Alicja Bortkiewicz[1]
Elżbieta Gadzicka[1]
Marek Zmyślony[2]

EFEKTY BIOLOGICZNE I RYZYKO ZDROWOTNE PEM O POZIOMACH DOPUSZCZALNYCH PRZEZ ICNIRP DLA OSÓB ZAWODOWO EKSPONOWANYCH - BADANIA INSTYTUTU MEDYCYNY PRACY W ŁODZI

BIOLOGICAL EFFECTS AND HEALTH RISKS OF ELECTROMAGNETIC FIELDS AT LEVELS CLASSIFIED BY INCRIP AS ADMISSIBLE AMONG OCCUPATIONALLY EXPOSED WORKERS: A STUDY OF THE NOFER INSTITUTE OF OCCUPATIONAL MEDICINE, ŁÓDŹ

[1] Z Zakładu Fizjologii Pracy i Ergonomii
Kierownik zakładu: dr hab. med. *T. Makowiec-Dąbrowska*
[2] Z Zakładu Zagrożeń Fizycznych
Kierownik zakładu: prof. dr hab. med. *M. Śliwińska-Kowalska*
Instytutu Medycyny Pracy im. prof. *J. Nofera* w Łodzi

Streszczenie Celem badań była ocena wpływu pól elektromagnetycznych (PEM) na układ krążenia oraz sprawdzenie, czy i w jakim stopniu częstotliwość PEM, poziom ekspozycji, zarówno chwilowej (wartości maksymalne) jak i przewlekłej (dozy dobowe i życiowe) wpływa na rodzaj występujących zaburzeń. Pozwoli to ocenić, czy standardy higieniczne, ograniczające maksymalne wartości PEM (np. normatywy ICNIRP) zabezpieczają przed negatywnymi skutkami ekspozycji. Badaniami objęto pracowników stacji transformatorowo - rozdzielczych, średniofalowych obiektów nadawczych, radioserwisów i wieloprogramowych obiektów nadawczych. We wszystkich przypadkach ekspozycja wg standardów ICNIRP była znacznie poniżej dopuszczalnej. Mimo to w badanych grupach stwierdzono zmiany w układzie krążenia i wykazano istotną zależność między zaburzeniami ciśnienia tętniczego i regulacji neurowegetatywnej a parametrami charakteryzującymi ekspozycję. Częstość zmian w układzie krążenia była istotnie zależna nie tylko od wartości maksymalnych PEM, ale także od dozy PEM. Wskazuje to, że standardy higieniczne dla PEM nie mogą ograniczać się jedynie do chwilowych wartości maksymalnych i należałoby je uzupełnić normami dotyczącymi dozy. Med. Pr. 2003; 54 (3): 291—297

Słowa kluczowe: Pola elektromagnetyczne, standardy higieniczne, układ krążenia

Abstract The aim of the study was to evaluate the effect of electromagnetic fields (EMF) on the workers' circulatory system, and to find out to what extent the EMF frequency, short-term (maximum values) and chronic (daily and lifetime doses) exposures influence the type of the observed disorders. The gathered data will help to evaluate whether hygiene standards that limit maximum admissible EMF values (e.g., ICNIRP standards) protect against adverse effects of exposure.

The study covered workers employed in transformer and distribution stations, medium wave transmitting stations, radio-service and radio and TV multichannel broadcasting stations. In all the cases, exposure levels were considerably lower than those set as admissible according to the ICNIRP standards. Nevertheless changes in the circulatory system and a significant relationship between blood pressure and neurovegetative regulation disorders and exposure parameters were observed. The frequency of changes in the circulatory system was significantly dependent not only on the maximum EMF value, but also on its dose, which indicates that the hygiene standards for EMF cannot be limited only to short-term exposure maximum values, but they should be supplemented with dose-related standards. Med Pr 2003; 54 (3): 291—297

Key words: electromagnetic fields, hygiene standards, cardiovascular system

Nadesłano: 13.05.2003
Zatwierdzono: 30.05.2003
Adres autorów: Św. Teresy 8, 90-950 Łódź, e-mail: zmyslmar@imp.lodz.pl

WSTĘP

Celem standardów higienicznych jest zabezpieczenie osób eksponowanych przed negatywnymi skutkami ekspozycji na czynnik szkodliwy, występujący w środowisku pracy i środowisku komunalnym. W dziedzinie pól elektromagnetycznych (PEM) najbardziej znane na świecie są standardy przedstawione przez ICNIRP (1). Standard ICNIRP opracowany został w oparciu o analizę efektów biologicznych krótkotrwałego działania PEM i w związku z tym ograniczenia praktycznie dotyczą wartości maksymalnych, uśrednianych po krótkich – 6-minutowych przedziałach czasowych.

