

WPLYW PÓL ELEKTROMAGNETYCZNYCH O CZĘSTOTLIWOŚCI SIECIOWEJ I RADIOWEJ NA STRUKTURĘ JĄDRA SZCZURA

IMPACT OF ELECTROMAGNETIC FIELDS WITH INDUSTRIAL AND RADIO FREQUENCY ON STRUCTURE OF RAT TESTIS

**Karolina Sieroń¹, Aleksandra Kawczyk-Krupka², Grzegorz Cieślar^{2*},
Aleksander Sieroń², Romuald Wojnicz³, Armand Cholewka⁴, Agata Stanek²**

¹ Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, Wydział Nauk o Zdrowiu, Zakład Medycyny Fizykalnej Katedry Fizjoterapii, 40-752 Katowice Ligota, ul. Medyków 12

² Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, Wydział Lekarski z Oddziałem Lekarsko-Dentystycznym w Zabrze, Katedra i Oddział Kliniczny Chorób Wewnętrznych, Angiologii i Medycyny Fizykalnej, 41-902 Bytom, ul. Batorego 15

³ Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, Wydział Lekarski z Oddziałem Lekarsko-Dentystycznym w Zabrze, Katedra i Zakład Histologii i Embriologii, 41-808 Zabrze Rokitnica, ul. Jordana 19

⁴ Uniwersytet Śląski w Katowicach, Instytut Fizyki im. A. Chelkowskiego, Zakład Fizyki Medycznej, 40-007 Katowice, ul. Uniwersytecka 4

*e-mail: cieslar1@tlen.pl

STRESZCZENIE

W pracy poddano ocenie na zwierzęcym modelu eksperymentalnym wpływ długotrwałej ekspozycji na oddziaływanie pola elektromagnetycznego o częstotliwości sieciowej, generowanego przez linie przesyłowe prądu zmiennego wysokiego napięcia oraz pola elektromagnetycznego o częstotliwości radiowej, emitowanego przez systemy telefonii komórkowej, a także łącznego ich oddziaływania na strukturę histologiczną jąder dojrzałych samców szczurów, ocenianą w mikroskopie świetlnym. Grupę kontrolną stanowiły zwierzęta poddane ekspozycji pozorowanej. Po 28-dniowej ekspozycji żadna z badanych form pola elektromagnetycznego nie spowodowała zmian struktury histologicznej jąder, widocznej w mikroskopie świetlnym.

Słowa kluczowe: pole elektromagnetyczne, częstotliwość sieciowa, częstotliwość radiowa, system telefonii komórkowej, linia przesyłowa wysokiego napięcia prądu zmiennego, jądro, samce szczurów

ABSTRACT

The impact of long-term exposure to the electromagnetic field of industrial frequency generated by high-voltage alternating-current transmission lines and radio-frequency electromagnetic field emitted by mobile telephony system, as well as simultaneous action of both forms of electromagnetic fields on histological structure of adult

male rats testes, was studied. As a control group sham-exposed animals were examined. It was stated by means of light microscopic examination that 28-day exposure of animals to examined electromagnetic fields did not cause any changes of histological structure of testes.

Keywords: electromagnetic fields, industrial frequency, radio-frequency, mobile telephony system, high voltage alternating current transmission line, testis, male rats

1. Wstęp

Wszystkie organizmy zamieszkujące Ziemię są bezustannie poddawane oddziaływaniu pól elektromagnetycznych, zarówno stanowiących element naturalnego środowiska, jak i pól sztucznych generowanych jako efekt działalności przemysłowej człowieka.

Ziemia wytwarza wokół siebie w sposób ciągły stałe pole elektryczne i magnetyczne. Dodatkowo do jej powierzchni dociera pochodzące z kosmosu promieniowanie elektromagnetyczne o szerokim spektrum częstotliwości. Organizmy żywe na drodze ewolucji zaadaptowały się do oddziaływania naturalnych źródeł pola elektromagnetycznego. Dynamiczny rozwój techniki, systematyczne zwiększanie liczby urządzeń generujących sztuczne pole elektromagnetyczne o parametrach fizycznych, które przekraczają wartości natężenia i indukcji pola ziemskiego, mogą prowadzić do zaburzenia homeostazy organizmu oraz powodować szkodliwe dla zdrowia skutki.

