

Piotr Politański
Jerzy Olszewski
Paweł Mamrot
Magda Mariańska
Marek Zmysłony

EKSPOZYCJA KURACJUSZY NA POLA ELEKTROMAGNETYCZNE I RADON W UZDROWISKACH RADONOLECZNICZYCH

PATIENTS' EXPOSURE TO ELECTROMAGNETIC FIELDS AND RADON IN RADON SPAS

Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera / Nofer Institute of Occupational Medicine, Łódź, Poland
Zakład Ochrony Radiologicznej / Radiological Protection Department

STRESZCZENIE

Wstęp: Wielu pacjentów zakładów fizjoterapii, które leczniczo stosują radon, jest kierowanych także na inne zabiegi, w tym takie, w których wykorzystuje się pole elektromagnetyczne (PEM). Są one zlecane, mimo że nadal nie wiadomo, czy w świetle teorii wolnorodnikowego działania PEM zastosowanie go w krótkim odstępie czasu po zabiegu radonowym nie zmienia skutków biologicznych oddziaływania radonu lub PEM. Celem badań było określenie, jak liczna jest w Polsce grupa pacjentów narażonych jednocześnie na radon i PEM oraz jak wysokie jest narażenie tych pacjentów na wymienione czynniki. Badania mają posłużyć w przyszłości do oceny skojarzonego działania radonu i PEM w ośrodkach radonolecznicznych. **Materiał i metody:** W głównych ośrodkach radonolecznicznych w Polsce przeprowadzono wywiad i analizę struktury zabiegów na podstawie danych statystycznych uzyskanych w uzdrowiskach, a także analizę ekspozycji na radon i PEM poprzez pomiary stężenia radonu oraz wielkości charakteryzujących ekspozycję na PEM. **Wyniki:** Ponad 8 tys. osób rocznie podlega łącznej ekspozycji na radon i PEM. Stwierdzono istotne statystycznie różnice między zmierzonymi stężeniami radonu (od ok. 61 kBq/m³ dla inhalacji z użyciem inhalatora do zaledwie 290 Bq/m³ dla tężni, $p = 0,049$) oraz natężenia PEM odpowiadające strefie zagrożenia i strefie niebezpiecznej dla ekspozycji zawodowej. **Wnioski:** W wyniku oceny ekspozycji kuracjuszy stwierdzono istotne różnice między zmierzonymi stężeniami radonu podczas różnych zabiegów radonolecznicznych. W związku z tym należy wypracować precyzyjne, uniwersalne procedury dotyczące stosowania radonu lub radonu w połączeniu z PEM w uzdrowiskach radonolecznicznych. Skutki ekspozycji kuracjuszy na radon oraz radon w połączeniu z PEM wymagają dalszych badań. Med. Pr. 2014;65(5):645–649

Słowa kluczowe: uzdrowiska, radon, pole elektromagnetyczne, wolne rodniki

ABSTRACT

Background: Many patients of physiotherapeutic facilities using therapeutic radon are also referred to other treatments involving the use of electromagnetic field (EMF). However, in the light of the theory of EMF influence on free radicals, it is still an open question whether, application of EMF shortly after the radon treatment may alter the biological effects of radon or EMF. The aim of the study was to determine how large is the group of patients exposed to radon and EMF in Poland, and how high is the exposure of these patients to analyzed factors. The results of the study are to be used in the future assessment of the combined effects of radon and EMF in radon spas. **Material and Methods:** Based on the statistical data and interviews held in the major Polish radon spas, the analysis of treatment structure was performed and exposure to radon and EMF was assessed by measuring radon concentrations and characteristic values of exposure to EMF. **Results:** More than 8000 people per year are subjected to combined exposure to radon and EMF. Significant differences were found between measured radon concentrations (they ranged from approximately 61 kBq/m³ for inhalations with inhaler to only 290 Bq/m³ for graduation towers, $p = 0.049$) and EMF intensities corresponded to those observed in hazardous and dangerous zones for occupational exposure. **Conclusions:** The results of the study showed significant differences between radon concentrations during various radon treatments. There is a need to develop clear and universal procedures for the application of radon or radon combined with EMF in radon spas. The effects of patients' exposure to radon, especially combined with EMF need to be further studied. Med Pr 2014;65(5):645–649

Key words: spas, radon, electromagnetic field, free radicals

Autor do korespondencji / Corresponding author: Piotr Politański, Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera w Łodzi, Zakład Ochrony Radiologicznej, ul. św. Teresy 8, 91-348 Łódź, e-mail: piopolit@imp.lodz.pl
Nadesłano: 14 października 2014, zatwierdzono: 25 listopada 2014

WSTĘP

W ostatnich latach ukazały się publikacje potwierdzające wolnorodnikowy model oddziaływania pól elektromagnetycznych (PEM) – zarówno stałych pól magnetycznych, jak i PEM wolnozmiennych i częstotliwości radiowych (1–3). Publikacje te pochodziły również z ośrodka autorów niniejszej publikacji (4,5).

