

## Wpływ odległości od urządzeń emitujących promieniowanie elektromagnetyczne na metabolizm tlenowy wybranych elementów morfotycznych krwi

**Streszczenie.** Skutki oddziaływania promieniowania elektromagnetycznego na organizm człowieka są przedmiotem wielu doniesień. W artykule przedstawiono wyniki badań *in vitro* mających na celu określenie wpływu promieniowania elektromagnetycznego emitowanego przez wybrane urządzenia codziennego użytku na generację wolnych rodników w krwinkach płytkowych człowieka biorąc pod uwagę odległość od urządzenia.

**Abstract.** The results of the influence of electromagnetic radiation on the human body are an object of many works, research, and reports. The work presents the results of *in vitro* research aimed at the determination of the influence of electromagnetic radiation emitted by selected everyday devices on the generation of free radicals in human blood platelets, considering the distance from the device resulting from their conditions of use. (*Influence of the distance from devices emitting electromagnetic radiation to oxidative metabolism of selected morphotic blood element*)

**Słowa kluczowe:** promieniowanie elektromagnetyczne, wolne rodniki, metabolizm tlenowy, środowisko człowieka

**Keywords:** electromagnetic radiation, free radicals, oxygen metabolism, human environment

doi:10.12915/pe.2014.06.36

### 1. Wstęp

Promieniowanie elektromagnetyczne (PEM), w zależności od parametrów takich jakich jak częstotliwość oraz natężenie, może w bardzo zróżnicowany sposób oddziaływać na organizmy żywe. Energia pól elektromagnetycznych absorbowana bezpośrednio w organizmie może być przyczyną niepożądanych zmian stanu czynnościowego komórek, narządów, a nawet całego organizmu człowieka. Najbardziej narażonymi na działanie promieniowania elektromagnetycznego są: układ krążenia, układ limfatyczny, układ nerwowy czy też układ wydzielania wewnętrznego [1-3].

Wiele urządzeń wykorzystywanych na co dzień przez człowieka generuje promieniowanie elektromagnetyczne. Zaliczyć do nich możemy: telefony komórkowe, sprzęt AGD czy też sprzęt komputerowy. Szerokie rozpowszechnienie źródeł PEM i urządzeń emitujących sprawia, że nie jest możliwe uniknięcie narażenia na pole elektromagnetyczne, jednakże nowe rozwiązania techniczne pozwalają na maksymalne zmniejszenie oddziaływania promieniowania na organizm człowieka [3].

Sprzęt elektryczny codziennego użytku, wyposażony w silniki elektryczne prądu przemiennego wytwarza pole elektromagnetyczne z dominującą składową magnetyczną o częstotliwości 50 Hz. Jako przykładowe obiekty badań wykorzystano wentylator stołowy oraz odkurzacz.

Krwinki jako element morfotyczny krwi biorą czynny udział w procesach homeostazy organizmu człowieka. Uczestniczą w sposób bezpośredni lub pośredni w wielu procesach fizjologicznych i patologicznych organizmu. Na ich aktywność metaboliczną mogą mieć wpływ zarówno czynniki wewnętrzne jak i zewnętrzne, a wśród tych drugich promieniowanie elektromagnetyczne. Zaobserwowano, że PEM o określonych parametrach może prowadzić do zwiększenia generacji wolnych rodników tlenowych [4]. Dlatego celem opracowania było określenie wpływu promieniowania elektromagnetycznego, podczas korzystania z wybranych urządzeń codziennego użytku, na zmiany generacji wolnych rodników oraz stężenie dialdehydu malonowego w ludzkich krwinkach płytkowych.