Oddziaływanie pola elektromagnetycznego na organizmy żywe zależy od jego parametrów fizycznych, jak natężenie oraz częstotliwość, ale także od czasu ekspozycji i odległości od źródła pola. Organizm ludzki nie posiada wybiórczych receptorów pól elektromagnetycznych, co uniemożliwia unikanie tego promieniowania w sposób intuicyjny.

Każde urządzenie elektryczne stosowane w życiu codziennym, medycynie czy też przemyśle może być sztucznym źródłem pola elektromagnetycznego generowanego w sposób zamierzony lub jako uboczny skutek działania urządzenia.

Jednym z głównych źródeł emitujących pole elektromagnetyczne w otaczającym nas środowisku, w ostatnich latach są energetyczne linie przesyłowe prądu zmiennego wysokiego napięcia, generujące pole elektromagnetyczne o częstotliwości sieciowej 50 Hz oraz bazowe stacje systemów telefonii komórkowej i telefony komórkowe, emitujące pole elektromagnetyczne o częstotliwości radiowej.

Dynamiczna rozbudowa infrastruktury telekomunikacyjnej oraz rozwój cyfrowego systemu łączności komórkowej GSM umożliwiły mobilną komunikację przy pomocy telefonii komórkowej. Zgodnie z danymi Międzynarodowego Związku Telekomunikacyjnego (ITU) liczba telefonów komórkowych wynosi obecnie ponad 6 miliardów [1]. W zasięgu usług mobilnych znajduje się ponad 90% mieszkańców Ziemi, a odsetek osób korzystających z usług mobilnych wynosi 75%. Telefon komórkowy w obecnych czasach nie służy jedynie do nawiązywania połączeń. Urządzenia telefoniczne są wyposażone w liczne dodatkowe funkcje, takie jak np. stały dostęp do Internetu, aparat fotograficzny czy też radio, co w sposób automatyczny wydłuża czas korzystania z tych urządzeń.

Celem poprawy jakości oraz zasięgu sieci operatorzy systemów telefonii komórkowej zwiększają liczbę stacji bazowych, które emitują sygnały elektromagnetyczne. Z kolei tryb życia naszej cywilizacji, wymusza prawie bezustannie korzystanie z telefonu komórkowego oraz urządzeń elektrycznych zasilanych prądem zmiennym. Oba te czynniki są odpowiedzialne za powstawanie tzw. szumu elektromagnetycznego.

Ze względu na dynamiczny rozwój sieci telefonii komórkowych i rozbudowę sieci energetycznych oraz rosnącą się liczbę osób mających problemy z płodnością, istotne znaczenie ma ustalenie czy omówione powyżej formy pól elektromagnetycznych wywierają negatywny wpływ na strukturę i czynność jąder.

2. Materiał i metody badań

Badanie, finansowane ze środków grantu nr N N511 351737 Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, przeprowadzono po uzyskaniu zgody i zgodnie z zaleceniami Lokalnej Komisji Bioetycznej ds. Doświadczeń na Zwierzętach w Katowicach dotyczącymi maksymalnej liczebności poszczególnych grup badanych zwierząt (zezwolenie nr 65/2008).

2.1 Materiał badawczy

Badaniu poddano 40 samców szczurów rasy Wistar, w wieku 10 tygodni, o masie ciała około 280 g w momencie rozpoczęcia eksperymentu, pochodzących z hodowli zwierząt laboratoryjnych Zakładu Medycyny Doświadczalnej Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach.

Wszystkie badane zwierzęta znajdowały się na tym samym etapie rozwojowym i wykazywały dojrzałość narządową.

W czasie trwania całego eksperymentu zwierzęta przebywały w optymalnych warunkach środowiskowych z zachowaniem 24-godzinny cyklu dobowego (12-godzinna faza dzienna w sztucznym oświetleniu i 12-godzinna faza ciemności), w pomieszczeniu o stałej temperaturze 21 °C oraz stałej wilgotności powietrza wynoszącej 60%.

Szczury przebywały w typowych klatkach plastikowych o wymiarach 60×40×20 cm, nieograniczających możliwości swobodnego poruszania się, jednocześnie po dziesięć zwierząt w klatce. Karmione były standardową paszą laboratoryjną Labofeed-B dla gryzoni oraz miały zapewniony stały dostęp do wody pitnej.

Szczury podzielono losowo na cztery równoliczne grupy, nieróżniące się znamionnie pod względem masy ciała, z których 3 grupy poddano ekspozycji na działanie pola elektromagnetycznego o różnych parametrach fizycznych i różnym rozkładzie czasowym ekspozycji, a czwarta grupa stanowiła grupę kontrolną, która poddana była ekspozycji pozorowanej, w trakcie której w układzie ekspozycyjnym nie dochodziło do generowania pola elektromagnetycznego.

