

# Dynamik der Radonfolgeprodukt-Aktivität im Speichel nach therapeutischer Radon-Exposition

A. Falkenbach<sup>a,b</sup> G. Just<sup>c</sup> J. Kleinschmidt<sup>d</sup><sup>a</sup> Forschungsinstitut Gastein, Bad Gastein, <sup>b</sup> Krankenhaus Gasteiner Heilstollen, Bad Gastein-Böckstein, <sup>c</sup> Forschungsbüro Radon und Balneologie, Leipzig, <sup>d</sup> Institut für Medizinische Balneologie und Klimatologie, Ludwigs-Maximilians-Universität, München

## Schlüsselwörter

Radon · Folgeprodukte · Radioaktivität · Speichel

## Key Words

Radon · Progeny · Radioactivity · Saliva

## Zusammenfassung

Bei 10 männlichen Patienten wurde 20–30 min nach speläo-therapeutischer Radon-Exposition die Radonfolgeprodukt-Aktivität im Speichel gemessen, um die Aktivität im Bereich der Mundhöhle zu erfassen. Bei einem Patienten mit relativ hohem Wert (75. Perzentile) wurde die Messreihe in 5-minütigen Abständen bis zum weitgehenden Abklingen der Aktivität im Speichel, d. h. bis 65 min nach der Radon-Exposition, weitergeführt. Nach Sammeln von etwa 2 ml Speichel im Mund wurde die Probe auf einen Filter gegeben. Nach Trocknung des Filters bei 300 °C auf einer Heizplatte erfolgte die Aktivitätsmessung der Folgeprodukte. Die Aktivität zeigte 20–30 min nach Verlassen des Radontherapie-Bereichs eine hohe Streubreite. Der Median betrug 4,5 Bq (25. Perzentile: 1 Bq; 75. Perzentile 21 Bq). Der Patient mit dem Ausgangswert von 21 Bq (75. Perzentile) zeigte nach weiteren 5 min das Maximum von 29 Bq bevor nach kontinuierlichem Abklingen 65 min nach der Radon-Exposition noch lediglich 1–3 Bq gemessen wurden und die Untersuchung beendet wurde. Die Messungen belegen, dass nach einer speläo-therapeutischen Radon-Exposition eine signifikant erhöhte Radonfolgeprodukt-Aktivität im Speichel nachweisbar ist, die nach etwa 1 h weitgehend abgeklungen ist.

## Summary

*Dynamics of Radon Decay Product Activity in Saliva following Speleotherapeutic Radon Exposure*

Radon decay product activity was measured in saliva of 10 male patients 20–30 min after a 1-hour radon exposure in the gallery of the Gasteiner Heilstollen (radon activity 36.2 kBq/m<sup>3</sup>, radon progeny activity 20.3 kBq/m<sup>3</sup>). In 1 patient showing relatively high activity (75th percentile) measurements were continued until 65 min after exposure. Patients were asked to collect about 2 ml of saliva in the mouth and produce it on a filter. After drying the filter at 300 °C, radon progeny activity was measured. Activity (median) at 20–30 min after leaving the treatment area was 4.5 Bq (25th percentile 1 Bq; 75th percentile 21 Bq). In the patient who underwent additional measurements the activity showed a further increase up to 29 Bq (35 min after radon exposure) before it continuously decreased to a very low activity (1–3 Bq) at 65 min after exposure. The results show that a significantly increased radon decay product activity is found in saliva after speleotherapeutic radon exposure. Maximum values were observed 35 min after radon exposure. Radon decay product activity almost disappeared after about 1 h.

## Einleitung

Nachdem in den vergangenen Jahren in mehreren kontrollierten Untersuchungen die Effektivität der Radon-Therapie zur Behandlung von Erkrankungen aus dem rheumatischen Formenkreis

nachgewiesen werden konnte [1–3], wächst unter den Patienten zunehmend das Interesse an der therapeutischen Radon-Anwendung. Demgegenüber stehen die Bedenken von Kritikern, die vor möglichen Langzeitrissen warnen [4].