### 2. Materiał i metody badań

Materiał do badań stanowiła zawiesina ludzkich krwinek płytkowych o stężeniu  $1 \times 10^9 / \text{cm}^3$  pozyskiwana na drodze

manualnej aferezy z krwi pełnej od honorowych dawców krwi. Były nimi osoby zdrowe, w przedziale 20-38 lat, u których uprzednio wykonano podstawowe badania internistyczne oraz laboratoryjne. Krwinki płytkowe przemywano trzykrotnie, a następnie oznaczano stężenie białka płytkowego przy użyciu zestawu do oznaczania białka całkowitego Liquick Cor - Total Protein firmy PZ Cormay S.A.

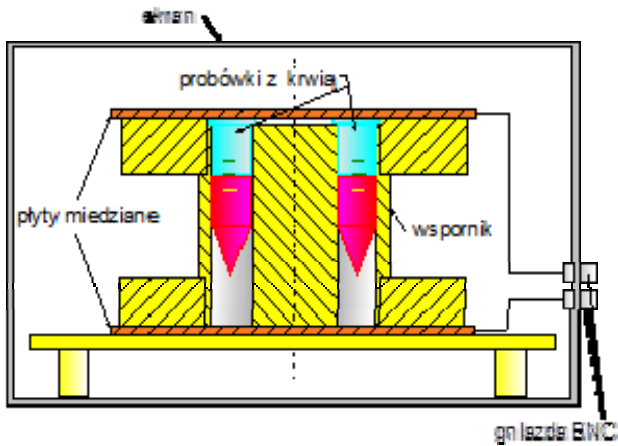
Emitowane promieniowanie elektromagnetyczne wymienionych urządzeń zmierzono i odwzorowano jego parametry w warunkach laboratoryjnych. Do analizy rozkładu pola zastosowano zestaw analizatorów pola SPECTRAN NF-5035 oraz HF-6065 firmy AARONIA spełniający odpowiednie normy. Do określenia kształtu pola elektromagnetycznego wykorzystano zestaw anten nadawczo-odbiorczych HIK-530 współpracujących z analizatorem widma sygnału elektrycznego firmy Rodeschwarz.

Badania autorów wykazały, że przy prawidłowym użytkowaniu przez człowieka tych sprzętów, wartość indukcji magnetycznej (mierzonej na wysokości klatki piersiowej) dla wentylatora wynosi 10mT przy odległości 70 cm od urządzenia, a dla odkurzacza 1 mT przy odległości 150 cm. Natomiast kształt impulsu jest odpowiednio sinusoidalny i prostokątny.

Pole elektromagnetyczne o żądanych parametrach zostało odwzorowane w warunkach laboratoryjnych.

Głównym elementem stanowiska badawczego były cewki Helmholtza, które wytwarzały pole elektromagnetyczne działające na krwinki płytkowe umieszczone w polietylenowych probówkach. Każda z nich zawierała maksymalnie 3 ml preparatu. Wymiary geometryczne cewek oraz ich odległość były dobrane tak, aby składowa magnetyczna pola, która stymulowała preparat miała przebieg jednorodny i charakteryzowała się indukcją magnetyczną o wartościach wyżej określonych.

Badanie przeprowadzano w następujący sposób: polietylenową probówkę zawierającą do 3 ml preparatu krwinkowego umieszczano w stanowisku badawczym i poddawano ekspozycji na pole elektromagnetyczne o zadanych parametrach przez 30 minut.



Rys. 1. Stanowisko badawcze

Pomiaru generacji wolnych rodników dokonywano metodą chemiluminescencji w próbce badanej i kontrolnej. Wykorzystano luminometr Lumicom firmy Hamilton. Dokonywano jednoczesnego sekwencyjnego pomiaru dla 6 próbek.