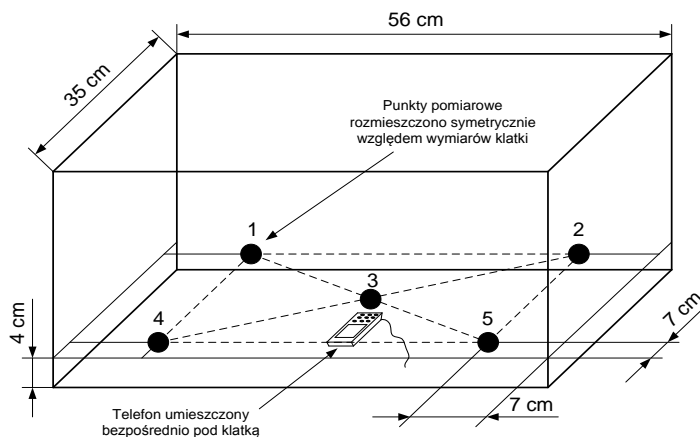
2.2 Metodyka ekspozycji w polu elektromagnetycznym

Na rysunku 1 przedstawiono wykorzystany w doświadczeniu system ekspozycyjny, umożliwiający alternatywnie poddawanie zwierząt przebywających w plastikowych klatkach niezaburzających pola elektromagnetycznego, umieszczonych pomiędzy 2 elektrodami ustawionymi w odległości 50 cm od siebie, oddziaływaniu pola elektromagnetycznego o częstotliwości sieciowej i parametrach fizycznych generowanych w otoczeniu linii przesyłowych wysokiego napięcia prądu zmiennego, oddziaływaniu pola elektromagnetycznego o częstotliwości radiowej emitowanego przez telefon komórkowy lub jednoczesnemu oddziaływaniu obu tych form pola elektromagnetycznego.



Rys. 1. Sposób ekspozycji zwierząt na działanie pola elektromagnetycznego

Do elektrody wysokonapięciowej przyłożone było napięcie zmienne o wartości 5 kV, którego źródłem był wysokonapięciowy transformator probierczy, a klatka była ustawiona na elektrodzie uziemionej. Z kolei telefon komórkowy będący źródłem pola elektromagnetycznego o częstotliwości radiowej był umieszczony bezpośrednio pod klatką, w której przebywały zwierzęta w trakcie ekspozycji, co przedstawiono schematycznie na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat stanowiska ekspozycyjnego

Średnią gęstość mocy pola elektromagnetycznego emitowanego przez telefon komórkowy obliczono z szesnastu kolejnych pomiarów gęstości mocy, rejestrowanych w pięciu punktach stanowiska pomiarowego zlokalizowanych w klatce, przedstawionych na rysunku 2. Do pomiarów użyto miernika zakłóceń elektromagnetycznych TES-92 o numerze seryjnym 091006768. Miernik posiadał aktualne świadectwo wzorcowania nr LWiMP/W/025/09 z dnia 04.02.2010 roku, wydane przez Laboratorium Wzorców i Metrologii Pola Elektromagnetycznego we Wrocławiu.

Pomiary gęstości mocy pola elektromagnetycznego emitowanego przez telefon komórkowy wykonywano zawsze przy wyłączonym na czas pomiaru źródle wysokonapięciowego pola elektromagnetycznego o częstotliwości sieciowej, ze względów bezpieczeństwa oraz w celu ochrony przyrządu pomiarowego przed uszkodzeniem.

Szczury z grupy eksperymentalnej B1 poddano cyklowi 28 codziennych ekspozycji na oddziaływanie pola elektromagnetycznego o parametrach fizycznych występujących w otoczeniu linii przesyłowych wysokiego napięcia prądu zmiennego: częstotliwość 50 Hz, natężenie 10 kV/m i indukcja magnetyczna 4,3 pT. Czas ekspozycji wynosił 22 godziny dziennie (z dwugodziną przerwą pomiędzy 8⁰⁰ a 10⁰⁰). W trakcie ekspozycji zwierzęta przebywały w plastikowych klatkach umieszczonych pomiędzy 2 okrągłymi elektrodami ustawionymi w odległości 50 cm od siebie. Do elektrody wysokonapięciowej przykładano napięcie o zmiennym kierunku i wartości 5 kV, którego źródłem był wysokonapięciowy transformator probierczy.