Należałoby oczekiwać, że praca w warunkach ekspozycji dopuszczalnej przez te standardy nie powinna wywoływać niekorzystnych skutków zdrowotnych. Jednakże coraz więcej wyników badań wskazuje na związek efektów biologicznych, a zwłaszcza skutków zdrowotnych, z czasem trwania ekspozycji (w ciągu doby czy w ciągu życia) (2).

Od 1993 r. w Instytucie Medycyny Pracy prowadzone są badania, których celem jest ocena skutków zdrowotnych ekspozycji zawodowej na PEM (ze szczególnym uwzględnieniem układu krążenia). Celem tych badań była ocena wpływu PEM na układ krążenia oraz sprawdzenie czy i w jakim stopniu częstotliwość PEM, poziom ekspozycji, zarówno chwilowej (wartości maksymalne) jak i przewlekłej (dozy dobowe i życiowe) wpływa na rodzaj występujących zaburzeń układu krążenia i regulacji neurowegetatywnej (3–9).

MATERIAŁ I METODY

Grupy badane

Dotychczas badaniami objęto 5 grup zawodowych:

- pracowników stacji elektroenergetycznych (SE) – ekspozycja na PEM o częstotliwości 50 Hz,

■ pracowników średniofalowych obiektów nadawczych (RON) – ekspozycja na PEM o częstotliwości około 1 MHz,

■ pracowników radioserwisów (R-S) – ekspozycja na PEM o częstotliwości około 160 MHz,

■ pracowników wieloprogramowych obiektów nadawczych (RTCN) – ekspozycja na PEM zakresu VHF (30–300 MHz) i UHF (0,3–3 GHz),

■ pracowników stacji linii radiowych (SLR) – brak ekspozycji na pola elektromagnetyczne, charakter i system pracy taki sam jak w obiektach z ekspozycją na PEM.

Łącznie badaniami objęto 287 mężczyzn. W obrębie zarówno grup eksponowanych jak i kontrolnej badanie miało charakter badania wyczerpującego, tzn. objęci nim byli wszyscy pracownicy (mężczyźni) z danego obiektu. Taki charakter badania umożliwiał porównanie częstości występowania chorób i dolegliwości ze strony układu krążenia w grupach eksponowanych i nieeksponowanej. Badania przeprowadzano wyłącznie wśród mężczyzn, gdyż stanowią oni większość pracowników zatrudnionych w badanych obiektach, a ze względu na zależną od płci zmienność niektórych analizowanych parametrów nie można było włączyć do badań kobiet.

Charakterystykę grup badanych przedstawiono w tabeli I.

We wszystkich grupach stosowano ten sam zestaw metod, co zapewniało możliwość porównywania wyników badań uzyskanych w grupach zawodowych eksponowanych na PEM o różnych parametrach. Badania były skoordynowane z systemem pracy w wybranych obiektach, odbywały się w dniu pracy na rannej zmianie po normalnym nocnym wypoczynku.

W badaniach zastosowano następujące metody:

■ **EKG spoczynkowe z analizą zmienności rytmu serca (HRV)**. W analizie HRV oceniano czaso- i częstotliwościowozależne parametry zmienności rytmu serca. W ramach czasowej analizy wyznaczano następujące parametry: wartość średniej odcinka R-R, odchylenia standardowego, wartości modalnej, mediany oraz wartości minimalnej i maksymalnej. Analizę widmową zmienności rytmu serca przeprowadzono za pomocą algorytmu Szybkiej Transformaty Fouriera (FFT) obliczając moc widma sygnału w trzech zakresach częstotliwości:.wysokiej (HF), która opisuje aktywność układu przywspółczulnego; niskiej (LF), która opisuje aktywność układu współczulnego oraz bardzo niskiej (VLF), która opisuje system termoregulacji i system renina-angiotensyna. Udział poszczególnych składowych obrazuje zależność między aktywnością układu współczulnego i przywspółczulnego w określonych stanach fizjologicznych i patologicznych (10).

■ **24-h EKG metodą Holtera**. W badaniach stosowano zestaw Medilog 3000 firmy Oxford. Zapisy klasyfikowano według norm zaproponowanych przez Polskie Towarzystwo Kardiologiczne (11).

■ **Długookresowa rejestracja ciśnienia tętniczego krwi (ABP)**. Do rejestracji stosowano zestaw Medilog ABP (Oxford). Pomiary odbywały się automatycznie, co 0,5 godziny w okresie aktywności dziennej i co godzinę podczas snu. W ciągu doby uzyskiwano w ten sposób ok. 40 pomiarów. Obliczano średnie tętno oraz ciśnienie skurczowe i rozkurczowe z całej doby (HRO, BPSO, BPDO), średnie tętno i ciśnienie z okresu aktywności dziennej (HRD, BPSD, BPDD) oraz z nocy (HRN, BPSN, BPDN), a także wskaźniki dzienno-nocnej zmienności tętna i ciśnienia skurczowego i rozkurczowego (HRD/HRN, BPSD/BPSN, BPDD/BPDN). W interpretacji wyników przyjęto za referencyjne wartości zalecane przez Stassene'a (12).