Grundlage der Diskussion müssen präzisere Daten über die mit

der üblichen Radon-Therapie applizierten Organdosen sein. Die im Rahmen der Radon-Balneotherapie aufgenommenen und abgegebenen Aktivitäten sowie deren Dynamik wurden wiederholt untersucht [5–7]. Dabei konzentrierten sich die Studien auf die transkutane Aufnahme sowie die pulmonale Aufnahme und Abgabe von Radon und Radonfolgeprodukten [8–10]. Da in der Nutzen/Risiko-Diskussion die Lungendosis besonders interessiert, ist das Voranstellen dieser Messungen sicherlich gerechtfertigt und notwendig. Daneben sind jedoch weiterführende Untersuchungen der Radon- und Folgeprodukt-Aktivitäten dringend indiziert, um fundiertere Aussagen über Dosisverteilung und Dynamik der Aktivitäten sowie potenzielle Wirkmechanismen zu ermöglichen. Hierzu gibt es derzeit nur wenige Berichte [11, 12]. Die relevanten Wirkmechanismen der Radon-Therapie sind noch immer weitgehend spekulativ [13–18].

Als die intensivste Radon-Behandlung mit den höchsten inkorporierten Aktivitäten gilt die Therapie im Radon-Thermalstollen von Bad Gastein-Böckstein [19]. Dort fördert die gleichzeitige Hyperthermie des unbedeckten Patienten die Radon-Aufnahme während des Aufenthalts im Therapiebereich [20]. Die relativ hohe Organdosis der Bronchien wurde in einer früheren Berechnung mit 3,73 mGy für 12×2 h Aufenthalt im Stollen kalkuliert [21]. Da sich die Patienten unter den derzeitigen Therapiebedingungen maximal zwölfmal für 1 h im Therapiebereich aufhalten, muss die errechnete Dosis für eine unter den heute üblichen Bedingungen durchgeführte Stollenbehandlung halbiert werden. Sie liegt somit weit unter der für die Bevölkerung von Bad Gastein berechneten natürlichen Jahresdosis im Bereich der Bronchien von 3,9 mGy [21].

In der vorliegenden Arbeit wurde die Aktivität von Radonfolgeprodukten im Speichel analysiert. Zudem wurde bei einem Patienten mit relativ hohem Wert die Dynamik im Anschluss an eine Radon-Thermaltherapie unter üblichen Bedingungen untersucht. Die Aktivitäten im Speichel nach der Stollenbehandlung waren bisher nicht Gegenstand wissenschaftlicher Studien. Die Evaluation dieses leicht zu gewinnenden Materials ist jedoch geeignet, um das Verhalten der Aktivitäten im zeitlichen Verlauf nach der Radon-Exposition darzustellen. Zudem können diese Messungen möglicherweise zu einer besseren Einordnung potenzieller Auswirkungen der Radon-Exposition auf die Mundhöhle, den Pharynx und den Magen beitragen. Diese Wirkungen sind von klinischer Bedeutung, da hier signifikante Zusammenhänge belegt sind. Während retrospektive Analysen über die Krebshäufigkeit bei Minenarbeitern, die bedeutend höheren kumulativen Dosen ausgesetzt waren als die im Radonstollen behandelten Patienten, ein erhöhtes Risiko eines Magenkarzinoms aufzeigten, belegten diese Studien andererseits ein im Vergleich zur Allgemeinbevölkerung signifikant vermindertes Risiko der Karzinom-Entstehung im Mund- und Rachenraum [5]. Die nach hochdosierter onkologischer Strahlenexposition beschriebene Xerostomie [23, 24] weist auf die Strahlensensibilität der Speicheldrüsen hin, dürfte jedoch für die Radon-Thermalbehandlung – auf Grund der geringen kumulativen Dosis – keine Rolle spielen.

Um repräsentative Daten zu gewinnen, wurden die Messungen bewusst unter den üblichen Therapiebedingungen durchgeführt, die

bereits früher in dieser Zeitschrift beschrieben wurden [23]. Da in der vorliegenden Arbeit insbesondere auf mögliche Nebenwirkungen hoher Aktivitäten eingegangen werden sollte, wurde neben den Messungen 20–30 min nach Verlassen des Therapiebereichs zudem die Dynamik der Radon-Aktivität eines Patienten mit einer hohen Aktivität dargestellt. Es ist zu erwarten, dass die Veränderungen der Aktivitäten im zeitlichen Verlauf nach der Radon-Exposition bei Patienten mit niedrigeren Ausgangswerten qualitativ ähnlich verlaufen.