Szczury z grupy eksperymentalnej B2 poddano cyklowi 28 codziennych ekspozycji na oddziaływanie pola elektromagnetycznego o parametrach fizycznych generowanych przez systemy telefonii komórkowej działające w zakresie częstotliwości 900 MHz. Okres trwania ekspozycji wynosił 8 godzin dziennie, w dwóch cyklach 4-godzinnych (9⁰⁰–13⁰⁰ i 14⁰⁰–18⁰⁰) z godziną przerwą pomiędzy godziną 13⁰⁰ i 14⁰⁰. W tym okresie co ½ godziny włączany był automatycznie telefon komórkowy Nokia 5100, umieszczony bezpośrednio pod klatką, w której przebywały zwierzęta w trakcie ekspozycji, który przez 15 sekund emitował promieniowanie elektromagnetyczne o częstotliwości 900 Hz. Łączna liczba inicjowanych połączeń wynosiła 16 na dobę, a łączny czas trwania tych połączeń wynosił 4 minuty na dobę. Średnia gęstość mocy pola elektromagnetycznego rejestrowana w czasie nawiązywania połączenia wynosiła 85,3 $\mu\text{W}/\text{m}^2$, natomiast średnia gęstość mocy pola elektromagnetycznego rejestrowana w czasie nawiązanego połączenia wynosiła 17,0 $\mu\text{W}/\text{m}^2$.

Szczury z grupy eksperymentalnej B3 poddano cyklowi 28 codziennych ekspozycji na łączne oddziaływanie pola elektromagnetycznego o częstotliwości sieciowej oraz pola generowanego przez telefon komórkowy o identycznych jak w poprzednich grupach parametrach fizycznych i rozkładzie czasowym ekspozycji.

Szczury z grupy kontrolnej K poddano cyklowi 28 codziennych ekspozycji pozorowanych, w trakcie których przebywały one w identycznych warunkach jak szczury z grup badanych, jednak w układzie ekspozycyjnym nie było generowane pole elektromagnetyczne.

Po zakończonej ekspozycji zwierzęta przebywały w części pomieszczenia, w której natężenie pola elektrycznego i magnetycznego było równe natężeniu pola ziemskiego, w celu zmniejszenia ryzyka wystąpienia ewentualnego stresu związanego ze zmianą otoczenia.

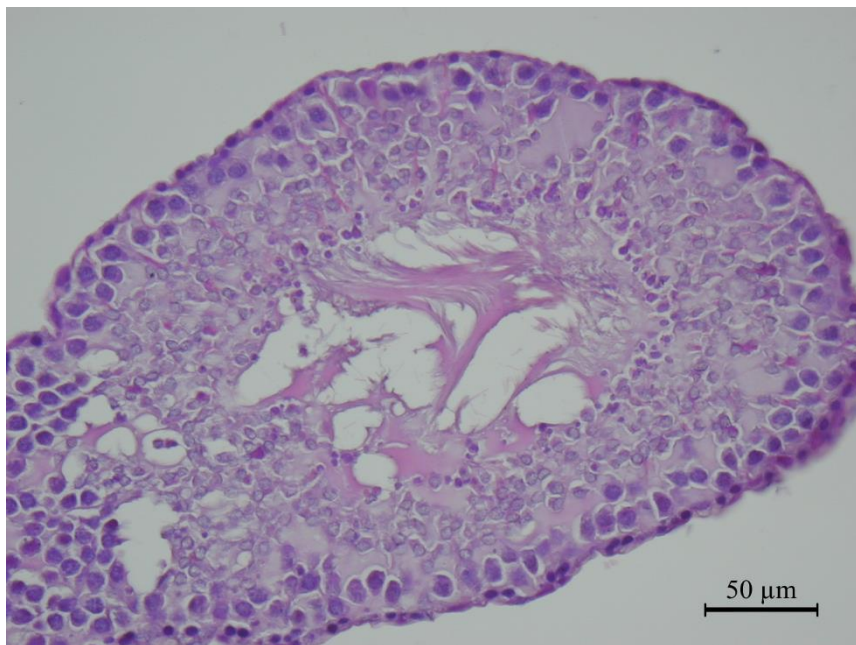
2.3 Metodyka pobierania i przygotowywania materiału do badań histologicznych