Przed badaniami elektrokardiologicznymi wszystkie osoby objęte były badaniem lekarskim z uwzględnieniem szczegółowego wywiadu, dotyczącego stwierdzonych chorób, czynników ryzyka oraz dolegliwości ze strony układu krążenia, stylu życia, nawyków żywieniowych, aktywności fizycznej i przyjmowanych używek. Wszystkie osoby badane były informowane o celu badania i wyraziły na nie zgodę.

■ **Ocena ekspozycji.** Dokonywana była na podstawie pomiarów maksymalnych wartości natężenia pola elektrycznego i magnetycznego (E_{max}, H_{max}), na jakie byli narażeni badani pracownicy oraz na podstawie oceny dawki (dozy) PEM (na zmianę roboczą i życiowej).

Ocena dawki PEM dokonywana była na podstawie pomiarów quasi-dozymetrycznych. Wymagały one:

Tabela I. Charakterystyka grup badanych

Cechy badane	Grupy eksponowane				Grupa kontrolna
	RON	R–S	RTCN	SE	RLS
Liczba osób	71	40	71	63	42
Wiek	46,9 ±1 3,1*	36,9 ± 11,5	45,3 ± 9,4	39,2 ± 9,9	40,7 ± 9,2*
Staż pracy	18,6 ± 12,1	12,5 ± 9,5	19,1 ± 8,8	14,9 ± 10,3	12,9 ± 4,0
Wskaźnik masy ciała (BMI)	26 ± 3,0	25 ± 3,0	26,9 ± 3,8	26 ± 4	25 ± 4
Odsetek osób palących >10 papierosów dziennie	47%	38%	24%	33%	38%
Odsetek osób zgłaszających spożywanie mocnych alkoholi co najmniej 1 raz w miesiącu	83%*	5%*	17%	29%*	65%*

Wskaźnik masy ciała (BMI) = masa ciała (kg)/wzrost (m)^2.
* Istotność statystyczna ($p < 0,05$).

1. Oszacowania czasu przebywania pracowników w ciągu zmiany roboczej w poszczególnych częściach obiektów (w przypadku stacji elektroenergetycznych były to trasy obchodu na rozdzielni, dyspozytornia, pomieszczenia socjalne, natomiast dla obiektów nadawczych teren ogrodzony obiektu, sale nadajników, pomieszczenia biurowe i socjalne). Cel ten realizowano przeprowadzając chronometraż czasu pracy wybranych pracowników oraz na podstawie wywiadu.

2. Wyznaczenia wartości średniej natężenia pola magnetycznego i elektrycznego ($E_{śr}$, $H_{śr}$) w ww. częściach obiektów. W praktyce cel ten realizowano wykonując pomiary w kilkunastu miejscach dostępnych dla pracowników w każdym z tych obszarów, a ich wyniki uśredniano po całym obszarze. W każdym z obszarów wyznaczano również wartość maksymalną pola, na jakie może być eksponowany pracownik.

W zależności od częstotliwości PEM, na jakie byli eksponowani badani pracownicy, pomiary natężenia pola elektrycznego i magnetycznego były wykonywane za pomocą następujących zestawów pomiarowych:

1. Miernik typ MNP89 prodzkcji Politechniki Wrocławskiej. Pozwala on na pomiar natężenia pola magnetycznego 50 Hz w zakresie od 0,01 A/m do 20 kA/m. Dokładność pomiaru wynosi ±10%.

2. Szerokopasmowy miernik natężenia pola elektrycznego, magnetycznego i gęstości mocy mikrofalowej typ MEH-1a nr 017 prod. Poltechniki Wrocławskiej, wyposażonego w sondy:

- typu AE-43 nr 017. Zestaw ten pozwala na pomiar natężenia pola elektrycznego w paśmie 50 Hz–50 kHz, w zakresie 0,2–20 kV/m. Dokładność pomiaru wynosi ±10% w swobodnej przestrzeni i ±3 dB w odległości 10 cm od pierwotnych lub wtórnych źródeł promieniowania;
- typ AE-1 i AE-2 nr 017 (do pomiaru natężenia pola elektrycznego) oraz AH-1 nr 017 (do pomiaru natężenia pola magnetycznego). Zestaw ten pozwala na pomiar pola elektrycznego o częstotliwości od 100 kHz do 300 MHz w zakresie 0,2 V/m do 1000 V/m oraz natężenia pola magnetycznego o częstotliwości od 100 kHz do 10 MHz w zakresie od 0,5 A/m do 250 A/m, z dokładnością pomiaru ±10% w wolnej przestrzeni i ±3 dB w odległości 0,1 m od pierwotnych lub wtórnych źródeł promieniowania;
- typ 3AE-12 nr 017 o charakterystyce izotropowej. Zestaw ten pozwala na pomiar natężenia pola elektrycznego o częstotliwości od 1 MHz do 600 MHz w zakresie 1,5 V/m do 180 V/m z dokładnością pomiaru ±10% w wolnej przestrzeni i ±3dB w odległości 0,1 m od pierwotnych lub wtórnych źródeł promieniowania;
- typ 3AS-2 nr 017 o charakterystyce izotropowej. Zestaw ten pozwala na pomiar gęstości mocy mikrofalowej od 0,01 W/m^2 do 17 W/m^2 w zakresie częstotliwości od 0,4 do 18 GHz. Niedokładność pomiaru wynosi ±15% w wolnej przestrzeni i ±4dB w odległości 0,1 m od pierwotnych lub wtórnych źródeł promieniowania;
- zestaw aparatury firmy Holaday Ind. (USA), w skład którego wchodzi:

