

**Wojciech Jankowski, Gabriela Henrykowska, Maria Dziedziczak-
Buczyńska, Krzysztof Pacholski, Andrzej Buczyński**

prof. dr hab. n. med. Andrzej Buczyński
dr n. med. Maria Dziedziczak-Buczyńska
dr n. med. Gabriela Henrykowska
dr n. med. Wojciech Jankowski
Zakład Edukacji Zdrowotnej i Promocji Zdrowia Uniwersytetu Medycznego w Łodzi
Łódź, ul. Żeligowskiego 7/9
tel.0 42 639 32 60, promzdr@achilles.wam.lodz.pl

prof. dr hab. Krzysztof Pacholski
Zakład Metrologii Elektrycznej i Elektroniki Samochodowej Politechniki Łódzkiej
Łódź, ul. Stefanowskiego 22

**AKTYWNOŚĆ ENZYMATYCZNA KATALAZY ORAZ STĘŻENIE
DIALDEHYDU MALONOWEGO (TBARS) W KRWINKACH
PŁYTKOWYCH EKSPONOWANYCH NA PROMIENIOWANIE
ELEKTROMAGNETYCZNE O RÓŻNYM KSZTAŁCIE.**

Promieniowanie elektromagnetyczne jako czynnik środowiskowy działa na układy biologiczne w sposób wielotorowy, może wywoływać różnorodne efekty biologiczne, które do tej pory nie zostały w całości poznane. W organizmie, różnorodne składniki i struktury komórkowe mogą stanowić docelową tarczę działania promieniowania elektromagnetycznego. Dotyczy to również płytek krwi, które ze względu na swoją rolę w organizmie i skutki zaburzonej ich funkcji, stanowią interesujący model badawczy.

Celem pracy była ocena wpływu kształtu pola elektromagnetycznego (PEM) o niskiej częstotliwości na aktywność enzymatyczną katalazy oraz stężenie dialdehydu malonowego w krwinkach płytkowych człowieka.

Zawiesina ludzkich krwinek płytkowych była poddawana działaniu PEM o różnym kształcie, częstotliwości 50 Hz i indukcji elektromagnetycznej 10 mT przez 15 i 30 minut. Źródłem PEM były cewki Helmholtza ustawione na specjalnie skonstruowanym wsporniku, w którego wnętrzu umieszczano próbówki z zawiesiną krwinek. Następnie były one poddawane działaniu określonego PEM.

Pomiar aktywności enzymatycznej katalazy, wykazał jej wzrost w stosunku do wartości kontrolnych niezależnie od czasu ekspozycji i bez względu na kształt zastosowanego pola. Największe zmiany w stosunku do wartości wyjściowych, obserwowano przy ekspozycji krwinek płytkowych na pole elektromagnetyczne o trójkątnym i prostokątnym przebiegu impulsu. Po 15 min. oddziaływania promieniowania o kształcie trójkątnym, mediana aktywności enzymatycznej katalazy wzrosła z wartości wyjściowych $x = 6,49$ do $x = 9,25$, a o kształcie prostokątnym do $x = 7,87$. Po 30 min. napromieniowywania również odnotowano zwiększoną aktywność enzymatyczną w stosunku do wartości wyjściowych: o 48% (do $x = 9,63$) przy polu elektromagnetycznym o kształcie trójkątnym i o 81% (do $x = 11,75$) przy zastosowaniu prostokątnego impulsu pola.

Stężenie dialdehydu malonowego w stosunku do wartości kontrolnych wzrosło zarówno po 15 jak i po 30 minutach ekspozycji bez względu na kształt zastosowanego impulsu elektromagnetycznego. Największe przyrosty mediany stężenia obserwowano po 15 minutowej ekspozycji krwinek płytkowych na PEM o sinusoidalnym kształcie impulsu, z $x= 1,57$ do $x= 4,12$. Po 30 minutach napromieniowania największy wzrost mediany stężenia MDA zaobserwowano przy działaniu pola elektromagnetycznego o trójkątnym przebiegu impulsu, o 96% w stosunku do wartości kontrolnych.

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że badane PEM powoduje wzrost aktywności enzymatycznej katalazy jak również stężenia dialdehydu malonowego w krwinkach płytkowych. Poziom aktywności enzymu oraz stężenia TBARS w badanych komórkach zależy od kształtu użytego PEM.