Po zakończeniu cyklu badawczego, obejmującego 28 dni, zwierzęta nie były karmione przez 24 h, a następnie każdorazowo pomiędzy godziną 8⁰⁰ a 10⁰⁰, były usypiane przy użyciu mieszaniny zawierającej ksylazynę (10 mg/kg i.p.) z ketaminą (100 mg/kg i.p.). Po wprowadzeniu do głębokiej narkozy otwierano klatkę piersiową przez nacięcie żeber, a następnie nakłuwano koniuszek lewej komory serca przy użyciu igły iniekcyjnej 0,5×30 mm połączonej ze strzykawką i pobierano około 4 ml krwi od każdego szczura, doprowadzając tym samym do ich całkowitego skrwawienia. Następnie otwierano jamę brzuszną i nacinano worek mosznowy szczura oraz wyłuskiwano oba jądra.

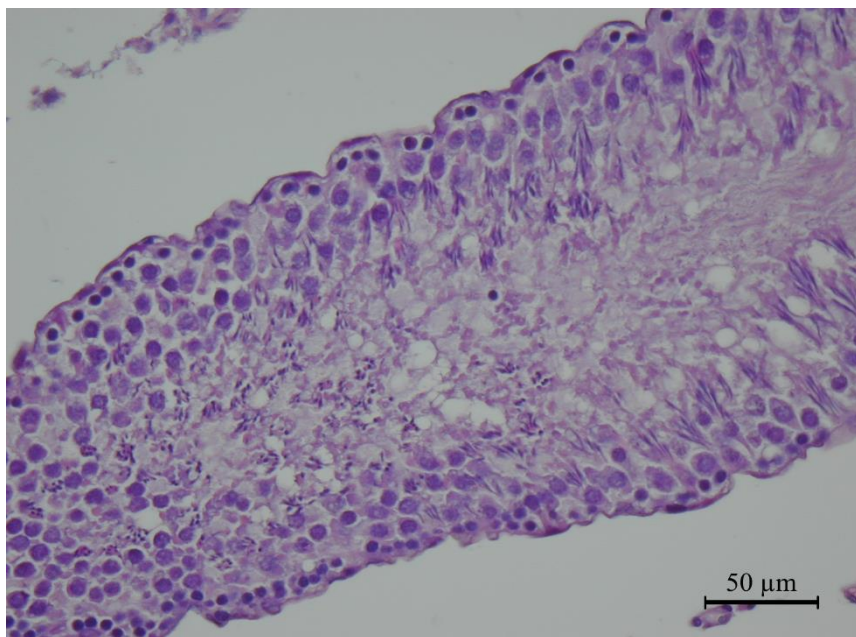
Pobrane próbki jąder utrwalano w 10% glutaraldehydzie z dodatkiem 0,1 M buforu kakodylowego o pH 7,4, a następnie zatapiano w bloczkach parafinowych, z których wykonywano preparaty histologiczne. Uzyskane preparaty były w rutynowy sposób barwione eozyną i hematoksyliną oraz trójchromianem Massona. Ocena histologiczna preparatów była wykonywana pod mikroskopem świetlnym Nikon Eclipse 80i (prod. Nikon, Japonia) przy powiększeniu 20x przez 2 niezależnych patomorfologów, a ostateczny wynik badania ustalano poprzez konsensus.

3. Wyniki

Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono mikroskopowy obraz histologiczny jądra samca szczura, z grupy B3 poddawanej długotrwałej ekspozycji na jednoczesne oddziaływanie pola elektromagnetycznego o częstotliwości sieciowej generowanego w otoczeniu linii przesyłowych wysokiego napięcia prądu zmiennego i pola elektromagnetycznego o częstotliwości radiowej emitowanego przez telefon komórkowy działający w paśmie częstotliwości 900 MHz oraz samca szczura z grupy kontrolnej poddawanej ekspozycji pozorowanej (p. rys. 3).



Rys. 3. Obraz histologiczny w mikroskopie świetlnym przekroju kanalika krętego jądra samca szczura z grupy B3 poddawanej jednoczesnemu oddziaływaniu pola elektromagnetycznego o częstotliwości sieciowej generowanego przez linie przesyłowe wysokiego napięcia prądu zmiennego oraz pola elektromagnetycznego o częstotliwości radiowej emitowanego przez telefon komórkowy. (powiększenie 20x, barwienie eozyną i hematoksyliną oraz trójchromianem Massona)



Rys. 4. Obraz histologiczny w mikroskopie świetlnym przekroju kanalika krętego jądra samca szczura z grupy kontrolnej K poddawanej ekspozycji pozorowanej. (powiększenie 20x, barwienie eozyną i hematoksyliną oraz trójchromianem Massona)