– izotropowy, szerokopasmowy miernik natężenia pola HI 3002,

– 2 sondy pomiarowe (typ STE Serial #1247HR dla pola E oraz typ LFH Serial # 173-22 dla pola H),

Zestaw ten umożliwia pomiar kwadratu natężenia pola elektrycznego od 500 V^2/m^2 do 10^{7}V^2/m^2 (co odpowiada 22,36–32162 V/m) w zakresie częstotliwości 0,5 MHz do 6 GHz, z dokładnością ±0,5–2 dB oraz kwadratu natężenia pola magnetycznego od 0,05 A^2/m^2 do 1000 A^2/m^2 (co odpowiada 0,22–31,6 A/m.) w zakresie częstotliwości od 500 kHz do 10 MHz, z dokładnością ±2 dB.

Na podstawie pomiarów uzyskiwano następujące dane na temat ekspozycji badanych pracowników: E_{max}, H_{max}, $E_{śr}$, $H_{śr}$, dawka (doza) na zmianę roboczą H_{doza} i E_{doza}, dawka (doza) życiowa. W przypadku obiektów wieloprogramowych dokonywano również retrospektywnej oceny ekspozycji, gdyż w różnych okresach ich eksploatacji występowały źródła emitujące PEM o różnych częstotliwościach. Szczegóły tej retrospektywnej oceny ekspozycji przedstawiono w innej publikacji (13).

WYNIKI

Ocena ekspozycji badanych pracowników wykazała, że byli oni poddani działaniu PEM o wartościach znacznie niższych niż dopuszczalne przez normatywy ICNIRP. Według przepisów polskich wartości maksymalne PEM odpowiadały co najwyżej strefie zagrożenia (przy czym wskaźniki ekspozycji nigdy nie były większe od 1). Mimo, że poziom ekspozycji nie przekraczał wartości dopuszczalnych przez przepisy higieniczne, w badanych grupach wzrastało ryzyko zaburzeń funkcjonowania układu krążenia i regulacji neurowegetatywnej (3–9).

U osób eksponowanych na PEM o częstotliwości 50 Hz ryzyko zmian elektrokardiograficznych było nieistotnie wyższe niż w grupie porównawczej i wynosiło 1,4. Ekspozycja na PEM sieciowe powodowała natomiast istotny wzrost odsetka osób z podwyższonym ciśnieniem tętniczym wykrytym w badaniu ABP. Także rytm dobowy ciśnienia tętniczego krwi w grupie eksponowanej był istotnie różny niż w kontrolnej (wyższe wartości ciśnienia skurczowego i rozkurczowego w nocy, mniejszy nocny spadek ciśnienia, większy odsetek osób bez nocnego spadku ciśnienia). W grupie eksponowanej stwierdzono także zaburzenia regulacji neurowegetatywnej. Odsetek osób z obniżoną zmiennością rytmu serca i przewagą układu współczulnego był w tej grupie istotnie wyższy niż w grupie kontrolnej.

U osób eksponowanych na PEM o częstotliwości z zakresu średniofalowego stwierdzono istotnie większy niż w grupie kontrolnej odsetek osób ze zmianami elektrokardiograficznymi, głównie komorowymi zaburzeniami rytmu serca, przy niższej częstości skurczów serca. Ryzyko tych zaburzeń (OR) wynosiło 6,5 (3). W grupie eksponowanej nie stwierdzono większej niż w grupie kontrolnej częstości występowania podwyższonego ciśnienia tętniczego krwi, zaobserwowano natomiast zaburzenia rytmu dobowego

ciśnienia (4). W tej grupie stwierdzono również zależne od poziomu ekspozycji zaburzenia regulacji neurowegetatywnej, ocenianej z zastosowaniem analizy zmienności rytmu serca (HRV) (8).