Pola elektromagnetyczne zgodnie z tym modelem wpływają na zachodzące w organizmie procesy oksydacyjne, prowadząc m.in. do zmian ilościowych obecnych w komórkach reaktywnych form tlenu (RFT). Jednym z czynników egzogennych powodujących powstanie RFT w komórkach jest promieniowanie jonizujące, które m.in. poprzez reakcję radiolizy inicjuje powstanie wolnych rodników, w tym najbardziej reaktywnego rodnika hydroksylogowego (6–8). Zniszczenia, których źródłem są RFT, mogą z kolei inicjować procesy nowotworowe (8–10). Ze wspomnianego wyżej wolnorodnikowego modelu oddziaływania PEM wynika więc możliwość zmiany skutków jakościowych i ilościowych działania promieniowania jonizującego.

Jedną z substancji promieniotwórczych, z którymi człowiek najczęściej ma do czynienia, jest radon. Pojawia się więc pytanie, czy jednocześnie działanie radonu i PEM nie modyfikuje skutków tego ostatniego, zwłaszcza że według Światowej Organizacji Zdrowia (World Health Organization – WHO) radon jest w wielu krajach drugim po paleniu papierosów czynnikiem zwiększającym ryzyko zachorowania na raka płuc (11). Z innej strony radon w małych stężeniach jest wykorzystywany leczniczo – jako substancja działająca korzystnie w wielu wymienionych poniżej aspektach klinicznych (12–14), również przez tworzenie RFT i oddziaływanie na nie. Uznane działanie radonu – przeciwnowotworowe, odczulające i przeciwbólowe – tłumaczy się pobudzeniem kory nadnerczy i zwiększoną produkcją hormonów sterydowych, zachodzącą przypuszczalnie przez pobudzenie osi podwzgórzowo-przysadkowo-nadnerczowej i kory nadnerczy oraz przez blokowanie receptorów α (15). W procesach tych biorą udział RFT.

Wielu pacjentów zakładów fizjoterapii, które leczniczo stosują radon, jest kierowanych także na zabiegi, w których wykorzystuje się PEM. Obecnie praktycznie każdy zakład fizjoterapii wyposażony jest w terapeutyczne urządzenia emitujące PEM (magnetroniki, diatermie indukcyjne, pojemnościowe, czy zyskujące obecnie popularność łóżka magnetyczne). Uważa się, że PEM działają przeciwbólowo, przyspieszają zrost

kości i zmniejszają obrzęki tkanek miękkich (16). Tu jednak znowu pojawia się pytanie, czy w świetle teorii wolnorodnikowego działania PEM zastosowanie go w krótkim czasie po zabiegu radonowym nie zmienia skutków biologicznych oddziaływania radonu lub PEM.

Celem opisanych w tej pracy badań pilotowych było określenie, jak liczna jest w Polsce grupa pacjentów narażonych na radon i PEM oraz jak wysokie jest narażenie tych pacjentów na wymienione czynniki. Uzyskane dane mają posłużyć w przyszłości do oceny skojarzonego działania radonu i PEM w ośrodkach radonolecznicych.

MATERIAŁ I METODY

Badania przeprowadzono we współpracy z 2 głównymi ośrodkami radonolecznicych w Polsce. Przeprowadzono wywiad z ich pracownikami oraz analizę liczby i struktury zabiegów na podstawie danych statystycznych uzyskanych w uzdrowiskach.

Analizę ekspozycji na radon i PEM przeprowadzono poprzez pomiary stężenia radonu i wielkości charakteryzujących ekspozycję na PEM podczas zabiegów lub w sytuacjach odpowiadających przeprowadzaniu typowych zabiegów z wykorzystaniem PEM lub radonu.

Do pomiarów stężenia radonu wykorzystano komórki scyntylicyjne KS-11 o objętości 170 cm³ umożliwiające pomiar w zakresie 0,03–3 kBq/m³ z dokładnością $\pm 10\%$. Komórki te stosowano w zestawie składającym się z głowicy fotoelektrycznej GF-11 współpracującej z radiometrem górniczym (prod. zestawu: Zakład Doświadczalnej Aparatury Elektronicznej Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej, Polska).