Słowa kluczowe: katalaza, dialdehyd malonowy, krwinki płytkowe, pole elektromagnetyczne, stres oksydacyjny

ENZYMATIC ACTIVITY OF CATALASE AND CONCENTRATION OF MALONDIALDEHYDE (TBARS) IN BLOOD PLATELETS EXPOSED TO ELECTROMAGNETIC RADIATION OF DIFFERENT SHAPE.

The aim of the study was to assess the influence of the shape of the electromagnetic field of low frequency on enzymatic activity of catalase and concentration of malondialdehyde in human blood platelets.

The suspension of human blood platelets was subjected to the activity of the electromagnetic field of different shapes, the frequency of 50Hz and the electromagnetic induction of 10mT for 15 and 30 minutes. The Helmholtz coils were the source of the electromagnetic field. They were arranged on the specially prepared bracket, inside of which test tubes with the blood platelets suspension were put. Next, they were subjected to the activity of a specific electromagnetic field.

The measurement of the enzymatic catalase activity showed an increase in comparison with the initial values regardless of the time of the exposure and regardless of the shape of the applied electromagnetic field. The greatest changes in comparison with the initial values were observed during the exposure of the blood platelets to the electromagnetic field of triangular and rectangular pulse oscillation. After exposure to the radiation of triangular form for 15 minutes, the median of the enzymatic catalase activity increases from the initial values $x= 6,49$ to $x = 9,25$, of the rectangular form to $x= 7,87$. After 30 minutes of the radiation increased enzyme activity was observed in comparison to the initial values: 48% (to $x=9,63$) in case of triangular shape of pulse oscillation and 81% (to $x=11,75$) in case of the rectangular shape.

The concentration of malondialdehyde in comparison to the initial values increased after 15 as well as 30 minutes of exposure, regardless of the shape of the applied electromagnetic field. The greatest increases were observed after 15 min. blood platelets exposure to electromagnetic field of sinusoid pulse oscillation, from $x= 1,57$ to $x= 4,12$. After 30 minutes of radiation, the greatest increase of the concentration of malondialdehyde was observed during the exposure to the electromagnetic field of triangular pulse oscillation, 96% in comparison to the initial values.

Basing on the achieved results, it can be assumed that the investigated electromagnetic field causes the increase of enzymatic catalase activity and the

concentration of malondialdehyde in blood platelets. The level of the enzyme activity and of the concentration of malondialdehyde in tested cells depends on the shape of the applied electromagnetic field.

Keywords: *catalase, malondialdehyde, blood platelets, electromagnetic field, oxidative stress*

WSTĘP

Czy żyje nam się lepiej niż sto, czy dwieście lat temu? Z pewnością większość odpowiedziałaby, że tak. Ogólnodostępna technika, urządzenia elektryczne o istnieniu, których nawet nie myślimy podczas wykonywania codziennej pracy, telewizor, który stanowi tak oczywisty wystrój mieszkań, że nie sposób pomyśleć by go nie było. Telefony komórkowe, których liczba użytkowników w ostatnim czasie lawinowo rośnie, stają się atrybutem społeczeństwa bez względu na przedział wiekowy i dzięki którym komunikacja międzyludzka staje się dziecinnie prosta. Również dostęp do informacji na całym świecie nie nastęrcza problemów. Nie ulega wątpliwości: żyje nam się bardziej komfortowo.

Jednak wszystko ma swoją cenę. Ta, którą płaci ludzkość za niewątpliwy rozwój cywilizacyjny, który niesie ze sobą podniesienie komfortu życia, łączy się ze wzrostem zagrożeń zdrowotnych, które związane są z używaniem nowych technologii w życiu codziennym. Powszechnie używa się urządzeń będących źródłem promieniowania elektromagnetycznego, odmiennego od naturalnie występującego na Ziemi. Jako naturalny czynnik środowiskowy występujący od początku życia na Ziemi, pole elektromagnetyczne niewątpliwie wpływa na podtrzymywanie procesów życiowych. Działanie naturalnych pól elektromagnetycznych wpływa na rytmy dobowe i roczne roślin, zwierząt i ludzi. Natomiast mnogość źródeł sztucznego promieniowania elektromagnetycznego o różnych parametrach w otaczającym środowisku, prowadzi do występowania tzw. smogu elektromagnetycznego. Stałe narażenie na ten czynnik niesie ze sobą określone efekty biologiczne. Skutki oddziaływania promieniowania elektromagnetycznego na organizm człowieka zależą zarówno od parametrów działającego promieniowania jak i od właściwości struktur biologicznych organizmów żywych [1].