W grupie eksponowanej na PEM o częstotliwości ok. 160 MHz (radioserwisy) stwierdzono wzrost częstości zaburzeń repolaryzacji wykrywanych 24-h EKG (OR = 2,0), ale nie był on statystycznie istotny. Natomiast istotnie więcej było osób z podwyższonym ciśnieniem tętniczym krwi stwierdzonym w badaniu ABP (4). Analiza HRV wykazała, że w tej grupie mechanizm obserwowanych zaburzeń ciśnienia tętniczego krwi był związany z nadmierną aktywacją współczulnej części autonomicznego układu nerwowego oraz układu renina-angiotensyna.

W grupie eksponowanej na PEM z zakresu UHF i VHF stwierdzono istotne zaburzenia ciśnienia tętniczego krwi i jego regulacji (OR podwyższonego ciśnienia tętniczego krwi wynosiło 8,6). Odsetek osób z podwyższonym ciśnieniem w badaniu ABP w grupie eksponowanej był istotnie wyższy niż w grupie kontrolnej (70% vs. 23%), natomiast odsetek osób z podwyższonym (≥140/90 mm Hg) ciśnieniem tętniczym krwi w jednorazowym pomiarze metodą tradycyjną wynosił odpowiednio 34% i 19%.

OMÓWIENIE

Analiza zależności zmian w układzie krążenia od parametrów ekspozycji:

Ryzyko zaburzeń w układzie krążenia w zależności od ekspozycji na PEM o częstotliwości 50 Hz

Wyniki oceny ekspozycji pracowników stacji elektroenergetycznych na PEM przedstawiono w tabeli II.

Analizując zależność między parametrami ekspozycji a zmianami w układzie krążenia stwierdzono, że:

- Od stażu pracy w narażeniu istotnie zależało ciśnienie rozkurczowe z okresu całej doby (p = 0,023), z okresu dnia (p = 0,05) i nocy (p = 0,01);
- Od maksymalnego natężenia pola elektrycznego (E_{max}) istotnie zależało ciśnienie skurczowe i rozkurczowe w nocy (odpowiednio (p = 0,043 i p = 0,026);
- Od wartości maksymalnej indukcji magnetycznej (B_{max}) istotnie zależało ciśnienie rozkurczowe w nocy (p = 0,023) i ciśnienie skurczowe w nocy (p = 0,042).

Tabela II. Dane dotyczące ekspozycji pracowników badanych stacji elektroenergetycznych

Parametry ekspozycji		Poziom ekspozycji
Wartość maksymalna E_{max}	kV/m	4,3–6,7
Wartość maksymalna H_{max}	A/m	21–39
Średnia ważona wartość $E_{śr.}$	kV/m	0,03–1,9
Średnia ważona wartość $H_{śr.}$	A/m	0,2–3,9
Wskaźnik ekspozycji E na zmianę roboczą	(kV/m)h	0,2–15,2
Wskaźnik ekspozycji H na zmianę roboczą	(A/m)h	1,1–31,0

Nie stwierdzono istotnej zależności parametrów opisujących stan funkcjonalny układu krążenia od dozy E i dozy B.

Z uwagi na to, że brak jest danych na temat mechanizmu działania PEM na układ krążenia (istnieje teoretyczna możliwość działania każdej ze składowych oddzielnie jak i ich działania synergistycznego) prześledzono zależność parametrów charakteryzujących jego funkcję od obu składowych pola (E i B) jednocześnie. Stwierdzono, że tylko ciśnienie skurczowe w nocy zależy jednocześnie, istotnie od E_{max} i B_{max} (p = 0,034).

W drugim etapie analizy podzielono grupę eksponowaną na trzy podgrupy ze względu na wielkość ekspozycji na pole elektryczne wyrażone jako doza E na zmianę roboczą. Porównywano 4 podgrupy o różnym poziomie ekspozycji na pole elektryczne:

Stwierdzono, że podgrupy te nie różniły się istotnie wiekiem, stażem pracy, wskaźnikiem masy ciała BMI, nawykiem palenia tytoniu ani picia alkoholu (z wyjątkiem grupy kontrolnej, w której nawyk ten był częstszy niż w podgrupach eksponowanych).

Porównanie częstości występowania zmian w układzie krążenia opisanych za pomocą zmiennych dyskretnych pozwoliło stwierdzić, że w grupach o wyższym narażeniu istotnie więcej osób zgłaszało dolegliwości ze strony układu krążenia (p = 0,04). Także więcej zaburzeń pracy serca wykrytych w spoczynkowym lub 24 h zapisie EKG występowało u osób o większym narażeniu, różnica nie była jednak istotna statystycznie

Odsetek osób z obniżoną zmiennością rytmu serca istotnie wzrastał (p = 0,029) ze wzrostem ekspozycji.

Nie stwierdzono istotnych różnic w odsetku osób z podwyższonym ciśnieniem skurczowym lub rozkurczowym w ciągu dnia i w ciągu całej doby w poszczególnych podgrupach. Jednak mimo braku istotności, odsetek osób z podwyższonym ciśnieniem (zwłaszcza skurczowym) w grupie o najwyższej ekspozycji był 2–4-krotnie wyższy niż w grupie kontrolnej.