W preparatach histologicznych szczurów w żadnej grupie poddanej długotrwałej ekspozycji na oddziaływanie pola elektromagnetycznego (B1, B2 i B3) ocenianych w mikroskopie świetlnym nie stwierdzono istotnych patologii ani różnic w budowie jąder w porównaniu z grupą kontrolną K poddawaną ekspozycji pozorowanej. Badania dotyczyły następujących struktur: kanalików nasiennych, komórek Sertoliego, spermatyd, spermatocytów, spermatogonii, komórek Leydiga, miofibroblastów i naczyń włosowatych, co wskazuje na brak istotnego negatywnego wpływu pól elektromagnetycznych o analizowanych parametrach fizycznych na strukturę jąder badanych zwierząt.

4. Dyskusja

W dostępnym piśmiennictwie brak wyników badań eksperymentalnych oceniających efekty łącznego oddziaływania obu analizowanych form pola elektromagnetycznego na strukturę jądra, dlatego opracowano układ eksperymentalny, imitujący sytuację, w której pracownik podstacji energetycznej, który jest narażony w sposób ciągły na oddziaływanie wysokonapięciowego pola elektromagnetycznego o częstotliwości sieciowej, korzysta w czasie pracy z telefonu komórkowego, narażając się tym samym na dodatkowy wpływ pola elektromagnetycznego o częstotliwości radiowej na jego organizm, co potencjalnie może m.in. powodować zaburzenia czynności i struktury jąder.

W Polsce problem niepłodności dotyczy około 1 mln (20%) par starających się o potomstwo, z czego 40–60% stanowi niepłodność spowodowana czynnikiem męskim [2]. Przyczyny niepłodności męskiej dzieli się na przedjądrowe, jądrowe oraz pozajądrowe. Przyczyny przedjądrowe wynikają zwykle z zaburzeń gospodarki hormonalnej, przyczyny jądrowe spowodowane są najczęściej wrodzonymi chorobami jąder oraz uszkodzeniami struktury i czynności kanalików plemnikotwórczych. Natomiast czynniki pozajądrowe obejmują głównie zaburzenia seksualne, zaburzenia w odpływie nasienia czy też zdolności zapłodnienia komórki jajowej.

Wielu autorów podkreśla istotny udział w powstawaniu zaburzeń płodności prowadzonego stylu życia oraz czynników środowiskowych, do których należą między innymi: wysoka temperatura, promieniowanie elektromagnetyczne, nadużywanie alkoholu, palenie tytoniu, otyłość czy siedzący tryb życia [3].

W badaniach eksperymentalnych wykazano ponadto, że negatywny wpływ na tkankę jąder i na jakość nasienia wywierają zaburzenia homeostazy oksydacyjnej i nasilony stres oksydacyjny [4, 5].

Z opublikowanych dotychczas wyników badań doświadczalnych wynika, że ekspozycja zwierząt na oddziaływanie pola elektromagnetycznego, zarówno o częstotliwości sieciowej, jak i częstotliwości radiowej, może wpływać w istotny sposób na strukturę i czynność jąder.

W pracy eksperymentalnej, w której noworodki samców szczurów poddawano 3 razy dziennie po 30 minut przez okres od 30 dnia życia płodowego do 21 dnia po urodzeniu ekspozycji na oddziaływanie pola elektromagnetycznego o częstotliwości 60 Hz i indukcji 1 mT potwierdzono występowanie zaburzeń rozwojowych jąder pod postacią zmniejszenia średnicy i światła kanalików nasiennych oraz wysokości komórek nabłonka tych kanalików, bez towarzyszących zmian długości kanalików nasiennych, struktury komórek Sertoliego oraz stężenia testosteronu w surowicy tych zwierząt [6].

W innym badaniu doświadczalnym wykazano, że 2–4-tygodniowa ekspozycja samców myszy w polu elektromagnetycznym o częstotliwości 50 Hz i indukcji 0,2–6,4 mT powoduje znamienne statystycznie zmniejszenie masy jąder i objętości spermy oraz ruchliwości plemników, a także znamienne wzrost częstości występowania deformacji plemników i zmniejszenie zawartości DNA w tych komórkach, bez towarzyszących zmian struktury histologicznej jąder [7].