Do pomiarów PEM zastosowano:

- szerokopasmowy miernik pola elektromagnetycznego, typ MEH-25 (prod. Politechnika Wrocławska, Polska), z sondą izotropową, typ 3AE-1 – zestaw pozwala na pomiar natężenia pola elektrycznego o wartości 0,6–1000 V/m w zakresie częstotliwości 0,1–300 MHz z dokładnością $\pm 15\%$;
- miernik natężenia pola elektrycznego i magnetycznego, typ NBM-550 (prod. NARDA STS, USA), z sondą izotropową, typ HF-0191 – zestaw pozwala na pomiar natężenia pola magnetycznego o wartości 0,018–16 A/m w zakresie częstotliwości 27 MHz – 1 GHz z dokładnością $\pm 12\%$;
- miernik indukcji magnetycznej, typ SMS-102, (prod. ASONIK, Polska) z poprzeczną sondą hallo-tronową – zestaw pozwala na pomiar indukcji ma-

gnetycznej o wartości 0,01 mT – 1,999 T w zakresie częstotliwości 0–500 Hz z dokładnością $\pm 15\%$.

Mierzono skuteczną wartość natężenia pola elektrycznego i magnetycznego oraz indukcji magnetycznej, a także stężenie radonu w miejscu przebywania kuracjusza pod jego nieobecność. Dla każdego rodzaju zabiegu wykonano 10–20 pomiarów charakteryzujących ekspozycję.

Dla stężeń radonu obserwowanych w miejscach przebywania pacjentów podczas zabiegów radonowych wykonano jednoczynnikową analizę wariancji oraz wielokrotne porównania międzygrupowe *post-hoc*. Ze względu na brak równości wariancji w analizowanych grupach wykonano test Gamesa-Howella (17). Dla parametrów określających ekspozycję na PEM nie wykonywano tego typu porównań, ponieważ właściwości PEM emitowanego podczas każdego z analizowanych zabiegów są inne.

WYNIKI

W Polsce uzdrowiska radonolecznicze rocznie przyjmują ponad 20 tys. kuracjuszy. Około 85% z nich (ponad 17 tys. osób) podlega ekspozycji na radon, a 40% (ponad 8 tys. osób) – łącznej ekspozycji na radon i PEM. Typowymi zabiegami wykorzystującymi terapeutycznie radon są kąpiele w wodzie radonowej (zbiorcze lub indywidualne) i inhalacje radonowe (w formie emanatorium, inhalatorów lub tężni). Pola elektromagnetyczne, które są stosowane terapeutycznie, to głównie wolnozmiennne pole magnetyczne oraz PEM wysokiej częstotliwości, działające głównie termicznie. W tabeli 1. zestawiono stężenia radonu zmierzone podczas ekspozycji kuracjuszy na radon, w tabeli 2. przedstawiono poziom istotności statystycznej dla różnic między stężeniami radonu stwierdzonymi dla zabiegów radonowych, a w tabeli 3. – ekspozycję kuracjuszy na PEM.

Tabela 1. Stężenie radonu podczas typowych zabiegów stosowanych w radonoleczniczych zakładach uzdrowiskowych
Table 1. Radon concentrations measured during common treatments applied in radon spa facilities

Rodzaj zabiegu Type of treatment	Typowy czas zabiegu Common treatment time [min]	Pomiary Measurements [n]	Stężenie radonu Radon concentration (M \pm SD) [Bq/m ³]	Pacjenci/zabiegi (szacowani/e) [n/rok] Patients/treatments (estimated) [n/year]	
Kąpiel / Bath	indywidualna / individual	15–20	10	450 \pm 490	12 000 / 90 000
	zbiorowa / group	20	10	1 220 \pm 810	1 700 / 16 000
Inhalacje / Inhalations	emanatorium / emanatorium	15	20	12 900 \pm 5 160	900 / 7 000
	tężnia / graduation tower	20	10	290 \pm 240	2 100 / 15 000
	inhalator / inhaler	20	10	61 450 \pm 57 250	640 / 4 000

M – średnia / mean, SD – odchylenie standardowe / standard deviation.

Tabela 2. Poziom istotności statystycznej różnic między stężeniami radonu dla typowych zabiegów stosowanych w radonoleczniczych zakładach uzdrowiskowych

Table 2. Statistical significance of differences between radon concentrations during common treatments applied in radon spa facilities

Lp. No.	Zabieg Treatment	Istotność statystyczna Statistical significance				
		1	2	3	4	5
Kąpiel / Bath						
1	indywidualna / individual	–	0,127	< 0,001*	0,880	0,050*
2	zbiorowa / group	0,127	–	< 0,001*	0,0350*	0,053
Inhalacje / Inhalations						
3	emanatorium / emanatorium	< 0,001*	< 0,001*	–	< 0,001*	0,135
4	tężnia / graduation tower	0,880	0,035*	< 0,001*	–	0,049*
5	inhalator / inhaler	0,050*	0,053	0,135	0,049*	–

* p < 0,05.

