autoren 0,73 Gy (=0,73 Sv) und für Neutronen 0,07 Gy (Otake 91).

Folgerungen aus Niederdosisbefunden über Katarakte

Worgul et al. (1996) haben darauf hingewiesen, dass sich die japanischen Ergebnisse auch mit Dosiswirkungskurven ohne Schwelle vereinbaren lassen. Sie plädieren aufgrund der Effekte in Semipalatinsk und aufgrund eigener experimenteller Untersuchungen über den Entstehungsmechanismus von Katarakten dafür, diese als stochastisch einzustufen. Diese These sehen sie auch dadurch bestätigt, dass Katarakte nach Röntgen-CT des Kopfes aufgetreten sind, wobei die Linsendosis bei 0,1-0,3 Sv lag (Klein 1993).

Über die Dosis der Bevölkerung in den kontaminierten Gebieten der ehemaligen UDSSR gibt es verschiedene Angaben. Die höchsten wurden durch Biologische Dosimetrie mittels dizentrischer Chromosomen in Lymphozyten erhalten. Für die Region Semipalatinsk liegen sie bei 1 Sv (Shevchenko 96), in der Umgebung von Tschernobyl bei 0,1 Sv (Stephan 89, Salomaa 97), in der Evakuierungszone bei 0,4 Sv (Mikhalevich 00). Damit sind sie ebenfalls wesentlich niedriger, als nach UNSCEAR und ICRP für eine Kataraktbildung zu fordern wäre.

Für den Charakter des stochastischen Effektes spricht auch, dass Katarakte in Hiroshima und Nagasaki nur statistisch aufgetreten sind. In den Dosiswirkungskurven, die einen Bereich bis zu 5 Sv erfassen, wurde dort maximal eine Inzidenz von 35 % gefunden (Otake 91, 96), während für deterministische Effekte normalerweise angenommen wird, dass sie ab einer gewissen Dosis bei jedem bestrahlten Individuum auftreten.

Exposition der Augenlinse im Uranerzstollen

Beim Aufenthalt im Uranbergwerk gibt es für die Augenlinse neben der Gammaexposition noch zwei weitere beachtenswerte Belastungspfade: durch Diffusion von Radon in die Linse wegen seiner Wasserlöslichkeit und durch Inkorporation radioaktiven Staubes.

Die Augenlinse ist ein in sich geschlossenes eingekapseltes Zellsystem. Es besteht überwiegend aus transparenten Fiberzellen, die aus differenzierten Epithelzellen gebildet werden. Die Zellteilung erfolgt in der germinativen Zone des Linsenepithels am Linsenäquator. Nach Bestrahlung wandern geschädigte Zellen und Abbauprodukte zum hinteren Linsenpol und sammeln sich dort an. Von dort aus erfolgt eine Ausbreitung über die gesamte Linse und führt schließlich zur vollständigen Trübung. Die strahlenempfindliche Zone ist also das oberflächlich liegende Epithel.

Edelgase sind sehr gut wasserlöslich, und zwar um so besser je höher ihr Atomgewicht ist. Daher nehmen die verschiedenen Körpergewebe Radon auf, wobei die Zusammensetzung des Gewebes die Löslichkeit im Vergleich zu reinem Wasser modifiziert, die auch mit der höheren Temperatur des Körpers abnimmt. Fettreiches Gewebe löst sehr viel mehr Radon als Wasser. Der Löslichkeitskoeffizient für die Augenlinse, deren Fettgehalt vernachlässigbar sein dürfte, ist in der Literatur nicht angegeben. Wir setzen daher den Löslichkeitskoeffizienten für Wasser bei 37° C ein, der 27 % beträgt (Nussbaum 58).

In einer Radonatmosphäre muß das Edelgas zunächst die Hornhaut durchdringen, die etwa 0,5 mm dick ist und zu 78 % aus Wasser besteht (ICRP 75), und dann das Wasser der vorderen Augenkammer, um in die Linse zu gelangen. Da alle diese Bereiche nicht durchblutet sind, findet dort nur ein sehr langsamer Stoffaustausch statt und man kann davon ausgehen, dass sich zwischen Außenatmosphäre und Innenkonzentration ein Gleichgewicht entsprechend der Löslichkeit einstellt. Wenn das gelöste Radon im Gleichgewicht mit seinen kurzlebigen Folgeprodukten steht, werden pro Zerfall 19,2 MeV an Alphaenergie ausgestrahlt. Für eine Radonkonzentration von 10 kBq/m^3 würde eine 27 %ige Löslichkeit im Linsenepithel eine Dosisleistung von $2,99 \cdot 10^{-8} \text{ Gy/h}$ ergeben, bei 1800 Arbeitsstunden im Jahr (HVBG 98) $5,34 \cdot 10^{-2} \text{ mGy}$ pro Jahr und mit $Q=20$ für Alphastrahlung $1,08 \text{ mSv}$ pro Jahr.