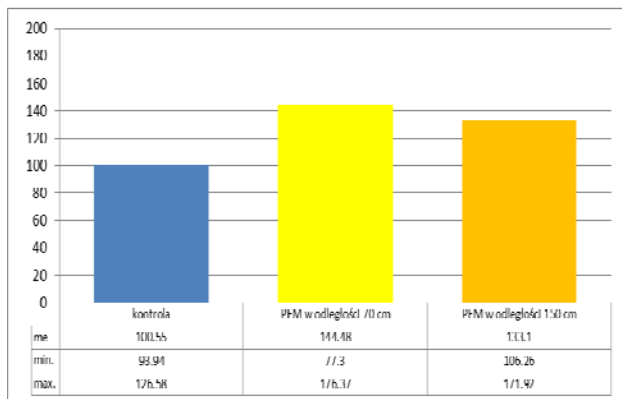
W celu oznaczenia stężenia dialdehydu malonowego dokonano pomiaru absorbancji przy użyciu spektrofotometru Cary 100 Bio firmy Varian o długości fali 532nm wobec próby kontrolnej. Otrzymane wartości przedstawiono w  $\text{nmol}/10^9$  płytek [5].

Uzyskane wyniki badań poddano analizie statystycznej. Zastosowano test U. Manna – Whitneya oraz Anova rang Kruskala – Wallisa. Przyjęto poziom ufności  $p < 0,05$ .

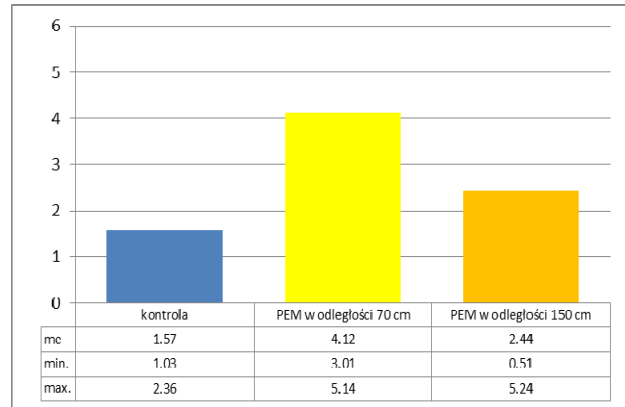
### 3. Wyniki badań

Nie zależnie od zastosowanej odległości od emitera pola elektromagnetycznego zaobserwowano istotny statystycznie wzrost generacji wolnych rodników w stosunku do wartości kontrolnych. Największy przyrost otrzymano przy odległości 70 cm od źródła PEM, a wartość generacji wolnych rodników wzrosła o 43,7% (z  $m_e=100,55$  na  $m_e=144,48$ ). Przy odległości 150cm od emitera uzyskano nieco mniejszy przyrost generacji wolnych rodników (o 31%) w eksponowanych krwinkach płytkowych (rys. 2).

Po 30 minutowej ekspozycji na PEM generowane przez emiter umieszczony w odległości 70 cm zaobserwowano wzrost stężenia dialdehydu malonowego o 162% w stosunku do wartości kontrolnych (z  $m_e=1,57$  na  $m_e=4,12$   $\text{nmol}/10^9$  płytek). Natomiast w odległości 150 cm od źródła PEM stężenie MDA w krwinkach płytkowych wynosiło  $m_e=2,44$   $\text{nmol}/10^9$  płytek, co stanowi 55% wzrost w stosunku do wartości wyjściowych (rys.3).



Rys. 2. Zmiany generacji wolnych rodników w krwinkach płytkowych w zależności od zastosowanej odległości od emitera promieniowania elektromagnetycznego. Wartości wyrażone w tysiącach impulsów/30min



Rys.3. Stężenie dialdehydu malonowego w krwinkach płytkowych w zależności od zastosowanej odległości od źródła promieniowania elektromagnetycznego. Wartości podane w  $\text{nmol}/10^9$  płytek