## Patienten und Methoden

In die Untersuchung einbezogen wurden 10 männliche Patienten im Alter von im Mittel 52 Jahren ( $\pm$  Standardabweichung 16 Jahre), die nach Aufklärung ihr mündliches Einverständnis zur Studienteilnahme gaben. Alle Studienteilnehmer waren Patienten der Krankenanstalt Gasteiner Heilstollen, die wegen rheumatischer Erkrankungen mit Radon behandelt wurden. Ein 34-jähriger Patient, der im Rahmen dieser Messungen einen relativ hohen Aktivitätswert zeigte, wurde in 5-minütigen Abständen weiter untersucht bis die Aktivität weitgehend abgeklungen war.

Die speläotherapeutische Radon-Exposition erfolgte im Therapiebereich des Gasteiner Heilstollens. Im Inneren dieser früheren Mine besteht ein natürliches Klima mit etwa 38 °C Temperatur und einer relativen Feuchtigkeit von mehr als 70%.

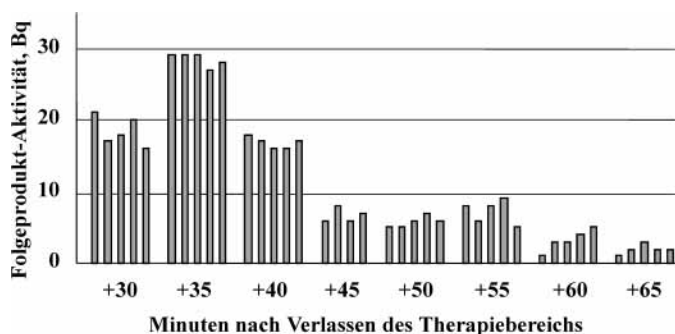
Der Radon-Gehalt im Therapiebereich des Stollens unterliegt größeren Schwankungen in Abhängigkeit von den äusseren Wetterverhältnissen [19] und wies zum Untersuchungszeitpunkt bei einer Tiefdrucklage einen relativ niedrigen Wert von 36,2 kBq/m<sup>3</sup> für Radon-222 und von 20,3 kBq/m<sup>3</sup> für die Radonfolgeprodukte auf.

Nach dem 1-stündigen Aufenthalt im Therapiebereich erfolgte die Ausfahrt aus dem Stollen mit einem speziellen Zug, so dass die Patienten 20–30 min nach Verlassen des Therapiebereichs im Kurhaus untersucht werden konnten. Der Zeitpunkt des Verlassens des Therapiebereichs wird mit  $t = 0$  und die nachfolgenden Zeitpunkte in Minuten seit Verlassen des Therapiebereichs angegeben.

Die Messungen erfolgten somit bei allen Patienten zum Zeitpunkt +20 bis +30 min. Nachdem der Patient, bei dem die Messungen weitergeführt wurden, zum Zeitpunkt +20 min einen Viertelliter Wasser getrunken hatte (mit Spülung der Mundhöhle), erfolgten die seriellen Messungen ab dem Zeitpunkt +30 min. Nach der Speichelabgabe zum Zeitpunkt +55 min wurde der Patient erneut zur Spülung der Mundhöhle mit Wasser aufgefordert, um den Einfluss auf die Radonfolgeprodukt-Aktivität zu evaluieren.

Die Patienten wurden aufgefordert, etwa 2 ml Speichel auf einen absorbierenden Filter (MN 85/90, Durchmesser 11 cm, Macherey-Nagel+Co, Düren, Deutschland) zu geben, dessen Aktivität dann nach Trocknen bei 300 °C auf einer Heizplatte (IKATHERM HCT, Stauf, Deutschland) gemessen wurde (LLMS 500; Münchener Apparatebau, Taufkirchen, Deutschland) [26]. Dieses Gerät misst die  $\beta$ -Strahlung und erlaubt auf Grund der früheren Kalibrierung die Umrechnung auf die Folgeprodukt-Aktivität. Die unten angeführten Ergebnisse entsprechen den gemessenen Werten nach Abzug der Hintergrundaktivität. Die Nachweisgrenze dieser Messeinrichtung ist sehr niedrig und liegt bei etwa 0,5 Bq. Die während 1 min gemessenen Werte lagen deutlich höher. Die Reproduzierbarkeit der Messwerte ist sehr gut. Bei der 1-minütigen Messung liegt der Fehler bei etwa 10%.

