

Zeitschrift:	Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz = Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnements en Suisse = Radioattività dell'ambiente e dosi d'irradiazione in Svizzera
Herausgeber:	Bundesamt für Gesundheit, Abteilung Strahlenschutz
Band:	- (2019)
Rubrik:	Radioaktivité dans le corps humain = Radioaktivität im Menschen

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 15.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Chapitre / Kapitel 6

Radioactivité dans le corps humain Radioaktivität im Menschen

2019

- Mesures du corps entier
- Vertèbres et dents de lait
- Ergebnisse der Ganzkörpermessungen
- Wirbelknochen und Milchzähne

6.1

Ergebnisse der Ganzkörpermessungen

E. G. Yukihara

Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit, Paul Scherrer Institut, Villigen-PSI

S. Estier

Sektion Umweltradioaktivität, URA / BAG, Bern

Zusammenfassung

Das PSI ermittelte in diesem Jahr 10 ^{137}Cs -Messwerte über der Nachweisgrenze von ca. 60 Bq, die aber zu keinen radiologisch relevanten Folgedosen führten. Die ^{137}Cs -Aktivitäten für die anderen 467 am PSI durchgeführten Messungen lagen unterhalb der Nachweisgrenze.

Ziel der Messungen

Am PSI werden Ganzkörpermessungen zur Überwachung der beruflich strahlenexponierten Personen dieses Institutes eingesetzt. Bei Ereignissen mit Verdacht auf Inkorporation radioaktiver Stoffe können auch Personen der Bevölkerung gemessen werden. Seit 40 Jahren wurden in Genf Gymnasiastinnen und Gymnasiasten gemessen, mit dem Ziel die Radioaktivität bis zum letzten Glied der Nahrungskette überwachen zu können und Angaben zur Verteilung natürlicher und künstlicher Radionuklide in der Bevölkerung zu erhalten. Leider musste dieses jährliche Messprogramm 2013 beendet werden, da es immer schwieriger wurde die Schüler für diesen freiwilligen Beitrag zu gewinnen. Ab 2014 wurde deshalb Messungen an Studentinnen und Studenten der höheren Fachschule für Gesundheit in Genf aufgenommen, welche aber nicht mehr jährlich, sondern alle 2 bis 3 Jahre durchgeführt werden.

Messmethode

Für die Ganzkörpermessungen wird am PSI ein Reinstgermanium-Detektor in einer speziell abgeschirmten Messkammer (mit Blei- und Eisenabschirmung) eingesetzt. Die Messung einer Person dauert in der Regel etwa 7 Minuten für die routinemässigen Überwachungsmessungen am PSI. Die Kalibrierung erfolgt mittels eines personenähnlichen Phantoms bekannter Aktivität. 2019 musste der Reinstgermanium-Detektor repariert werden und, weshalb ein Teil der Überwachung mit einem NaI:TI Triagemessplatz durchgeführt wurde.

Ergebnisse und Interpretation der ^{137}Cs -Messungen

Im Rahmen der Inkorporationsüberwachung am PSI in Villigen werden bei ausgewählten beruflich strahlenexponierten Personen in der Regel jährlich zweimal eine Ganzkörpermessung durchgeführt.

2019 wurden 296 Personen zu total 477 Ganzkörpermessungen aufgeboten. Bei 10 Personen wurden ^{137}Cs -Messwerte über der Nachweisgrenze von ca. 60 Bq festgestellt, die aber zu keinen radiologisch relevanten Folgedosen führten. Vergleichbare Messwerte lassen sich bei den betroffenen Personen über die letzten Jahre nachverfolgen. Die maximale ^{137}Cs -Ganzkörperaktivität betrug ca. 199 Bq, die gemäss der Standardinterpretation in der Verordnung über die Personendosimetrie eine vernachlässigbare, effektive Folgedosis von <6 Mikrosievert ergibt. Dieser Wert ist dreissig mal kleiner als die typische, natürliche Folgedosis durch ^{40}K im Körper (siehe unten).

