

In-vivo-Messung der Aktivität von im menschlichen Atemtrakt deponierten Radonzerfallsprodukten

Doctoral Thesis

Author(s):

Vezzù, Guido

Publication date:

1999

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-002073441>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

Diss. ETH Nr. 13179

**In-vivo-Messung der Aktivität von im menschlichen
Atemtrakt deponierten Radonzerfallsprodukten**

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER NATURWISSENSCHAFTEN

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

Guido Vezzù

Dipl. Phys. ETH

geboren am 22. Mai 1971

von Wald (ZH)

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. P. Niederer, Referent

Prof. Dr. J. Lang, Korreferent

Dr. Ch. Schuler, Korreferent

1999

Zusammenfassung

Der grösste Beitrag zur natürlichen Strahlenexposition des Menschen wird durch die Inhalation der luftgetragenen Radonzerfallsprodukte verursacht. Ein Ansatz zur Abschätzung des daraus resultierenden Gesundheitsrisikos basiert auf dem von der „International Commission on Radiological Protection“ (ICRP) empfohlenen Atemtraktmodell. Zur Bestimmung der Eingabegrössen des Modells für nicht an Aerosolteilchen angelagerte Radonzerfallsprodukte standen nur sehr spärliche Messdaten aus in-vivo-Messungen der im menschlichen Atemtrakt deponierten Aktivität unangelerter Radonzerfallsprodukte zur Verfügung. Zur besseren Bestimmung dieser Modellparameter wurden am Paul Scherrer Institut Inhalationsexperimente mit unangelerter Radonzerfallsprodukten mit ca. 1 nm Durchmesser an freiwilligen Probanden durchgeführt.

Der in-vivo-Zähler für die Messung der im menschlichen Atemtrakt deponierten Radonzerfallsprodukteaktivität besteht aus einem Reinstgermanium-Detektor und zwei Phoswich-Detektoren. Das Messsignal nach der Exposition eines Probanden in der Radonkammer mit erhöhten Konzentrationen an unangelerter Radonzerfallsprodukten setzt sich aus Impulsen von im Atemtrakt deponierten Radonzerfallsprodukten und Impulsen aus anderen Quellen zusammen. Zur Aufschlüsselung dieses Messsignals wurde mit dem Probanden eine Hauptexposition und eine Untergrundexposition durchgeführt. Bei der Untergrundexposition wurde die Inhalation unangelerter Radonzerfallsprodukte verhindert. Durch Signalsubtraktion der Messsignale aus den in-vivo-Messungen nach den beiden Expositionen konnte das Signal der Aktivität von im Atemtrakt deponierten unangelerter Radonzerfallsprodukten extrahiert werden.

Zur Kalibrierung des in-vivo-Zählers wurde ein halbempirisches Verfahren verwendet. Die Ausbeute der Detektoren wurde für eine Punktquelle im interessierenden Fenster des Energiespektrums experimentell bestimmt. Die zur Punktquelle relative Ausbeute für im Atemtrakt des Probanden deponierte Aktivität wurde unter Verwendung eines auf die Anatomie des Probanden skalierbaren Voxelphantoms modelliert.

Durch Analyse der Zeitabhängigkeit des Messsignals der im Mund-/Rachenraum deponierten Aktivität des Radonzerfallsprodukts ^{214}Pb wurde festgestellt, dass diese Aktivität nicht messbar durch Mukustransport vom Mund-/Rachenraum in den Magen transportiert wird. Das für 1 nm grosse Partikel vermutlich leicht penetrierbare Epithel in den Atemwegen scheint diese Partikel zu immobilisieren, so dass sie dem Einfluss des schnellen Mukustransports vom Mund-/Rachenraum in den Magen entzogen werden.

Für 14 Probanden wurde bei einer mittleren unangelagerten ^{218}Po -Aktivität von 3500 Bq/m^3 , einem mittleren geatmeten Luftvolumen von 0.49 m^3 während einer mittleren Aufenthaltsdauer in der Radonkammer von 34 min eine mittlere im Atemtrakt deponierte ^{214}Pb -Aktivität von 113 Bq und eine ^{214}Bi -Aktivität von 38 Bq gemessen. Von diesen Probanden atmeten sieben durch den Mund und sieben durch die Nase. Bei den Mundatmern wurden im Mittel 57%, bei den Nasenatmern im Mittel 97% der deponierten Aktivität im Kopf gemessen. Dieser deutliche Unterschied des Depositionsmusters liegt in der hohen diffusiven Abscheidung der unangelagerten Radonzerfallsprodukte im Nasenraum begründet.