W innym eksperymencie ekspozycja samców myszy w polu elektromagnetycznym z częstotliwości 50 Hz i indukcji 1,7 mT, 2–4 godziny dziennie przez okres 7–42 dni, w przypadku przekroczenia czasu trwania cyklu 4-godzinnych ekspozycji wynoszącego 28 dni, wywierała cytotoksyczny efekt na przebieg spermatogenezy w jądrach, powodując występowanie znamiennego statystycznie wydłużenia spermatoblastów [8].

Zaburzenia różnicowania spermatoblastów i spermatocytów w jądrach obserwowano również w badaniu, w którym samce myszy poddawano przewlekłej ekspozycji na oddziaływanie pola elektromagnetycznego o częstotliwości 50 Hz i natężeniu 40 kV/m, przy czym największe nasilenie tych zmian występowało u osobników niedojrzałych płciowo i starych [9].

W kolejnych badaniach eksperymentalnych udowodniono, że zarówno ekspozycja *in vitro* nasienia królików, jak i ekspozycja *in vivo* samców myszy na oddziaływanie pola elektromagnetycznego o częstotliwości 50 Hz powoduje zmniejszenie liczby i ruchliwości plemników w nasieniu oraz obniżenie wskaźnika zapłodnień przy użyciu tego nasienia [10, 11].

W badaniu doświadczalnym, w którym samce szczurów poddawano 3-miesięcznej ekspozycji na oddziaływanie pola elektromagnetycznego generowanego przez telefon komórkowy, trwającej 60 minut dziennie, stwierdzono występowanie zmian czynnościowych jąder pod postacią zahamowania procesu spermatogenezy i dojrzewania plemników, podczas gdy ekspozycja trwająca 30 minut dziennie nie wywoływała takiego efektu [12].

W innym badaniu eksperymentalnym ekspozycja szczurów w polu elektromagnetycznym o częstotliwościach 900 i 1800 MHz, trwająca 1 godzinę dziennie przez okres 1 miesiąca, prowadziła do zmniejszenia udziału procentowego plemników o prawidłowej ruchliwości, bez towarzyszących zmian całkowitej liczby plemników w spermie [13].

W kolejnym badaniu doświadczalnym wykazano, że 35-dniowa ekspozycja szczurów w polu elektromagnetycznym emitowanym przez telefon komórkowych, trwająca 2 godziny dziennie, powoduje zmniejszenie liczebności plemników i nasilenie ich apoptozy [14].

W innym eksperymencie stwierdzono, że 18-tygodniowa ekspozycja samców szczurów w polu elektromagnetycznym generowanym przez telefon komórkowy prowadzona dwukrotnie w ciągu doby każdorazowo przez 3 godziny, powoduje nieprawidłowe skupianie się oraz zwiększoną śmiertelność plemników [15].

Z kolei wyniki badania *in vitro*, w którym hodowlę oczyszczonych plemników ludzkich poddano jednorazowo 16-godzinnej ekspozycji na oddziaływanie pola elektromagnetycznego o częstotliwości radiowej 1,8 GHz, dowiodły, że taka ekspozycja powoduje zmniejszenie ruchliwości i żywotności tych komórek [16].

Jak się wydaje niejednoznaczne wyniki badań, w większości których oceniano głównie liczebność, budowę i czynność plemników, a nie strukturę histologiczną nabłonka kanalików nasiennych jąder, wynikają z wykorzystywania odmiennych modeli doświadczalnych, różniących się zarówno pod względem gatunku i stopnia dojrzałości płciowej zwierząt, jak i parametrów fizycznych stosowanego pola elektromagnetycznego oraz czasu trwania prowadzonej ekspozycji.

5. Wnioski

28-dniowa ekspozycja dojrzałych samców szczurów na oddziaływanie pola elektromagnetycznego o częstotliwości sieciowej generowanego przez linie przesyłowe wysokiego napięcia prądu zmiennego oraz pola elektromagnetycznego o częstotliwości radiowej emitowanego przez systemy telefonii komórkowej, a także łączne ich oddziaływanie, nie powoduje istotnych zmian struktury histologicznej jąder tych zwierząt widocznej w mikroskopie świetlnym.