Więcej osób bez nocnego spadku ciśnienia skurczowego stwierdzono we wszystkich podgrupach eksponowanych w porównaniu z grupą kontrolną, różnica nie była jednak istotna statystycznie. Natomiast odsetek osób bez nocnego spadku ciśnienia rozkurczowego krwi był wyższy w grupach eksponowanych w porównaniu z grupą kontrolną.

Średnie wartości ciśnienia skurczowego w ciągu całej doby, w ciągu dnia i w nocy oraz ciśnienia rozkurczowego w dzień i w ciągu doby były istotnie wyższe w podgrupach o największej ekspozycji.

Częstość skurczów serca z całej doby i z okresu nocy nie różniła się istotnie w poszczególnych grupach. Wskaźnik dzienno-nocnej zmienności tętna był istotnie niższy w podgrupach o największej ekspozycji.

Analizując przebieg zmiennych ciągłych opisujących zmienność rytmu serca w poszczególnych podgrupach stwierdzono, że żaden z parametrów czasozależnych nie zmieniał się istotnie wraz ze wzrostem ekspozycji. Zwraca

uwagę, że choć nieznamiennie, jednak średnia częstość skurczów serca w spoczynku wzrastała, a odchylenie standardowe R-R obniżało się wraz ze wzrostem narażenia.

Wśród częstotliwościowo-zależnych parametrów zmienności rytmu serca istotnie zwiększała się (p = 0,026) moc widma bardzo niskiej częstotliwości (VLF).

Ze względu na to, że pracownicy stacji transformatorowo-rozdzielczych byli eksponowani zarówno na pole elektryczne jak i magnetyczne, grupę badaną podzielono również na podgrupy ze względu na wielkość ekspozycji na pole magnetyczne wyrażone jako doza B na zmianę roboczą. Podział na podgrupy ze względu na narażenie na pole magnetyczne (B) okazał się analogiczny do podziału uwzględniającego ekspozycję na pole elektryczne (E); w poszczególnych podgrupach bez względu na zastosowane kryterium ekspozycji (pole E czy B) znajdowali się ci sami ludzie. Wyniki analizy statystycznej były więc w obu przypadkach takie same. W związku z tym nie można ocenić, która ze składowych PEM jest odpowiedzialna za obserwowane efekty.

Ryzyko zaburzeń w układzie krążenia w zależności od ekspozycji na PEM o częstotliwości 1MHz i 160 MHz

Wyniki oceny ekspozycji pracowników nadawczych obiektów średniofalowych na PEM przedstawiono w tabeli III. Ze względu na elektryczny charakter źródeł PEM przy ocenie ekspozycji uwzględniono jedynie składową elektryczną.

W grupie pracowników średniofalowych ośrodków nadawczych (RON) stwierdzono, że wraz ze wzrostem E_{max} obniżała się moc widma wysokiej częstotliwości (spadała aktywność układu przywspółczulnego) (p = 0,03). Wzrastał natomiast wskaźnik LF/HF (p = 0,01), który opisuje udział poszczególnych składowych autonomicznego układu nerwowego w regulacji układu krążenia. Także wskaźnik dobowej zmienności ciśnienia tętniczego (BPSD/BPSN) istotnie obniżał się wraz ze wzrostem E_{max} (p = 0,048).

W badanej grupie wraz ze wzrostem E_{max} istotnie wzrastało ciśnienie skurczowe w nocy.

Od dozy na zmianę roboczą istotnie zależny był wskaźnik BPSD/BPSN (p = 0,05), natomiast korelacja z dawką życiową była na granicy istotności (p = 0,06).

Zależność od dozy na zmianę roboczą stwierdzono również dla BPSN (p = 0,004), ale po wyeliminowaniu wpływu wieku zależność ta była na granicy istotności statystycznej (p = 0,06).

Tabela III. Dane o ekspozycji na PEM pracowników średniofalowych obiektów nadawczych

Parametry ekspozycji		Poziom ekspozycji	
		zakres	AVG ± STD
Wartość maksymalna E_{max}	V/m	20–550	164,6 ± 187,0
Dawka E na zmianę roboczą	(V/m)h	50–260	113,3 ± 75,4

AVG – wartość średnia.
STD – odchylenie standardowe.

W grupie pracowników radioserwisów (R-S) nie dokonywano analizy zależności między parametrami opisującymi układ krążenia a parametrami charakteryzującymi ekspozycję. Specyfika pracy w tej grupie polega na narażeniu okresowym związanym z testowaniem naprawianego sprzętu. W związku z tym z powodu braku indywidualnych dozymetrów trudno było dokonać precyzyjnej oceny ekspozycji pracowników.