Für die Expositionen wurde mit einem angepassten ICRP-Modell eine mittlere im Atemtrakt deponierte ^{214}Pb -Aktivität von 144 Bq und eine mittlere deponierte ^{214}Bi -Aktivität von 92 Bq vorhergesagt. Im Rahmen der Mess- und Vorhersageungenauigkeiten sind diese Werte von den Messresultaten nicht signifikant verschieden, was hauptsächlich durch grosse Unsicherheiten bei den Modellparametern bedingt ist. Das Modell sagte dabei eine Deposition von 60% im Kopf von Mundatmern und 82% im Kopf von Nasenatmern voraus. Bei den Nasenatmern weicht die Vorhersage von dem gemessenen Depositionsmuster ab. Dies deutet auf eine Unterbewertung der Depositionswahrscheinlichkeit für den Nasenraum durch das Modell hin.

Summary

The largest contribution to the exposure of the general public to natural radiation is caused by inhalation of radioactive radon decay products. The resulting health risk can be estimated with the human respiratory tract model recommended by the International Commission on Radiological Protection (ICRP). For the determination of the model input parameters for radon progeny not attached to aerosol particles, only sparse data from in-vivo measurements of unattached radon progeny deposited in the human respiratory tract was available. These parameters were measured at the Paul Scherrer Institut in inhalation studies on volunteers exposed to an atmosphere with a large fraction of unattached radon progeny.

The in-vivo counter used for the measurement of the activity of the deposited radon progeny in the human respiratory tract consists of a high purity germanium detector and two phoswich detectors. After an exposure of the volunteer in the radon chamber with elevated concentrations of unattached radon progeny, the signal of the in-vivo counter consists of counts from radon progeny deposited in the respiratory tract and activity contributions from other sources. For the determination of the counts from deposited radon progeny in the respiratory tract, a main exposure and an underground exposure of the same volunteer was performed. During the underground exposure the inhalation of unattached radon progeny was prevented. The subtraction of the signals from the in-vivo measurements after the two different exposures allowed to extract the counts from the activity of unattached radon progeny deposited in the respiratory tract.

For the calibration of the in-vivo counter a semiempirical method was used. The detector response was determined experimentally for a window in the energy spectrum using a point source. The detector efficiency for the activity deposited in the human respiratory tract relative to the efficiency for the point source was calculated using a model based on a voxel phantom scaled to the dimensions of the volunteers anatomy.

Analysis of the time dependency of the measured counts from the activity of the radon decay product ^{214}Pb deposited in the extrathoracic region after the exposure led to the conclusion that no significant transport of this activity from the extrathoracic region into the stomach occurred. The epithelium within the respiratory airways may easily be penetrated by the unattached radon progeny particles with diameters around 1 nm, thus preventing them of being removed by mucus transport.

For an average unattached ^{218}Po concentration of 3500 Bq/m^3 and an average inhaled air volume by the volunteer of 0.49 m^3 during a mean exposure time of 34 min, an average activity deposited in the respiratory tract of 14 volunteers of 113 Bq for ^{214}Pb and 38 Bq for ^{214}Bi was measured. Seven volunteers breathed through the mouth and seven volunteers through the nose. For mouth breathing volunteers, 57% of the activity was detected in the head, for nose breathing volunteers 97%. The difference in the deposition pattern derives from the high diffusive deposition of the unattached radon progeny in the nasal cavity.

From the exposure conditions, the ICRP respiratory tract model predicted an average deposited radon progeny activity in the respiratory tract of 144 Bq for ^{214}Pb and 92 Bq for ^{214}Bi . Within the limits of uncertainty of measurements and uncertainty of model predictions no significant discrepancy was observed, which can be attributed to a high uncertainty of the model input parameters. The model predicted 60% of the activity to be deposited in the head for mouth breathing volunteers and 82% for nose breathing volunteers. For nose breathing volunteers the predicted deposition pattern differs from the measured deposition pattern. The reason may be a possible model underestimation of the deposition probability within the nasal cavity.