Da bei dicht ionisierender Strahlung ein umgekehrter Dosisrateneffekt beobachtet wird (bei chronischer Bestrahlung mit abnehmender Dosis nimmt die RBW der dicht ionisierenden Strahlung zu und damit die Wirkung pro Doseinheit) und die RBW für Katarakte bei Neutronenexposition Werte bis über 100 erreicht (Worgul 96), setzen wir einen 5-fach größeren Q-Wert für die Alphastrahlung ein, da man bei ihr ähnlich überhöhte Wirkungen im Vergleich zu Gammastrahlung unterstellen muss. Somit erhält man $5,40 \text{ mSv}$ pro Jahr für die Augenlinse bei Aufenthalt in einer Radonkonzentration von 10 kBq/m^3 . Bei hoher Radonkonzentration und jahrelanger Tätigkeit kann somit ein solcher Dosisbeitrag für die Kataraktbildung relevant werden. In den Stollen der SDAG Wismut wurden bis Ende der 60er Jahre Radonkonzentrationen bis über 300 kBq/m^3 gemessen (HVBG 98).

Die Betasubmersion für die Augenlinse würde bei einer Radonkonzentration von 10 kBq/m^3 und einer Aufenthaltsdauer von 1800 Stunden $0,29 \text{ mSv}$ pro Jahr betragen, die Gammasubmersion wäre demgegenüber vernachlässigbar (BMJ 89).

Eine noch bedeutsamere Strahlenbelastung der Augenlinse ergibt sich möglicherweise aus der Inkorporation von alphastrahlenden Feststoffnukliden, wobei die relevanten Stoffe im Uranstaub des Wismutbetriebes untertage neben U 238 die Folgeprodukte U 234, Th 230, Ra 226 und Po 210 sind, ferner das U 235 und sein Folgeprodukt Pa 231 (HVBG 98). Aus der Literatur ist bekannt, dass sich Radionuklide aus der Blutbahn im Auge einlagern. Von Griffith u.a. (1985) wurde im Fall eines 47-jährigen Mannes mit Katarakt, der eine Plutoniuminkorporation erlitten hatte, eine Deposition dieses Radionuklids im Auge nachgewiesen. In Versuchen an Hunden und anderen Säugetieren zeigte sich, daß Folgeprodukte der Uranreihe und Transurane nach i.v.-Injektion in die Augen gelangen und von dort nur sehr langsam abtransportiert werden (Griffith 85). Für Radium 226, dem Folgeprodukt von Uran 238, wurde bei Rindern und bei zwei Versuchspersonen eine gleiche Konzentration in den Augengeweben wie in den Knochen festgestellt (Hunt 67).

Bis in die 70er Jahre haben die Inkorporationen an U 238 bei Vollbeschäftigung in den Betrieben der Wismut nach Angaben des Hauptverbands der gewerblichen Berufsgenossenschaften Werte von einigen 100 Bq pro Jahr erreicht. Nimmt man nach Hunt ,s. oben, an, dass die Augendosis der Knochendosis entspricht, käme man bei Inkorporation von 100 Bq U 238 pro Jahr und den entsprechenden Anteilen der Folgeprodukte auf eine Dosis von $12,6 \text{ mGy}$ pro Jahr (BMJ 89). Mit $Q=20$ ergäbe das 252 mSv und mit $Q=100$ $1,26 \text{ Sv}$ Augendosis pro Jahr. Dieser Effekt könnte somit zu wesentlich höheren Expositionen geführt haben als die Radondiffusion. Allerdings ist dieser Belastungspfad beim Menschen weitgehend unerforscht und quantitativ derzeit schwer einzuschätzen.