Ryzyko zaburzeń w układzie krążenia w zależności od ekspozycji na PEM z zakresu UHF+VHF

Ze względu na szerokie widmo PEM, występujących w wieloprogramowych obiektach nadawczych, wielkość ekspozycji charakteryzowano oddzielnie dla zakresu UHF, VHF oraz sumarycznie dla UHF + VHF. Elektryczny charakter źródeł PEM powoduje, że składowa magnetyczna PEM może być pomijana w stosunku do elektrycznej. Z uwagi na fakt, że skutki zdrowotne mogą być efektem zarówno kumulacyjnego działania PEM jak i działania ostrego przy ocenie uwzględniono następujące parametry:

- doza życiowa E – E_{doza}.
- średnia ważona wartość E (na obiekcie) – $E_{śr}$.
- maksymalna wartość E (na obiekcie) – E_{max}.

Wyniki oceny ekspozycji na PEM pracowników wieloprogramowych obiektów nadawczych przedstawiono w tabeli IV.

W analizie nie uwzględniono stażu pracy, gdyż jest on bardzo ściśle związany z wiekiem. W przypadku przeprowadzonych badań nie można wyeliminować wpływu wieku na uzyskane wyniki, gdyż w badanych obiektach jest duża stabilność zatrudnienia, pracownicy najczęściej zatrudnieni są w jednym obiekcie przez cały okres swojej aktywności zawodowej, nie ma więc osób starszych o krótkim stażu pracy. Ze względu na to, że wiek istotnie wpływa na funkcjonowanie układu krążenia, wyciąganie wniosków, dotyczących związku zaburzeń w układzie krążenia ze stażem pracy, bez możliwości wyeliminowania wpływu wieku, obarczone byłoby dużym błędem. Wpływ stażu pracy nie został jednak całkowicie pominięty, gdyż uwzględniony był przy obliczaniu dozy życiowej.

Analiza zależności między zaburzeniami w układzie krążenia i regulacji neurowegetatywnej a wielkością ekspozycji była przeprowadzono w kilku etapach: dla częstotliwości UHF, VHF oraz UHF + VHF. Za kryterium podziału na grupy przyjmowano wartości progowe poszczególnych parametrów określających poziom ekspozycji. W każdym etapie analizy eliminowano wpływ wieku na wynik końcowy. Ze względu na ograniczone ramy tej publikacji przedstawiono tylko końcowe wyniki analizy.

Stwierdzono, że od parametrów ekspozycji na PEM zależały przede wszystkim zaburzenia regulacji ciśnienia tętniczego:

- ryzyko zaburzeń ciśnienia tętniczego krwi istotnie wzrastało wraz ze wzrostem dozy życiowej w zakresie UHF (OR = 2,6), VHF (OR = 2,3), UHF + VHF (OR = 2,3), a także wraz ze wzrostem $E_{śr}$ w zakresie UHF (OR = 2,3) i VHF (OR = 2,5);

Tabela IV. Dane o ekspozycji na PEM pracowników badanych wieloprogramowych obiektach nadawczych

Grupy badane		Zakresy częstotliwości								
		UHF	VHF	UHF + VHF	UHF	VHF	UHF + VHF	UHF	VHF	UHF +VHF
		doza życiowa V^2h/m^2			średnia ważona V/m			wartość maksymalna V/m		
Grupa 0		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Grupa I	AVG	287,9	6569,6	6848,3	0,1	0,3	0,3	5,3	5,9	7,9
	STD	303,6	8848,4	9025,9	0,1	0,3	0,3	6,9	6,7	5,7
Grupa II	AVG	130129,6	640583,1	771199,9	1,1	2,5	2,7	6,8	15,2	16,7
	STD	86115,6	423505,5	509990,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
p		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	ns

AVG – wartość średnia.
STD – odchylenie standardowe.

■ ryzyko zaburzeń regulacji ciśnienia krwi (brak nocnego spadku ciśnienia) istotnie wzrastało wraz ze wzrostem dozy życiowej w zakresie UHF (OR = 2,6), a także wraz ze wzrostem $E_{śr}$ w zakresie VHF (OR = 2,1).

Ponadto stwierdzono istotny wzrost ryzyka obniżonej zmienności rytmu serca (OR = 5,0, p = 0,05) związany ze wzrostem E_{max} w zakresie UHF+VHF.

Wraz ze wzrostem dozy życiowej w zakresie UHF+VHF istotnie wzrastało ryzyko wystąpienia zaburzeń elektrokardiograficznych (EKG i/lub 24-h EKG) (OR = 2,64, p = 0,012) oraz zaburzeń regulacji neurowegetatywnej.