Der erwähnte 34-jährige Patient wurde aufgefordert, in jeweils 5-minütigem Abstand die Probe auf einen Filter zu geben. Dieser Filter wurde dann ebenfalls mit Hilfe der Heizplatte bei 300 °C getrocknet. Danach erfolgte die Messung der Radonfolgeprodukt-Aktivität des Filters (5-mal in 1-minütigem Abstand) wie oben beschrieben, bevor der nachfolgende Filter getrocknet und die Aktivität gemessen wurde.



**Abb. 1.** Dynamik der Radonfolgeprodukt-Aktivität im Speichel eines Patienten mit hohen Ausgangswerten nach Verlassen des Therapiebereichs. Zu den Zeitpunkten +20 min sowie +55 min erfolgte eine Mundspülung mit Wasser.

## Ergebnisse

Die Aktivität zeigte 20–30 min nach Verlassen des Radon-Therapiebereichs eine hohe Streubreite. Der Median betrug 4,5 Bq (25. Perzentile 1 Bq; 75. Perzentile 21 Bq; Minimum 0; Maximum 75). Der Patient mit dem Ausgangswert von 21 Bq (75. Perzentile) und einer vorangegangenen Mundspülung zeigte nach weiteren 5 min das Maximum von 29 Bq bevor nach kontinuierlichem Abklingen und erneuter Mundspülung 65 min nach der Radon-Exposition noch lediglich 1–3 Bq gemessen wurden. Die Messergebnisse der Radonfolgeprodukt-Aktivität dieses Patienten sind in Abbildung 1 zusammengefasst. Die Messungen derselben Probe in 5-minütigem Abstand zeigten nur geringe Variationen der Messergebnisse.

## Diskussion

Nach speläotherapeutischer Radon-Exposition sind erhöhte Radonfolgeprodukt-Aktivitäten im Speichel nachweisbar, wobei eine hohe Streuung besteht. Messungen bei einem Patienten mit relativ hohen Ausgangswerten zeigen, dass die Aktivität der Radonfolgeprodukte noch bis 45 min nach der speläotherapeutischen Radon-Exposition ansteigt. Da zuvor eine Spülung der Mundhöhle erfolgt war, dürften die hier gemessenen Aktivitäten nicht von den im Stollenbereich direkt aufgenommenen Folgeprodukten herrühren, sondern aus den durch Radon-Zerfall im Anschluss an die therapeutische Radon-Exposition neu entstandenen Folgeprodukten resultieren. Die Folgeprodukt-Aktivität stammt also wahrscheinlich in erster Linie aus mit dem Speichel transportiertem Radon oder Radonfolgeprodukten. Dafür spricht auch der weitere Anstieg in

den nachfolgenden 5 min. Etwa 1 h nach Verlassen des Radon-Therapiebereichs sind nur noch geringe Aktivitäten nachweisbar, was die früheren Schätzungen [27] einer biologischen Halbwertszeit des Radons von etwa 10–20 min bestätigt.

Die Aktivität des Radons selbst wurde hier nicht gemessen. Über den Gleichgewichtsfaktor im Speichel in der vorliegenden Testsituation kann nur spekuliert werden. Nach dem, was über das biophysikalische Verhältnis von Radon zu Radonfolgeprodukten aus anderen Situationen bekannt ist, liegt die Aktivität des Radons selbst wahrscheinlich noch höher als die gemessene Aktivität der Folgeprodukte.

Die Messungen der einzelnen Proben zeigten eine nur geringe Variation, das heisst eine gute Reproduzierbarkeit als Beleg der guten Messgenauigkeit. Die Messung ist zudem einfach zu handhaben und kann bei ähnlichen Fragestellungen sehr gut eingesetzt werden. Der leicht zu gewinnende Speichel ermöglicht eine gute Beurteilung der Dynamik der Radon- und Radonfolgeprodukt-Aktivität.

