

Biodosimetrie mit Zähnen

Strahlenbelastung lässt sich an Zähnen nachweisen

Seit Fukushima vergeht kaum ein Tag, an dem Medien nicht über negative Folgen der Radioaktivität berichten. Zähne akkumulieren das Isotop Strontium-90 – ein Indikator für spätere Krebsrisiken. Mithilfe zahnärztlicher Geräte bestimmen Physiker über Defekte der kristallinen Substanz auch die Gesamtstrahlendosis von Opfern eines Strahlenunfalls.

Fukushima, 11. März 2011. Um 14:47 Uhr Ortszeit begann der größte Störfall eines Kernkraftwerks seit Tschernobyl. Durch ein Erdbeben, gefolgt von Explosionen, wurden mehrere Reaktorblöcke zerstört und große Mengen an Radionukliden freigesetzt. Bei Äquivalentdosen von über einem Sievert (Sv) entwickeln sich Erkrankungen des blutbildenden Systems, des Gastrointestinaltrakts, der Haut und der Nerven – bekannt als Strahlenkrankheit. Davon waren vor allem Arbeiter und Anwohner in unmittelbarer Nachbarschaft des Geländes be-

Glossar

Äquivalentdosis: Energie, die unser Körper in Form von Strahlung aufgenommen hat, multipliziert mit einem Faktor, der biologische Effekte verschiedener Strahlungsarten berücksichtigt. Die Äquivalentdosis wird in Sievert (Sv) angegeben.

Elektronenspinresonanz: Nachweismöglichkeit von ungepaarten Elektronen, zum Beispiel Störstellen im Kristallgitter. Bei der Messung wird eine Probe starken Magnetfeldern ausgesetzt. Durch Mikrowellen lassen sich ungepaarte Elektronen vom energetisch günstigen in einen energetisch ungünstigen Zustand „umklappen“. Daraus errechnen Computer die ursprünglich absorbierte Strahlendosis.

Halbwertszeit (radioaktiv): Zeit, die vergeht, bis 50 Prozent aller Atomkerne zerfallen sind.

Halbwertszeit (biologisch): Zeit, die vergeht, bis 50 Prozent aller Atomkerne aus dem Körper eliminiert worden sind, etwa durch Ausscheidungsvorgänge.

Isotop: Atomkerne eines Elements mit unterschiedlich vielen Neutronen. Bei den meisten Elementen wie Iod kommen stabile (Iod-127) sowie instabile Isotope (Iod-131, u.a.) vor.



Fotos: Harold M. Swartz, Dartmouth Medical School, Hannover, New Hampshire

Zur optimalen Positionierung des Patienten haben Techniker einen Beißblock mit Lippenhalter entwickelt.

troffen. Eine weitaus größere Zahl an Menschen muss mit gesundheitlichen Folgen durch Spaltprodukte rechnen, die sich über Wasser, Luft und Boden verteilen und schließlich inkorporiert werden: Iod-131 (Halbwertszeit acht Tage), Caesium-137 (30,17 Jahre) und Strontium-90 (28,78 Jahre). Nach zehn Halbwertszeiten, so eine Faustregel, sind entsprechende Isotope komplett zerfallen. Bei Äquivalentdosen unter 0,5 Sievert bleiben akute Symptome aus. Betroffene erkranken jedoch häufiger an Krebs. Wie hoch das individuelle Risiko ist, lässt sich über Zähne ermitteln.

Ein Element auf Abwegen

Durch oberirdische Kernwaffentests beziehungsweise durch Reaktorunfälle landen feinste Partikel mit Strontium-90 in der Atmosphäre. Dort verweilen sie im Extremfall mehrere Monate. Über Niederschläge gelangen Salze als Fallout bis zum Boden und werden von Tieren und Pflanzen resorbiert. Schließlich führt der Weg über Nahrungsmittel in unseren Körper. Von Strontium existieren stabile und radioaktive Isotope. Das Element weist aufgrund seiner Stellung im Periodensystem ähnliche Eigenschaften wie Calcium auf, beide gehören zu den Erdalkalimetallen. Pro Tag werden zwischen 50 und 350 Mikrogramm Strontium pro Gramm