Przeprowadzona analiza wykazała, że zaburzenia w układzie krążenia były istotnie związane z ekspozycją na PEM z zakresu UHF+VHF. Wszystkie rodzaje zaburzeń (zaburzenia elektrokardiograficzne, zaburzenia ciśnienia tętniczego krwi i jego regulacji oraz zaburzenia regulacji neurowegetatywnej) istotnie korelowały z wybranymi parametrami ekspozycji. Najlepiej te zależności uwidaczniały się w zakresie UHF, zwłaszcza w odniesieniu do dozy życiowej, która determinowała wzrost ryzyka zarówno zaburzeń w EKG jak i zaburzeń ciśnienia tętniczego i regulacji neurowegetatywnej. W pozostałych zakresach doza życiowa korelowała z zaburzeniami w EKG lub zmianami ciśnienia tętniczego krwi.

Wartości $E_{śr}$ w zakresie UHF i VHF korelowały ze wzrostem ryzyka zaburzeń ciśnienia tętniczego krwi, a w zakresie UHF+VHF tylko z obniżoną zmiennością rytmu serca.

Uzyskane wyniki w grupie pracowników eksponowanych na PEM z zakresu UHF+VHF wskazują, że zaburzenia w układzie krążenia istotnie korelowały z parametrami charakteryzującymi ekspozycję, przede wszystkim z dozą życiową i $E_{śr}$, a w najmniejszym stopniu z E_{max}.

WNIOSKI

1. We wszystkich grupach badanych wykazano istotną zależność między zaburzeniami w układzie krążenia i regulacji neurowegetatywnej a parametrami charakteryzującymi ekspozycję.

2. Częstość zmian w układzie krążenia była istotnie zależna nie tylko od wartości maksymalnych PEM, ale także od dozy PEM.

3. Standardy higieniczne dla PEM nie mogą ograniczać się jedynie do chwilowych wartości maksymalnych i należałoby je uzupełnić normami dotyczącymi dozy.

PIŚMIENNICTWO

1. ICNIRP: Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Physics 1998; 74 (4): 494–522.
2. Szmigielski S., Sobiczewska E.: Współczesne koncepcje ochrony pracowników i ludności przed polami EM w krajach Unii Europejskiej. Med. Pr. 2003; 54 (2): 169–174.
3. Bortkiewicz A., Zmyślony M. Gadzicka E. Ocena wybranych parametrów układu krążenia pracowników różnych grup zawodowych eksponowanych na pola elektromagnetyczne wielkiej częstotliwości. II. Zmiany elektrokardiograficzne. Med. Pr. 1996; 3: 241–252.
4. Gadzicka E., Bortkiewicz A., Zmyślony M.: Ocena wybranych parametrów układu krążenia pracowników różnych grup zawodowych eksponowanych na pola elektromagnetyczne wielkiej częstotliwości. III. 24-h monitorowanie ciśnienia tętniczego krwi. Med. Pr. 1997; 1: 17–24.
5. Bortkiewicz A., Zmyślony M., Gadzicka E.: Ekspozycja na pola elektromagnetyczne o częstotliwości 50 Hz a zmiany w układzie krążenia u pracowników stacji elektroenergetycznych. Med. Pr. 1998; 3: 261–275.
6. Szmigielski S., Bortkiewicz A., Gadzicka E., Zmyślony M., Kubacki R.: Alteration of diurnal rhythms of blood pressure and heart rate in workers exposed to radiofrequency electromagnetic fields. Blood Pressure Monitoring 1998; 3: 323–330.
7. Bortkiewicz A., Zmyślony M., Pałczyński C., Gadzicka E., Szmigielski S.: Dysregulation of Autonomic Control of Cardiac Function in Workers at AM Broadcast Stations (0.738–1.503 MHz). Electro Magnetobiol. 1995; 3: 177–191.

8. Bortkiewicz A., Gadzicka E., Zmyślony M.: Heart rate variability in workers exposed to medium-frequency electromagnetic fields. J. Auton. Nervous System 1996; 59: 91–97.
9. Bortkiewicz A., Zmyślony M. Gadzicka E., Pałczyński C.: Ambulatory ECG monitoring in workers exposed to MF electromagnetic fields. J. Med. Eng. Technol. 1997; 21: 41–46.
10. Malik M.: Heart rate variability, standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Circulation 1996; 5: 1043–1065.
11. Piotrowicz R.: Standardy postępowania dotyczące wybranych zagadnień elektrokardiologii nieinwazyjnej. Elektrofizjol. Stymul. Serca 1998; 5 (Supl. II): 1–49.
12. Staessen J., Fagard R., Lijnen P., Thijs L., Van Hoof R., Amery A.: Reference values for ambulatory blood pressure: a meta-analysis. J. Hypertension 1990; 8 (Supl. 6): S57–S64.
13. Zmyślony M., Aniołczyk H., Bortkiewicz A.: Wpływ pola elektromagnetycznego zakresu VHF i UHF na układ krążenia i regulację neurowegetatywną pracowników radiowo-telewizyjnych centrów nadawczych. I. Ocena ekspozycji. Med. Pr. 2001; 52 (5): 321–327.