Cały czas prowadzone badania starające się określić jego wpływ na organizmy żywe, w tym organizmy ludzkie, stanowią tylko potwierdzenie nie do końca poznanych efektów jego działania na struktury biologiczne. Z tego powodu zdecydowano poddać ocenie, czy kształt pola elektromagnetycznego ma wpływ na metabolizm tlenowy krwinek płytkowych człowieka.

MATERIAŁ

Materiałem do badań była zawiesina ludzkich krwinek płytkowych, którą uzyskano ze stacji krwiodawstwa od honorowych dawców krwi. Zawiesinę płytek pozyskiwano metodą manualnej aferezy z krwi pełnej biorców. Były nimi osoby, które poddano badaniom internistycznym, wykluczono przeciwwskazania a także wykonano badania laboratoryjne krwi typowe dla dawców krwi.

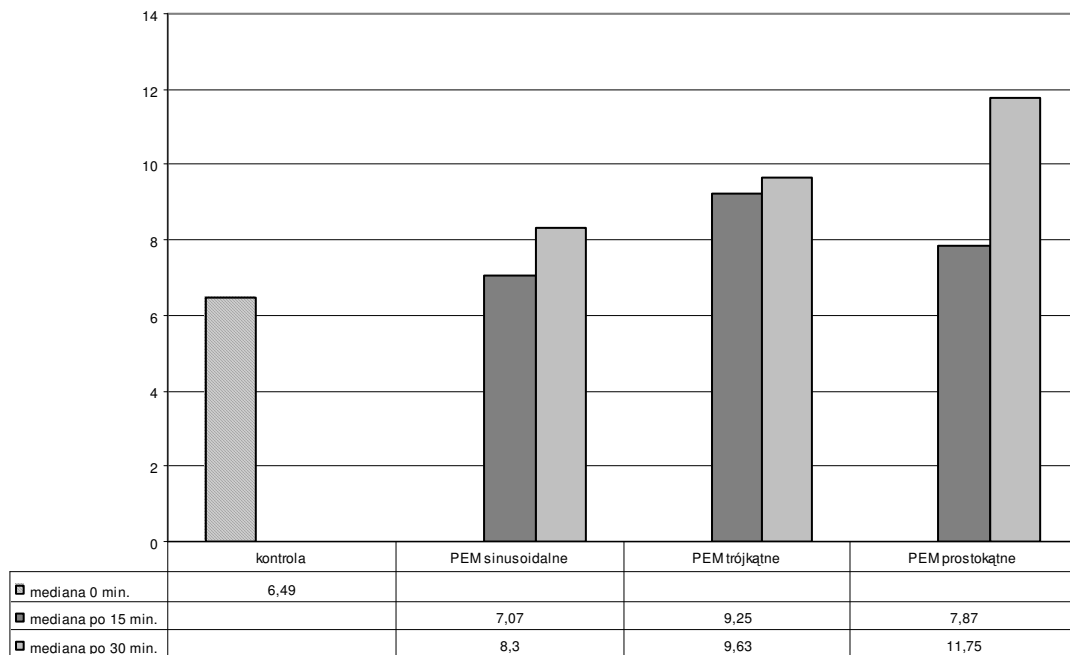
METODA

Pole elektromagnetyczne o żądanych parametrach odwzorowano w warunkach laboratoryjnych. Głównym elementem stanowiska badawczego były cewki Helmholtza, które zostały ustawione na wsporniku. Cewki wytwarzały pole elektromagnetyczne działające na krwinki płytkowe umieszczone w 7 probówkach polietylenowych. Każda z probówek zawierała maksymalnie 3 ml preparatu krwinkowego. Wymiary geometryczne cewek Helmholtza oraz ich odległość była dobrana tak, aby składowa magnetyczna pola, która stymulowała preparat miała przebieg jednorodny i charakteryzowała się indukcją o wartościach określonych w założeniach badania. Sposób przeprowadzania badań był następujący: polietylenową probówkę zawierającą preparat krwinkowy o objętości do 3 ml umieszczano w stanowisku badawczym i poddawano ekspozycji na pole elektromagnetyczne o indukcji magnetycznej wynoszącej 10 mT i częstotliwości 50 Hz przez 15 i 30 min. Impuls magnetyczny użytego pola miał kształt sinusoidalny, trójkątny i prostokątny. Dla zachowania optymalnych warunków temperatura otoczenia stanowiska badawczego była utrzymywana na poziomie 25°C.