### 4. Dyskusja

Liczne badania [6-9], w tym własne [10,11], potwierdzają, że promieniowanie elektromagnetyczne indukuje stres oksydacyjny. Negatywnym skutkiem tego działania jest zachwianie równowagi biologicznej, która istnieje pomiędzy powstawaniem wolnych rodników a ich unieszkodliwianiem. Następstwem tego stanu jest powstawanie nadmiernej ilości wolnych rodników tlenowych. Są to atomy lub cząsteczki posiadające na zewnętrznej orbicie pojedynczy elektron. Dążąc do przyłączenia lub oddania elektronu wykazują dużą aktywność chemiczną utleniając każdy związek z którym mają kontakt. Obiektem ataków wolnych rodników w organizmie człowieka są głównie związki posiadające w cząsteczkach wiązania podwójne jak: białka lub nienasycone kwasy tłuszczowe wchodzące w skład błon komórkowych. Błony komórkowe pod wpływem wolnych rodników ulegają uszkodzeniu na skutek nadmiernej peroksydacji lipidów.

Oddziaływanie na organizm ludzki pól elektromagnetycznych o częstotliwości sieciowej (50 Hz) budzi największą dyskusję. Przede wszystkim ze względu na mnogość emiterów w otoczeniu człowieka. PEM o częstotliwości 50Hz, występujące w otoczeniu linii elektroenergetycznych i stacji transformatorowo-rozdzielczych, uznane zostało przez wielu badaczy jako rakotwórcze [12]. Jednak ze względu na nieznaną mechanizm działania oraz brak możliwości wywołania tym polem nowotworów u zwierząt laboratoryjnych można jedynie twierdzić, że jest ono przypuszczalnie rakotwórcze (klasyfikacja Międzynarodowej Agencji Badań nad Rakiem – IARC) [13]. Pojedyncze badania wskazują, że domowa ekspozycja na pola magnetyczne 50/60Hz zwiększa ryzyko zachorowania dzieci oraz dorosłych na białaczkę i guza mózgu, a próg tego efektu występuje już dla indukcji 0,3–0,4  $\mu\text{T}$  [14]. Poza kancerogennymi skutkami ekspozycji na PEM o częstotliwości sieciowej wykazano wpływ tego rodzaju promieniowania na funkcjonowanie centralnego układu nerwowego poprzez zwiększenie ryzyka wystąpienia zaburzeń psychiatrycznych zwłaszcza depresji [13].

Lai i współautorzy udowodnili, że promieniowanie o częstotliwości sieciowej i składowej magnetycznej indukcji 0,1-0,5 mT wywoływało wystąpienie stresu oksydacyjnego w komórkach mózgu szczurów [15].

W badaniach własnych również wykazano, że ekspozycja na PEM o częstotliwości sieciowej oraz indukcji magnetycznej 10 i 1 mT powodowała wzrost generacji wolnych rodników w krwinkach płytkowych człowieka. Podobne wyniki uzyskał Jankowski i współautorzy [4].

Wzrost stężenia dialdehydu malonowego, będącego jednym z końcowych produktów procesu peroksydacji lipidów, w połączeniu ze zwiększoną generacją reaktywnych form tlenowych (RFT), świadczy o uszkodzeniu błon komórkowych przez te ostatnie. W badaniach własnych wykazano istotny statystycznie wzrost stężenia dialdehydu malonowego w krwinkach płytkowych po ekspozycji na PEM, zarówno w odległości 70 jak i 150 cm od emitera. Zmiany te mogą świadczyć o zachwianiu obronnych możliwości komórki, której mechanizmy zabezpieczają między innymi przed utlenieniem składników błon komórkowych.

Balci i wsp. w eksperymencie przeprowadzonym na komórkach soczewek i rogówek szczurów dowiedli negatywnego wpływu promieniowania na równowagę prooksydacyjno - antyoksydacyjną. Autorzy ci odnotowali wzrost stężenia MDA u szczurów ekspozowanych na promieniowanie emitowane z odległości 20 cm od emitera [16]. W innych badaniach udowodniono, że promieniowanie o częstotliwości sieciowej i indukcji 0,1-0,5 mT wywoływało wystąpienie stresu oksydacyjnego w komórkach mózgu szczurów [15].