^{40}K alium-Gehalt des Körpers

Da ^{40}K ein Gamma-Strahler ist, kann es bei der Ganzkörpermessung ohne zusätzlichen Aufwand mitgemessen werden.

Das in der Natur vorkommende Kalium besteht zu 11.67% aus dem radioaktiven Isotop ^{40}K . Kalium befindet sich vor allem im Muskelgewebe und damit ist der Kalium-Gehalt proportional zur Muskelmasse. Da bei Männern der Anteil Muskelgewebe am Gesamtkörpergewicht grösser ist als bei Frauen, haben die Männer einen höheren Kalium-Gehalt als Frauen. Der durchschnittliche ^{40}K -Gehalt beträgt (gemäss älteren Publikationen) bei 20-30-jährigen Männern ca. 4'500 Bq und bei gleichaltrigen Frauen ca. 3'000 Bq und nimmt danach bis zum Alter von 70 Jahren um etwa 10 bis 20 Prozent ab.

Aus den langjährigen Ganzkörpermessungen an Gymnasiasten (16 - 21-jährige) und Studenten 21 - 28-jährige aus Genf (von 1974 bis 2015: 720 Messwerte an jungen Frauen und 722 Messwerte an jungen Männern) kann die Häufigkeitsverteilung des Kalium-Gehaltes bestimmt werden. Im Durchschnitt ergibt sich bei den untersuchten Gymnasiasten/Studenten bei den jungen Frauen ein Mittel von 1.83 g Kalium (20 - 80%-Perzentile: 1.64 - 2.04 gK) pro kg Körpergewicht (entsprechend 3'300 Bq) und bei den jungen Männer 2.29 g K (20 - 80%-Perzentile: 2.10 - 2.50 gK) pro kg Körpergewicht (entsprechend 4'900 Bq). Man stellt eine Erhöhung der durchschnittlichen ^{40}K -Aktivität im Körper von ca. 10% über den letzten zehn Jahren fest. Diese ist direkt auf die Zunahme des durchschnittlichen Körpergewichts der Gymnasiasten zurückzuführen.

Die tägliche Kaliumzufuhr beträgt etwa 3.3 g d.h. rund 100 Bq ^{40}K . Die durchschnittliche Jahresdosis durch das natürliche ^{40}K beträgt bei den untersuchten Gymnasiasten und Studenten etwa 0.19 mSv (0.17 bei den Frauen und 0.21 bei den Männern). Gemittelt über alle Altersgruppen liegt der Wert infolge Abnahme des K-Gehaltes mit dem Alter etwas tiefer, gemäss UNSCEAR: 0.17 mSv/Jahr. Da bei diesen Messreihen auch Grösse und Gewicht der untersuchten Personen erfasst wurden, konnte aus den Daten abgeleitet werden, dass der Kalium-Gehalt mit zunehmendem Body-Mass-Index (BMI = Gewicht/Grösse² [kg/m²]) leicht abnimmt. Das hängt damit zusammen, dass der BMI proportional zum Anteil Fettgewebe ist und damit umgekehrt proportional zur Muskelmasse und somit zum Kalium-Gehalt.

6.2

Mesure de ^{90}Sr , ^{210}Po et ^{226}Ra dans les vertèbres et de ^{90}Sr dans les dents de lait