Die vorliegende Studie zeigt, dass eine relevante Folgeprodukt-Aktivität im Speichel nachweisbar und mit dem beschriebenen Gerät messbar ist. Die Ergebnisse sind qualitativ verwertbar. Um zu präziseren quantitativen Aussagen zu kommen, müssen Gewichts- bzw. Volumenbestimmungen des Speichels einbezogen werden. Weitere Messungen unter Einbeziehung von Gewichtsbestimmungen der Speichelproben und eventuell standardisierteren Bedingungen der Materialgewinnung können dann wahrscheinlich zu neuen Erkenntnissen beitragen. Diese sind angesichts der noch immer bestehenden Unsicherheit hinsichtlich der im Rahmen der Radon-Therapie applizierten Organdosen und deren Dynamik im Anschluss an die therapeutische Exposition sehr wünschenswert. Erste Anhaltspunkte hierfür liefert die vorliegende Studie, die Hinweise auf die Grössenordnung der Radonfolgeprodukt-Aktivität gibt und insbesondere die Möglichkeit von deren einfacher Messung im Speichel belegt.

Die vorliegenden Daten zeigen, dass noch bis zu 35 min nach Verlassen des Therapiebereichs mit einem Anstieg der Radonfolgeprodukt-Aktivität im Speichel zu rechnen ist. Die hier gefundene nachfolgende Abklingkurve der Folgeprodukt-Aktivität kann als Hinweis darauf gewertet werden, dass sich die vermutete biologische Halbwertszeit nach Radon-Exposition in der Tat in der Grössenordnung von etwa 10–20 min bewegt. Nach 1 h ist nur noch eine geringe Zerfallsaktivität von Radon und Radonfolgeprodukten gegeben. Dieser Befund sollte zur weiteren Versachlichung von Diskussionen über ein potentiell Risiko der balneologischen Radon-Anwendung beitragen.

## References

- Lind-Albrecht G: Radoninhalation bei Morbus Bechterew; in Deetjen P, Falkenbach A (Hrsg): Radon und Gesundheit. Frankfurt, Peter Lang, 1999, pp 131–137.
- Pratzel HG, Legler B, Heisig S, Klein G, Franke T, Aurand K: Wirksamkeit und Verträglichkeit von Radonbädern bei Patienten mit schmerzhaften Beschwerden bei degenerativen Erkrankungen von Wirbelsäule oder Gelenken; in Pratzel HG, Deetjen P (Hrsg): Radon in der Kurortmedizin. Geretsried, ISMH, 1997, pp 114–143.
- Reiner L, Franke A, Pratzel HG, Klein G: Radonbäder unterstützen den Hafteffekt durch Radonbäder; in Deetjen P, Falkenbach A (Hrsg): Radon und Gesundheit. Frankfurt, Peter Lang, 1999, pp 139–162.
- Seichert N: Zur Problematik der Radon-Balneotherapie. Phys Rehab Kur Med 1992;2:157–160.
- Andrejew SV: Balneotechnische, strahlenhygie-