Moc pola jest zależna od odległości źródła PEM i zwykle szybko maleje wraz z oddalaniem się od tego źródła. Potwierdzają to badania własne a także badania z innych ośrodków naukowych. Chen i wsp. oraz Zyss szacując ekspozycję na PEM w zależności od odległości od urządzenia a także czasu ekspozycji doszli do wniosku, że człowiek powinien podczas pracy przy urządzeniach elektronicznych utrzymywać jak największą odległość od nich, a także skracać czas spędzony przed źródłem PEM [17,18].

Możliwe, negatywne efekty wpływu pól elektromagnetycznych przejawiające się różnymi chorobami występują zazwyczaj po długim okresie utajnienia i ujawniają się często po latach, a nawet w następnych pokoleniach. Dlatego istotne jest prowadzenie dalszych badań i ocena ryzyka związanego z korzystaniem przez człowieka z różnych emiterów promieniowania elektromagnetycznego.

## 5. Wnioski

Zmiany na poziomie komórkowym zachodzące pod wpływem pola elektromagnetycznego emitowanego przez wybrane urządzenia elektryczne codziennego użytku mogą świadczyć o zachwianiu równowagi prooksydacyjno – antyoksydacyjnej w organizmie człowieka.

Świadomość wzrastającej liczby urządzeń emitujących promieniowanie elektromagnetyczne oraz możliwość pojawiania się niepożądanych efektów w organizmie człowieka pod wpływem PEM, powinny skłonić do opracowania zasad bezpiecznego posługiwania się nimi.

Uzasadnione wydaje się prowadzenie dalszych badań w celu stworzenia jednoznacznych przepisów ograniczających ekspozycję na ten czynnik środowiskowy.

## LITERATURA

- [1] Bartosz G., „Druza twarz tlenu”, PWN, Warszawa 2008
- [2] Zmyślony M. Działanie biologiczne i skutki zdrowotne pól elektromagnetycznych w aspekcie wymagań raportów o oddziaływaniu przedsięwzięć na środowisko. *Medycyna Pracy* 2007; 58(1):27-36
- [3] Macher M, Kałuski M, Skrzypek K. Ochrona środowiska przed elektromagnetycznym promieniowaniem niejonizującym. *Telekomunikacja i Techniki Informacyjne* 2010, 3/4:33-46
- [4] Jankowski W., Henrykowska G., Śmigiełski J., Pacholski K., Dziedziczak-Buczyńska M., Kałka K., Buczyński A., Wpływ kształtu pola elektromagnetycznego na wybrane parametry metabolizmu tlenowego krwinek płytkowych – badania in vitro, *Pol. Merk. Lek.*, XXIV, 144, 2008
- [5] Placer Z.; Estimation of products of lipid peroxydation malonyl dialdehyde in biochemical systems. *Anal. Bioch.* 16, 1966, 359-364
- [6] Canseven AG, Coskun S, Seyhan N.: Effects of various extremely low frequency magnetic fields on the free radical processes, natural antioxidant system and respiratory burst system activities in the heart and liver tissues. *Indian J Biochem Biophys.* 2008 Oct;45(5).
- [7] Sağdılek E, Sebik O, Celebi G. Investigation of the effects of 50 Hz magnetic fields on platelet aggregation using a modified aggregometer. *Electromagn Biol Med.* 2012 Dec;31(4):382-93.
- [8] Pacholski K., Szczęsny A., Buczyński A., Lewicka M.: Ocena wpływu pola elektromagnetycznego emitowanego przez monitory ekranowe LCD na organizm ludzki. *Przegląd Elektrotechniczny*, 10, 2010, 1221-1224.
- [9] Buczyński A. i wsp. Zmiany generacji wolnych rodników w krwinkach płytkowych ekspozowanych na promieniowanie elektromagnetyczne emitowane przez monitory ekranowe. *Pol. Hyper. Research.* Nr 1 (30), 2010, 35-41,
- [10] Henrykowska G. Jankowski J. I wsp.. The effect of 50 Hz magnetic field of different shape on oxygen metabolism in blood platelets: In vitro studium. *Int.J. Occup. Med. And Env. Health* 2009; 22(3): 269-76.
- [11] Henrykowska G. Lewicka M. i wsp. Aktywność enzymatyczna katalazy w krwinkach płytkowych ekspozowanych na promieniowanie elektromagnetyczne emitowane przez monitory LCD-badania in vitro. *Probl. Higieny i Epidemiol.* 2011, 92(4): 713-716
- [12] Kroll ME., Swanson J., Vincent TJ., Draper GJ.: Childhood cancer and magnetic fields from high-voltage power lines in England and Wales: a case-control study. *Br. J. Cancer.* 28;103(7):1122-7, 2010
- [13] Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, *Health Physics* 1998; 74(4):494-522
- [14] Park S.K, Ha M, Im HJ. Ecological study on residences in the vicinity of AM radio broadcasting towers and cancer death: preliminary observations in Korea. *Int. Arch. Occup. Environ. Health.* 2004; 77(6):387-94
- [15] Lai H., Singh N.; Magnetic-field-induced DNA strand breaks in brain cells of the rat. *Environ. Health Perspect.* 112(6), 2004, 687-94.
- [16] Balci M., Namuslu M., Devrim E., Durak I. Effects of computer monitor-emitted radiation on oxidant/antioxidant balance in cornea and lens from rats. *Molecular Vision* 2009; 15: 2521-2525
- [17] Chen CC, Hong XY, Shen GZ, Jin XP, Assessment of exposure to extremely low frequency magnetic field emitted from monitors. *Zhonghua Yu Fang Yi Xue Za Zhi.* 2004 Jan;38(1):14-7.
- [18] Zyss T., Emission of electromagnetic radiation from selected monitors, *Med. Pr.* 1995; 46(5): 485-91.