P. Froidevaux, P.-A. Pittet, C. Pilloud, F. Barraud, L. Pfefferlé, F. Bochud

Institut de radiophysique, CHUV, Grand Pré 1, Lausanne

Résumé

La mesure de la radioactivité dans les vertèbres humaines et les dents de lait permet l'évaluation de l'atteinte à l'homme ainsi qu'une évaluation de la contamination de la chaîne alimentaire. Les activités en ^{90}Sr dans les vertèbres et les dents de lait mesurées dans ce travail sont très basses, en constante diminution par rapport aux années précédentes et ne dépassent pas 18 mBq/g Ca dans ces deux types d'échantillons. Les activités en ^{210}Po sont situées entre 12 et 75 mBq/g Ca, soit des valeurs incluses dans l'intervalle des valeurs de notre base de données des mesures effectuées à l'IRA depuis 2006 sur des prélèvements de vertèbres dans les instituts de pathologie de Lausanne et Locarno (moyenne à 29 mBq/g Ca). Les activités en ^{226}Ra sont situées entre 1.5 et 2.4 mBq/g Ca et ne diffèrent pas significativement des valeurs obtenues les années précédentes (moyenne à 1.81 mBq/g Ca). Il est important d'extraire un maximum de données de ces échantillons humains, par ailleurs difficiles à collecter, afin de construire des bases de données utiles en modélisation dosimétrique.

Introduction

L'IRA (sur mandat de l'OFSP) mesure depuis les années soixante le ^{90}Sr dans les vertèbres humaines prélevées lors d'autopsies. Le ^{90}Sr étant un indicateur de la fission nucléaire, il est important de le mesurer dans différents compartiments de l'environnement, de la chaîne alimentaire et de l'homme. Ces mesures permettent l'évaluation de la contamination de la chaîne alimentaire par ce radioélément car, de par sa nature chimique similaire au calcium, il se transfère rapidement du sol à l'herbe, de l'herbe au lait et ainsi jusqu'à l'homme, dans lequel il cible la masse osseuse. Depuis plusieurs années déjà, nous mesurons également le ^{210}Po , un produit issu de la chaîne de désintégration de ^{238}U . La mesure de ^{210}Po dans les vertèbres permet l'évaluation de l'incorporation de ^{210}Pb , dont le métabolisme suit celui du calcium [1]. ^{210}Pb va être incorporé dans l'organisme humain par inhalation des produits de filiation du gaz ^{222}Rn présents dans l'air (aérosols). Une contribution supplémentaire provient également de l'inhalation de fumées du tabac. Une proportion importante de ^{210}Pb est également incorporée par ingestion de nourriture, spécialement les fruits de mer. La mesure de ^{226}Ra dans les os humains est réalisée dans le but de déterminer une valeur de référence pour la population suisse. Ce travail est effectué notamment en regard des contaminations potentielles liées aux héritages radiologiques de l'industrie horlogère. Comme le ^{90}Sr , le ^{226}Ra , qui est un cation alcalino-terreux similaire au calcium, va également cibler spécifiquement la masse osseuse. Le but de ces mesures est d'obtenir une base de données de valeurs de ^{226}Ra dans les os humains pour la population suisse non exposée professionnellement à ce radioélément.

Dans ce rapport, nous allons discuter en détail les résultats obtenus depuis presque 15 ans dans la mesure de ^{210}Po dans des vertèbres prélevées à l'autopsie. Cette base de données nous permet d'avoir une vision large de l'impact dosimétrique de ce radioélément et de le discuter en relation avec un autre projet de l'OFSP dont nous sommes partenaire et qui concerne la radioactivité, et en particulier le ^{210}Pb et le ^{210}Po , dans le tabac. Dans ce rapport, nous reportons également la mesure en ^{90}Sr des dents de lait d'une personne née en 2004 et ayant vécu son enfance dans le canton de Vaud. Toutes les dents de lait ont été conservées indépendamment par ses parents, ce qui permet la mesure d'un cas individuel, au moins dix dents étant nécessaires à l'analyse.

Méthodes

Les méthodes d'analyses du ^{90}Sr et du ^{210}Po peuvent être trouvées dans les références [2] et [3].

La méthode d'analyse de ^{226}Ra et ^{223}Ra est décrite en détail dans la référence [4].