LITERATURA

- [1] ICT Data and Statistics Division: *ICT facts and figures 2016*, International Telecommunication Union, Geneva 2016.
- [2] D. Sanocka, M. Kurpisz: *Infertility in Poland - present status, reasons and prognosis as a reflection of Central and Eastern Europe problems with reproduction*, Medical Science Monitor, vol. 9(3), 2003, s. SR16–SR20.
- [3] J. Tkaczuk-Włach, D. Robak-Chołubek, G. Jakiel: *Nieplodność męska*, Przegląd Menopauzalny, vol. 5, 2006, s. 333–338.
- [4] X.F. Liu, L.M. Zhang, H.N. Guan, Z.W. Zhang, S.W. Xu: *Effects of oxidative stress on apoptosis in manganese-induced testicular toxicity in cocks*, Food and Chemical Toxicology, 2013, vol. 60, 2013, s. 168–176.
- [5] M. Koksal, E. Oğuz, F. Baba, M.A. Eren, H. Ciftci, M.E. Demir, Z. Kurcer, G. Take, F. Aral, A.R. Ocak, N. Aksoy, T. Ulas: *Effects of melatonin on testis histology, oxidative stress and spermatogenesis after experimental testis ischemia-reperfusion in rats*, European Review for Medical and Pharmacological Sciences, vol. 16(5), 2012, s. 582–588.
- [6] B.M. Tenorio, G.C. Jimenez, R.N. Morais, S.M. Torres, R. Albuquerque Nogueira, V.A. Silva Junior: *Testicular development evaluation in rats exposed to 60 Hz and 1 mT electromagnetic field*, Journal of Applied Toxicology, vol. 31(3), 2011, s. 223–230.
- [7] R. Hong, Y. Liu, Y.M. Yu, K. Hu, E.Q. Weng: *Effects of extremely low frequency electromagnetic fields on male reproduction in mice*, Chinese Journal of Industrial Hygiene and Occupational Diseases, vol. 21(5), 2003, s. 342–345.
- [8] R. De Vita, D. Cavallo, L. Raganella, P. Eleuteri, M.G. Grollino, A. Calugi: *Effects of 50 Hz magnetic fields on mouse spermatogenesis monitored by flow cytometric analysis*, Bioelectromagnetics, vol. 16(5), 1995, s. 330–334.
- [9] L.A. Ivanova, A.G. Kartashev: *The effect of alternating electric field of industrial frequency on testicles of white mice*, Fiziologicheskii Zhurnal, 37(6), 1991, s. 71–78.
- [10] S. Roychoudhury, J. Jedlicka, V. Parkanyi, J. Rafay, L. Ondruska, P. Massanyi, J. Bulla: *Influence of a 50 Hz extra low frequency electromagnetic field on spermatozoa motility and fertilization rates in rabbits*, Journal of Environmental Science and Health. Part A. Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering, vol. 44(10), 2009, s. 1041–1047.
- [11] L. de Bruyn, L. de Jager: *Effect of long-term exposure to a randomly varied 50 Hz power frequency magnetic field on the fertility of the mouse*, Electromagnetic Biology and Medicine, vol. 29(1-2), 2010, s. 52–61.
- [12] S.A. Meo, M. Arif, S. Rashied, M.M. Khan, M.S. Vohra, A.M. Usmani, M.B. Imran, A.M. Al-Drees: *Hypospermatogenesis and spermatozoa maturation arrest in rats induced by mobile phone radiation*, Journal of the College of Physicians and Surgeons - Pakistan, vol. 21(5), 2011, s. 262–265.
- [13] M. Mailankot, A.P. Kunnath, H. Jayalekshmi, B. Koduru, R. Valsalan: *Radio frequency electromagnetic radiation (RF-EMR) from GSM (0.9/1.8 GHz) mobile phones induces oxidative stress and reduces sperm motility in rats*, Clinics (Sao Paulo), vol. 64(6), 2009, s. 61–65.
- [14] K.K. Kesari, S. Kumar, J. Behari: *Mobile phone usage and male infertility in Wistar rats*, Indian Journal of Experimental Biology, vol. 48(10), 2010, s. 987–992.
- [15] J.G. Yan, M. Agresti, T. Bruce, Y.H. Yan, A. Granlund, H.S. Matloub: *Effects of cellular phone emissions on sperm motility in rats*, Fertility and Sterility, vol. 88(4), 2007, s. 957–964.
- [16] G.N. De Iuliis, R.J. Newey, B.V. King, R.J. Aitken: *Mobile phone radiation induces reactive oxygen species production and DNA damage in human spermatozoa in vitro*, PLoS One, vol. 4(7), 2009, s. e6446.

otrzymano / submitted: 22.08.2016

wersja poprawiona / revised version: 15.09.2016

zaakceptowano / accepted: 20.09.2016