## Autorzy:

dr n. med. Gabriela Henrykowska, Uniwersytet Medyczny w Łodzi, Zakład Epidemiologii i Zdrowia Publicznego, ul. Żeligowskiego 7/9, 90-752 Łódź, E-mail: [gabriela.henrykowska@umed.lodz.pl](mailto:gabriela.henrykowska@umed.lodz.pl)  
 dr Małgorzata Lewicka, Uniwersytet Medyczny w Łodzi, Zakład Epidemiologii i Zdrowia Publicznego, ul. Żeligowskiego 7/9, 90-752 Łódź, E-mail: [malgorzata.lewicka@umed.lodz.pl](mailto:malgorzata.lewicka@umed.lodz.pl)  
 dr n. tech. Artur Szczęsny, Politechnika Łódzka, Instytut Systemów Inżynierii Elektrycznej, ul. Stefanowskiego 18/22, 90-924 Łódź, E-mail: [artur.szczesny@p.lodz.pl](mailto:artur.szczesny@p.lodz.pl)  
 dr n. med. Maria Dziedziczak – Buczyńska, Uniwersytet Medyczny w Łodzi, Zakład Epidemiologii i Zdrowia Publicznego, ul. Żeligowskiego 7/9, 90-752 Łódź, E-mail: [maria.dziedziczak-buczynska@umed.lodz.pl](mailto:maria.dziedziczak-buczynska@umed.lodz.pl)  
 prof. ndzw. dr hab. inż. Krzysztof Pacholski, Politechnika Łódzka, Instytut Systemów Inżynierii Elektrycznej, ul. Stefanowskiego 18/22, 90-924 Łódź, E-mail: [krzysztof.pacholski@p.lodz.pl](mailto:krzysztof.pacholski@p.lodz.pl)  
 prof. dr hab. n. med. Andrzej Buczyński, Uniwersytet Medyczny w Łodzi, Zakład Epidemiologii i Zdrowia Publicznego, ul. Żeligowskiego 7/9, 90-752 Łódź, E-mail: [andrzej.buczynski@umed.lodz.pl](mailto:andrzej.buczynski@umed.lodz.pl)