Résultats et discussion

Les analyses de ^{90}Sr dans les vertèbres humaines n'ont pas montré de valeurs anormales (Tableau 1), et l'activité de ^{90}Sr continue de décroître avec une période biologique d'environ 13 ans, depuis la fin des essais d'armes atomiques dans l'atmosphère des années soixante [5, 6].

En 2019, l'activité moyenne en ^{90}Sr des vertèbres humaines en Suisse était de 7.7 mBq/g Ca. Ces faibles valeurs se traduisent par une incertitude souvent supérieure à 25% dans la mesure de ^{90}Sr . Ce résultat indique qu'il n'y a pas eu d'apport supplémentaire significatif de ce radionucléide dans l'environnement en Suisse depuis ces événements, même si l'accident nucléaire de Tchernobyl en 1986 a temporairement légèrement augmenté ces valeurs en Suisse [6, 7].

Depuis 2006 nous analysons régulièrement l'activité en ^{210}Po des vertèbres humaines. Notre base de données contient actuellement 80 cas, pour une moyenne à 29.6 mBq/g Ca et un écart-type à 22 mBq/g Ca. La valeur minimale est à 5.95 mBq/g Ca et la valeur maximale à 101.6 mBq/g Ca.

En 2019, les valeurs mesurées s'échelonnaient entre 12.1 et 74.8 mBq/g Ca, ce qui montre une dispersion assez large des valeurs. Ces différences indiquent que l'incorporation de $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$ est variable selon les personnes et dépend de plusieurs facteurs, dont les habitudes en matière de tabagisme et d'alimentation, ainsi que l'exposition au ^{222}Rn .

Tableau 1:

^{90}Sr (mBq/g Ca) et ^{210}Po (mBq/g Ca) dans les vertèbres de personnes décédées en Suisse en 2019. Incertitudes pour $u(95\%)$.

Année décès	Lieu décès	^{90}Sr (mBq/g Ca)	^{210}Po (mBq/g Ca)
2019	Vaud	5.3 ± 1.5	
		5.2 ± 0.7	39.8 ± 3.1
		7.4 ± 1.1	
		9.2 ± 1.5	74.8 ± 6.5
		7.5 ± 1.4	
		9.2 ± 1.8	
	Tessin	7.6 ± 1.7	12.4 ± 1.1
		5.5 ± 1.2	
		8.6 ± 1.5	
		12.0 ± 2.0	
		8.9 ± 2.0	
		5.4 ± 1.8	12.1 ± 1.1
			32.3 ± 3.0
Moyenne ± écart-type		7.7 ± 2.0	

Tableau 2:

^{90}Sr (mBq/g Ca) dans les dents de lait d'enfants nés en Suisse entre 2004 et 2007 et mesurées en 2019. Les dents de lait sont groupées pour former un échantillon d'au moins 5g de cendre après calcination (environ 10 dents). Incertitudes pour $u(95\%)$.

Année	Naissance	Année(s) d'extraction	^{90}Sr (mBq/g Ca)
Année	Lieu		
2004	Vaud (Echallens) ^{a)}	durant l'enfance ^{a)}	18.0 ± 5.0 ^{b)}
2004-2005	Zürich	2016 - 2019	17.0 ± 3.0
2006	Zürich	2016 - 2019	10.0 ± 3.0
2007	Zürich	2016- 2019	10.0 ± 3.0

^{a)} Dents provenant d'un seul enfant né en 2004, extraites durant toute l'enfance et conservées pour être analysées.

^{b)} La valeur de référence de notre base de données pour l'année 2004 est de 13 mBq/g Ca.