Calcium in Knochen beziehungsweise Zähnen abgelagert. Schwankungen lassen sich auf den unterschiedlichen Gehalt des Minerals im Boden zurückführen. Erhalten Zähne während ihrer Entwicklungsphase viel Strontium, kann sich deren Zusammensetzung erheblich ändern. Auch post-eruptiv wird das Mineral in pulpanahen Bereichen eingebaut. Der zellfreie Zahnschmelz tauscht durch Lösungs- und Abscheidungsvorgänge ebenfalls Ionen aus. Messungen haben gezeigt, dass in Zähnen zwischen 50 und 350 Mikrogramm Strontium pro Gramm Calcium vorhanden sind – in Form stabiler und radioaktiver Isotope. Durch lange biologische (49 Jahre) und radioaktive Halbwertszeiten (28,78 Jahre) führt Strontium-90 zu hohen Strahlendosen. Knochentumore und Leukämien sind mögliche Folgeerkrankungen der Inkorporation.

Zähne für die Wissenschaft

Eine US-amerikanische Arbeit liefert wichtige Zusammenhänge: Forscher untersuchten 97 Zähne der ersten Dentition von Krebspatienten, die zwischen 1959 und 1961 geboren wurden – einem Zeitraum mit oberirdischen Atomwaffentests. Als Vergleich dienten 194 Zähne von Probanden ohne maligne Erkrankung. Der Gehalt an Strontium-90 lag bei Tumorerkrankungen statistisch signifikant über den Werten der Vergleichsgruppe. Basierend auf diesen Daten fand eine neuerliche Analyse statt – mit 85 000 Milchzähnen und zugehörigen Datensätzen. Knapp acht Prozent aller Männer aus der Kohorte mit Geburtsjahren zwischen 1959 und 1961 hatten mittlerweile Krebs. Bei schon verstorbenen Patienten war der Gehalt an Strontium-90 mehr als doppelt so hoch wie bei gesunden Studienteilnehmern.

Defekte im Kristallgitter

Bestimmen Wissenschaftler den Strontium-90-Anteil in Proben, kennen sie mögliche Schwächen:

Quellen

Mangano JJ, et al., Elevated in vivo strontium-90 from nuclear weapons test fallout among cancer decedents: a case-control study of deciduous teeth. *Int J Health Serv.* 2011;41(1):137-58.

Swartz HM, et al., Electron paramagnetic resonance dosimetry for a large-scale radiation incident. *Health Phys.* 2012 Sep;103(3):255-67.



Das Zahndosimeter wird im Feldeinsatz erprobt.

Aussagen zur Gesamtstrahlendosis – etwa durch andere Isotope – lassen sich nicht treffen. Erneut fanden Labors eine Möglichkeit, und wieder spielen Zähne die entscheidende Rolle: Trifft hochenergetische Gamma- oder Röntgenstrahlung auf Festkörper, bilden sich Schäden im Kristallgitter. Bei Zähnen ist Hydroxylapatit von diesem Bombardement betroffen. Frühe Arbeiten gehen auf eine Kohorte mit Überlebenden der Atombombenabwürfe von Hiroshima und Nagasaki zurück. Mit speziellen Messverfahren wie der paramagnetischen Elektronenresonanz ließ sich eine Korrelation zwischen atomaren Fehlstellen und der gesamten Strahlenbelastung ableiten. Zur Kalibrierung wurden Zähne mit genau definierten Dosen exponiert und dann untersucht.

Auch für Fukushima gibt es bald Lösungen: Harold M. Swartz, New Hampshire, hat mittlerweile ein Gerät für die Routinemessung in vivo entwickelt. Im Gegensatz zur Labormessung sind keine Zähne der ersten Dentition erforderlich. Vielmehr legen Patienten ihren Kopf zwischen ein Spulenpaar – hier entsteht das notwendige Magnetfeld. Durch einen Beißblock werden ihre Schneidezähne exakt ausgerichtet. Dann geht alles sehr schnell – Resultate liegen in weniger als fünf Minuten vor. Sollten sich Hinweise ergeben, dass eine Person höheren Strahlenbelastungen ausgesetzt war, folgen weitere Untersuchungen. Internisten werden gegebenenfalls Maßnahmen zur Ausleitung inkorporierter Nuklide durchführen. Ansonsten bleibt nur die engmaschige Überwachung, um Krebserkrankungen bereits früh zu diagnostizieren.