Tabela 3. Uzyskane wyniki pomiarów natężenia pól elektrycznych i magnetycznych podczas typowych zabiegów stosowanych w radonolecznicych zakładach uzdrowiskowych

Table 3. Electric and magnetic fields' strength measured during common treatments applied in radon spa facilities

Zabieg Treatment	Typowy czas zabiegu Common treatment time [min]	Pomiary Measurements [n]	Natężenie pola elektrycznego Electric field strength (M±SD) [V/m]	Natężenie pola magnetycznego Magnetic field strength (M±SD) [A/m]	Pacjenci/zabiegi (szacowani/e) [n/rok] Patients/treatments (estimated) [n/year]
Wolnozmiennie pole magnetyczne / / ELF magnetic field	15–20	10	n.d.	1180±960*	5 300 / 39 000
Diatermia krótkofalowa / / Short-wave diathermy					
pojemnościowa / capacitive	15–20	10	640±410	0,3±0,4	1 100 / 8 000
indukcyjna / induction	15–20	15	42±24	1,7±1,9	1 600 / 12 000

* Przeliczone z indukcji magnetycznej / Converted from magnetic induction.

n.d. – nie dotyczy / not applicable.

Inne skróty jak w tabeli 1 / Other abbreviations as in Table 1.

OMÓWIENIE

Uzyskane wyniki wykazały, że ekspozycja kuracjuszy zarówno na radon, jak i na PEM znacząco przekracza poziomy obecnie uznawane za obojętne dla zdrowia zarówno przez światowe autorytety, jak i krajowe przepisy higieniczne (18–20). Przekroczenia te są jednak zrozumiałe, ponieważ z definicji zabiegów leczniczych wynika, że stosowane w zabiegach czynniki nie powinny być dla zdrowia obojętne.

W otrzymanych wynikach (tab. 1 i 2) uwagę zwracają istotne statystycznie różnice między stężeniami radonu w zależności od zabiegu wziewnego. Stwierdzono zaledwie 290 Bq/m³ dla tężni, ok. 13 kBq/m³ dla emanatorium ($p < 0,001$ w stosunku do tężni) i aż ok. 61 kBq/m³ dla inhalacji ($p = 0,049$ w stosunku do tężni). Jak zaprezentowano w tabeli 2., nie ma istotnych różnic dla ekspozycji na radon podczas kąpieli.

Nie istnieją obecnie precyzyjne i jednoznaczne wytyczne dla lekarzy dotyczące kierowania pacjentów na konkretny rodzaj zabiegu. Zdarza się, że pacjenci z tym samym schorzeniem przez jednego lekarza prowadzącego byli kierowani na inhalację z użyciem inhalatora, a przez innego – na tężnię, podczas gdy stężenia radonu w trakcie tych zabiegów różnią się 200-krotnie.

Należy podkreślić, że w przypadku zlecenia zarówno zabiegów, w których terapeutycznie wykorzystuje się radon, jak i zabiegów z wykorzystaniem PEM, nie ma procedury określającej ich kolejność lub przerwy między nimi. Zdarza się więc, że pacjenci z zabiegu radonowego na zabieg z wykorzystaniem PEM udają się bezpośrednio lub po niemal 24-godzinnej przerwie.

WNIOSKI

Corocznie w Polsce ponad 8 tys. osób podlega ekspozycji na radon i PEM. W wyniku oceny tej ekspozycji stwierdzono istotne statystycznie różnice w stężeniach radonu podczas różnych zabiegów radonolecznicych. W związku z tym należy wypracować precyzyjne i uniwersalne procedury dotyczące stosowania radonu oraz radonu w połączeniu z PEM w uzdrowiskach radonolecznicych. Jednocześnie skutki ekspozycji kuracjuszy na ww. czynniki wymagają dalszych badań, które będą prowadzone przez autorów niniejszej publikacji.