Schlußfolgerungen

Verschiedene neuere Erfahrungen aus Niederdosisexpositionen, insbesondere aus radioaktiv kontaminierten Gegenden, erfordern eine Neueinschätzung der Strahlenschädigung der Augenlinse. Die früher angenommenen Schwellendosen von mehreren Sv sind nicht mehr haltbar. Der Organdosisgrenzwert für das Auge bei beruflich Strahlenexponierten, der in der geplanten novellierten Fassung der Strahlenschutzverordnung weiterhin 150 mSv pro Jahr betragen soll, ist nicht länger verantwortbar. Risikogruppen sind neben Beschäftigten im Uranbergbau Ärzte und medizinisches Personal, die Patienten unter Röntgenkontrolle behandeln oder überwachen.

Die Autoren Worgul et al. haben plausible Argumente erarbeitet, strahlenbedingte Katarakte als stochastischen Effekt einzustufen. Sie halten Untersuchungsbefunde über den Grad einer Linsentrübung sogar für ein geeignetes Mittel der Biologischen Dosimetrie. Weitere Untersuchungen beim Menschen über Linsentrübungen nach Niederdosisexposition sind dringend erforderlich.

Literatur

BEIR IV: Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations. Health Risks of Radon and other Internally Deposited Alpha-emitters. National Academy Press, Washington, D.C. 1988

BMJ: Bundesminister der Justiz (Hrsg.), Bekanntmachung der Dosisfaktoren Äußere Exposition - Erwachsene u. Kleinkinder (1 Jahr), Ingestion u. Inhalation - Kleinkinder (1 Jahr), Ingestion und Inhalation - Erwachsene. Vom 5. Sept. 1989. Bundesanzeiger Jahrgang 41, 30.9.1989, 6 1990 A, Nr. 185a

Griffith, T.P., Pirie, A., Vaughan, J.: Possible cataractogenic effect of radionuclides deposited within the eye from the blood stream. *British Journal of Ophthalmology* 69, 1985, 219-227

Hunt, V.R.: Concentrations of ^{210}Po , ^{226}Ra and ^{228}Th in the choroid of the eye, particular in cattle. In Aberg, S., Hungate, F.P. (Eds.), *Radioecological concentration processes*. Pergamon Press Oxford 1967, p. 303-311

HVBG: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Bergbau-Berufsgenossenschaft (Hrsg.), *Belastung durch ionisierende Strahlung im Uranerzbergbau der ehemaligen DDR*. Druck Center Meckenheim, Dez. 1998

International Commission on Radiological Protection: Report of the Task Group on Reference Man. ICRP-Publication 23, Pergamon Press, Oxford 1975

International Commission on Radiological Protection: 1990 Recommendations of the Int. Commission on Radiological Protection. ICRP-Publication 60, Pergamon Press, Oxford 1991

Klein, B.E.K., Klein, I., Linton, K.L.P., Franke, T.: Diagnostic X-ray exposure and lens opacities: the Beaver Dam eye study. *American Journal of Public Health* 83, 1993, 588-590

Mikhalevich, L.S., Lloyd, D.C., Edwards, A.A., Perepetskaya, G.A., Kartel, N.A.: Dose estimates made by dicentric analysis for some Belorussian children irradiated by the Chernobyl accident. *Radiat. Prot. Dos.* 87 (2000) 109-114

Nussbaum, E., Hursh, J.B.: Radon solubility in rat tissues. *Science* 125, 1958, 552

Otake, M., Schull, W.J.: Radiation-related posterior lenticular opacities in Hiroshima and Nagasaki atomic bomb survivors based on the DS86 dosimetry system. *Radiation Research* 121, 1990, 3-13

Otake, M., Neriishi, K., Schull, W.J.: Cataract on atomic bomb survivors based on a threshold model and the occurrence of severe epilation. *Radiation Research* 146, 1996, 339-348

Seminov, A.A., Fedorov, B.F.: Prevalence of cataract in the Altai region. *Vestnic Nauchnoi Programmi Semipalatinsky Poligon* 4 (1994) 29-32 (in Russ.)

Shubik, V.M., Kvasova, M.D.: Immunological studies on cataracts under conditions of exposure to low-dose radiation (engl. Übers., Artikel in Russ.). *Vestn-Oftalmol.* 112, 1996, 21-23

UNSCEAR: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. Report to the General Assembly, United Nations, New York 1982

Worgul, B.V., Kundiev, Y., Likhtarev, I., Sergienko, N., Wegener, A., Medvedovsky, C.P.: Use of subjective and nonsubjective methodologies to evaluate lens radiation damage in exposed populations - an overview. *Radiat. Environm. Biophys.* 35, 1996, 137-144