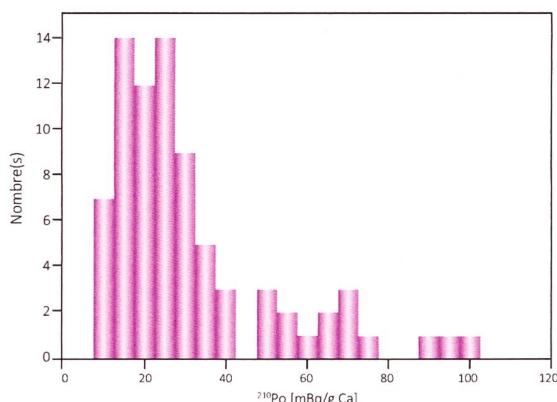
Tableau 3:

^{226}Ra (mBq/g Ca) dans les vertèbres de personnes décédées en Suisse en 2018 et mesurées la même année. Incertitudes pour $u(95\%)$.

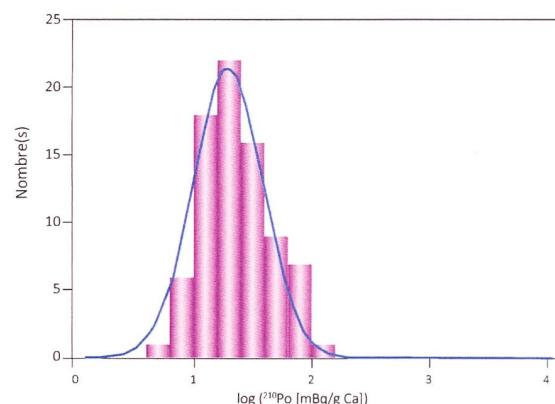
Année décès	Lieu décès	Type	^{226}Ra (mBq/g Ca)
2019	Tessin	vertèbres	1.5 ± 0.9
	Vaud	vertèbres	1.8 ± 0.6
	Vaud	vertèbres	2.4 ± 0.9
	Vaud	vertèbres	1.8 ± 0.6

Une analyse plus détaillée de notre base de données de valeurs de ^{210}Po dans les vertèbres humaines montre une distribution de type log-normale des valeurs (Figures 1a et 1b).

Sur la base de cette analyse, la distribution est centrée sur une valeur de 19.6 mBq/g Ca. Dans le métabolisme humain, c'est le plomb qui cible préférentiellement la masse osseuse [1]. On peut donc faire l'hypothèse que ^{210}Pb et ^{210}Po sont à l'équilibre radioactif dans ce compartiment du modèle biocinétique du polonium. Cette donnée nous sera d'importance pour la modélisation de l'incorporation de ^{210}Pb et ^{210}Po par inhalation des produits de combustion du tabac contenant ces deux radioéléments.



Figur 1a:
Histogramme des valeurs ($n=80$) de ^{210}Po montrant une distribution de type log-normale des valeurs.



Figur 1b:
Distribution log des activités ajustée par une distribution normale centrée sur la valeur 1.293 et d'écart-type 0.42

Le programme de mesure de ^{90}Sr dans les dents de lait touche probablement à sa fin, car il nous est de plus en plus difficile d'obtenir des tailles d'échantillons suffisantes pour des analyses au niveau d'activité actuelle (< 20 mBq/g Ca). Il faut en effet au minimum 10 dents de lait (5 g de cendres) d'enfants nés la même année au même endroit (Vaud, Zürich ou Tessin) pour être en mesure de quantifier l'activité en ^{90}Sr .

Pour l'année de naissance 2004 - 2005, pour laquelle il n'est plus envisageable d'obtenir encore des dents de lait (enfant > 16 ans), nous avons groupé les dents en provenance de Zürich pour obtenir un échantillon de taille suffisante. Comme pour les vertèbres, on observe une diminution régulière de l'activité depuis la fin des essais nucléaires en atmosphère, également avec une période biologique d'environ 10 ans [7].

L'OFSP a initié un programme d'assainissement des bâtiments contenant du ^{226}Ra , issu de l'utilisation de peinture au ^{226}Ra par l'industrie horlogère. Il est apparu important alors de pouvoir déterminer une moyenne d'activité en ^{226}Ra dans les os humains de la population suisse non exposée à ce radioélément. Nous avons saisi l'opportunité du programme de mesure de radioactivité dans les vertèbres humaines pour y inclure la mesure de ^{226}Ra . Notre base de données contient actuellement 33 cas, pour une moyenne à 1.82 mBq/g Ca.