PIŚMIENNICTWO

- Lupke M., Rollwitz J., Simkó M.: Cell activating capacity of 50 Hz magnetic fields to release reactive oxygen intermediates in human umbilical cord blood-derived monocytes and in Mono Mac 6 cells. *Free Radical Res.* 2004;38(9): 985–993, <http://dx.doi.org/10.1080/10715760400000968>
- Seyhan N., Canseven A.G.: *In vivo* effects of ELF MFs on collagen synthesis, free radical processes, natural antioxidant system, respiratory burst system, immune system activities, and electrolytes in the skin, plasma, spleen, lung, kidney, and brain tissues. *Electromagn. Biol. Med.* 2006;25(4):291–305, <http://dx.doi.org/10.1080/15368370601054787>
- Irmak M.K., Fadillioğlu E., Güleç M., Erdoğan H., Yağmurca M., Akyol O.: Effects of electromagnetic radiation from a cellular telephone on the oxidant and antioxidant levels in rabbits. *Cell Biochem. Funct.* 2002;20(4):279–283, <http://dx.doi.org/10.1002/cbf.976>

4. Zmysłony M., Politanski P., Rajkowska E., Szymczak W., Jajte J.: Acute exposure to 930 MHz CW electromagnetic radiation *in vitro* affects reactive oxygen species level in rat lymphocytes treated by iron ions. *Bioelectromagnetics* 2004;25(5):324–328, <http://dx.doi.org/10.1002/bem.10191>
5. Politański P., Rajkowska E., Pawlaczyk-Łuszczynska M., Dudarewicz A., Wiktorek-Smagur A., Śliwińska-Kowalska M. i wsp.: Static magnetic field affects oxidative stress in mouse cochlea. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health* 2010;23(4):377–384, <http://dx.doi.org/10.2478/v10001-010-0041-4>
6. Durante M., Gialanella G., Grossi G.F., Nappo M., Pugliese M., Bettega D. i wsp.: Radiation-induced chromosomal aberrations in mouse 10T1/2 cells: Dependence on the cell-cycle stage at the time of irradiation. *Int. J. Radiat. Biol.* 1994;65(4):437–447, <http://dx.doi.org/10.1080/09553009414550511>
7. Michael B.D.: A multiple-radical model for radiation action on DNA and the dependence of OER on LET. *Int. J. Radiat. Biol.* 1996;69(3):351–358, <http://dx.doi.org/10.1080/095530096145913>
8. Riley P.A.: Free radicals in biology: Oxidative stress and the effects of ionizing radiation. *Int. J. Radiat. Biol.* 1994; 65(1):27–33, <http://dx.doi.org/10.1080/09553009414550041>
9. Adelman R., Saul R.L., Ames B.N.: Oxidative damage to DNA: Relation to species metabolic rate and life span. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 1988;85(8):2706–2708, <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.85.8.2706>
10. Monchaux G., Morlier J.P., Morin M., Chameaud J., Lafuma J., Masse R.: Carcinogenic and cocarcinogenic effects of radon and radon daughters in rats. *Environ. Health Persp.* 1994;102(1):64–73
11. World Health Organization: Radon and cancer. Fact sheet N°291. [cytowany 1 września 2014] WHO, Geneva. Adres: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs291/en>
12. Zdrojewicz Z., Strzelczyk J.J.: Radon treatment controversy. *Dose Response* 2006;4(2):106–118
13. Falkenbach A., Kovacs J., Franke A., Jörgens K., Ammer K.: Radon therapy for the treatment of rheumatic diseases-review and meta-analysis of controlled clinical trials. *Rheumatol. Int.* 2005;25(3):205–210, <http://dx.doi.org/10.1007/s00296-003-0419-8>
14. Shehata M., Schwarzmeier J.D., Hilgarth M., Demirtas D., Richter D., Hubmann R. i wsp.: Effect of combined spa-exercise therapy on circulating TGF- β 1 levels in patients with ankylosing spondylitis. *Wien. Klin. Wochenschr.* 2006;118(9–10):266–272, <http://dx.doi.org/10.1007/s00508-006-0560-y>
15. Kochański J.W.: *Balneologia i hydroterapia*. Wydawnictwo Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, Wrocław 2002
16. Markov M.S.: Magnetic field therapy: A review. *Electromagn. Biol. Med.* 2007;26(1):1–23, <http://dx.doi.org/10.1080/15368370600925342>
17. Games P.A., Howell J.F.: Pairwise multiple comparison procedures with unequal N's and/or variances: A Monte Carlo Study. *J. Educ. Stat.* 1976;1(2):113–125, <http://dx.doi.org/10.2307/1164979>
18. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Physics*. 1998;74(4):494–522
19. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów. *DzU z 2003 r. nr 192, poz. 1883*
20. Lecomte J.F.: ICRP draft publication on 'radiological protection against radon exposure'. *Radiat. Prot. Dosim.* 2014;160(1–3):4–7, <http://dx.doi.org/10.1093/rpd/ncu105>