- nische und dosimetrische Aspekte der Radontherapie in der UdSSR. *Z Phys Med Balneol Med Klimatol* 1984;13(Sonderheft 2):83–89.
- 6 Pohl E, Pohl-Rüling J: Dose calculations due to the inhalation of  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{220}\text{Rn}$  and their daughters. *Health Phys* 1977;32:552–555.
  - 7 Pohl-Rüling J, Pohl E: The Radon 222 concentration in the atmosphere of mines as a function of the barometric pressure. *Health Phys* 1969;16: 579–584.
  - 8 Grunewald M, Grunewald WA: Radon(Rn)-Transfer während der Balneotherapie in der Bestschen Wanne. *Phys Rehab Kur Med* 1995; 5:189–195.
  - 9 Grunewald WA, von Phillipsborn H, Just G: Radon-Transfer Haut-Blut-Expirationsluft; in Deetjen P, Falkenbach A (Hrsg): Radon und Gesundheit. Frankfurt, Peter Lang, 1999, pp 93–101.
  - 10 Hofmann W, Lettner H, Winkler R, Foisner W: Perkutaner Radon-Transfer und Strahlenexposition durch Radonzerfallsprodukte beim Radon-Thermalwasserbad; in Deetjen P, Falkenbach A (Hrsg): Radon und Gesundheit. Frankfurt, Peter Lang, 1999, pp 83–91.
  - 11 Grosskopf A, Irlweck K: Radon exposure and urinary  $^{210}\text{Po}$  excretion of Austrian spa workers. *Radiat Prot Dosimetry* 1985;12:39–43.
  - 12 Peterman BF, Perkins CJ: Dynamics of radioactive chemically inert gases in the human body. *Radiat Prot Dosimetry* 1988;22:5–12.
  - 13 Andrejew SV: Über einen möglichen Wirkungsmechanismus der Thermalstollenbehandlung in Bockstein. *Z Phys Med Balneol Med Klimatol* 1988;17(Sonderheft 1):54–58.
  - 14 Andrejew SV, Semjonow BN, Tauchert D: Zum Wirkungsmechanismus von Radonbädern. *Z Phys Med Balneol Med Klimatol* 1990;19(Sonderheft 2):83–89.
  - 15 Bernatzky G, Graf A-H, Saria A, Hofmann W, Lettner H, Adam H, Leiner G: Schmerzhemmende Wirkung einer Kurbehandlung bei Patienten mit Spondylarthritits ankylopoetica. *Österr Z Phys Med* 1994; 3:85–94.
  - 16 Reinisch N, Mur E, Herold M, Dünzendorfer S, Kähler CM, Falkenbach A, Wiedermann CJ: Decrease of respiratory burst in neutrophils of patients with ankylosing spondylitis by combined radon-hyperthermia treatment. *Clin Exp Rheumatol* 1999;17:335–338.
  - 17 Soto J: Effects of radon on the immune system; in Pratzel HG, Deetjen P (Hrsg.): Radon in der Kurortmedizin. Geretsried, ISMH, 1997, pp 103–113.
  - 18 Soto J: Radon effects at cellular and molecular levels; in Deetjen P, Falkenbach A (Hrsg): Radon und Gesundheit. Frankfurt, Peter Lang, 1999, pp 63–66.
  - 19 Pohl E, Pohl-Rüling J: Physikalische und physikalisch-radiologische Messungen im Thermalstollen; in Scheminsky F (Hrsg): Der Thermalstollen von Badgastein-Böckstein. Innsbruck, Tyrolia, 1965, pp 137–160.
  - 20 Henn O: Der Wärmehaushalt im Thermalstollen; in Scheminsky F (Hrsg): Der Thermalstollen von Badgastein-Böckstein. Innsbruck, Tyrolia, 1965, pp 257–263.
  - 21 Hofmann W: Vergleich von Radondosis und Röntgenstrahlungsdosis; in Pratzel HG, Deetjen P (Hrsg): Radon in der Kurortmedizin. Geretsried, ISMH, 1997, pp 57–67.
  - 22 Darby SC, Whitley E, Howe GR, Hutchings SJ, Kusiak RA, Lubin JH, Morrison HI, Tirmarche M, Tomasek L, Radford EP, Roscoe RJ, et al: Radon and cancers other than lung cancer in underground miners: A collaborative analysis of 11 studies. *J Natl Cancer Inst* 1995;87:378–384.
  - 23 Guchelaar HJ, Vermes A, Meerwaldt JH: Radiation-induced xerostomia: Pathophysiology, clinical course and supportive treatment. *Support Care Cancer* 1997;5:281–288.
  - 24 Valdez ICH: Radiation-induced salivary dysfunction: Clinical course and significance. *Spec Care Dentist* 1991;11:252–255.
  - 25 Falkenbach A, Wolter NJGB: Radonthermalstollen-Kur zur Behandlung des Morbus Bechterew. *Forsch Komplementärmed* 1997;5:277–283.
  - 26 Von Philipsborn H: Spot measurements of radionuclides in air, water and solids with a single instrument. *Proceedings IRPA Regional Symposium on Radiation Protection. Prague September 8–12, 1997*, pp 611–614.
  - 27 Scheminsky F, Henn O: Die Durchführung der Stollentherapie, ihre Indikationen und Kontraindikationen; Zwischenfälle; Bedenken gegen die Stollenbehandlung? in Scheminsky F (Hrsg): Der Thermalstollen von Badgastein-Böckstein. Innsbruck, Tyrolia, 1965, pp 479–496.