La valeur minimale est à 0.73 mBq/g Ca et la valeur maximale à 4.58 mBq/g Ca. Nous n'avons pas observé de différence entre l'activité en ^{226}Ra contenue dans les vertèbres (os trabéculaire) et les fémurs ou les os de la mâchoire (os cortical), ce qui montre que le ^{226}Ra est introduit dans l'organisme comme élément alcalino-terreux similaire au calcium, probablement principalement par la nourriture (boisson comprise). En 2019, les activités mesurées (Tableau 3) étaient parfaitement incluses dans l'intervalle des mesures réalisées jusque-là et n'ont pas montré d'exposition au ^{226}Ra autre que par une source naturelle.

Conclusions

Les mesures de radioactivité dans les vertèbres humaines en 2019 n'ont pas montré d'exposition à des valeurs d'activité qui pourraient s'avérer problématiques en terme de dose reçue par le public en Suisse. Les activités en ^{226}Ra et ^{210}Po reflètent une exposition naturelle à ces radioéléments, principalement par ingestion. L'introduction de la mesure de différents radioéléments d'importance dosimétrique dans les analyses de routine du plan national de surveillance de la radioactivité permet l'acquisition de données pouvant se révéler très utiles par la suite. Souvent, c'est le prélèvement d'échantillons qui s'avère complexe lorsqu'il s'agit de l'humain. La disponibilité d'échantillons étant restreinte, il est important de pouvoir extraire un maximum d'informations à partir de ces échantillons.

La constitution de bases de données statistiquement représentatives de l'exposition naturelle de la population suisse à ces radioéléments doit permettre la prise de position rapide lors de situations exceptionnelles.

Remerciements

Nous remercions les médecins-dentistes ayant participé à la collecte des dents de lait et les instituts de pathologie de Locarno et de Lausanne pour la collecte des vertèbres.

Références

- [1] Legett, RW. An age-specific kinetic model for lead metabolism in human. *Env. Health Perspect.* 1993, 101, 598-616.
- [2] Schrag et al. Dating human skeletal remains using a radiometric method: Biogenic versus diagenetic ^{90}Sr and ^{210}Pb in vertebrae. *Forensic Sci. Int.* 2012, 220, 271–278.
- [3] Froidevaux et al. Retention half times in the skeleton of plutonium and ^{90}Sr from above-ground nuclear tests: A retrospective study of the Swiss population. *Chemosphere*, 2010, 80, 519-524.
- [4] Straub et al. Determination of ^{226}Ra at low levels in environmental, urine, and human bone samples and ^{223}Ra in bone biopsy using alpha-spectrometry and metrological traceability to $^{229}\text{Th}/^{225}\text{Ra}$ or ^{226}Ra . *Anal. Chim. Acta*, 2018, 1031, 178-184
- [5] Froidevaux and Haldimann. Plutonium from Above-Ground Nuclear Tests in Milk Teeth: Investigation of Placental Transfer in Children Born between 1951 and 1995 in Switzerland. *Env. Health Perspect.* 2008, 116, 1731-1734.
- [6] Froidevaux et al. Long-Term Effects of Exposure to Low-Levels of Radioactivity: a Retrospective Study of ^{239}Pu and ^{90}Sr from Nuclear Bomb Tests on the Swiss Population. In "Nuclear Power- Operation, Safety and Environment", book edited by Pavel Tsvetkov, ISBN 978-953-307-507-5, Published: September 6, 2011 under CC BY-NC-SA 3.0. Chapter 14, Open Acces.
- [7] Froidevaux et al. ^{90}Sr in deciduous teeth from 1950 to 2002: The Swiss experience. *Sci. Total. Environ.* 2006, 367, 596-605.