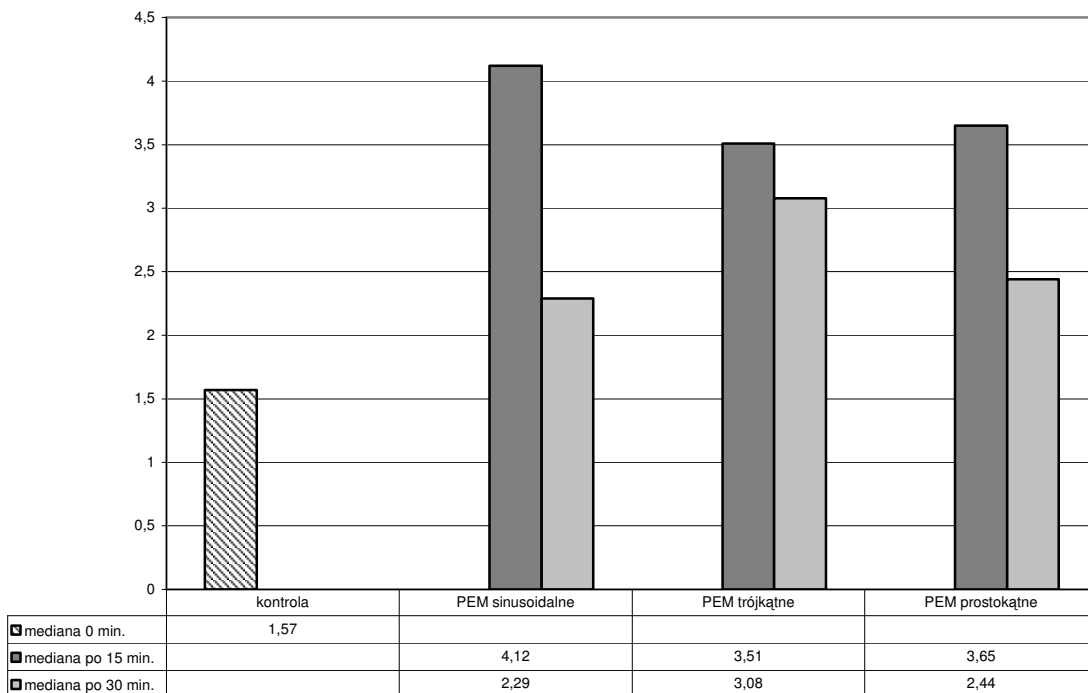
WYNIKI

Pomiar aktywności enzymatycznej katalazy, wykazał jej wzrost w stosunku do wartości kontrolnych niezależnie od czasu ekspozycji i bez względu na kształt zastosowanego pola. Największy wzrost aktywności obserwowano przy ekspozycji krwinek płytkowych na pole elektromagnetyczne o trójkątnym i prostokątnym przebiegu impulsu. Po 15 min. oddziaływania promieniowania o kształcie trójkątnym, mediana aktywności enzymatycznej katalazy wzrosła z wartości wyjściowych $x = 6,49$ do $x = 9,25$, a o kształcie prostokątnym do $x = 7,87$. Po 30 min. napromieniowywania również odnotowano zwiększoną aktywność enzymatyczną w stosunku do wartości wyjściowych: o 48% (do $x = 9,63$) przy polu elektromagnetycznym o kształcie trójkątnym i o 81% (do $x = 11,75$) przy zastosowaniu prostokątnego impulsu pola.

Stężenie dialdehydu malonowego w stosunku do wartości kontrolnych wzrosło zarówno po 15 jak i po 30 minutach ekspozycji bez względu na kształt zastosowanego impulsu elektromagnetycznego. Największe przyrosty mediany stężenia obserwowano po 15 minutowej ekspozycji krwinek płytkowych na PEM o sinusoidalnym kształcie impulsu, z $x = 1,57$ do $x = 4,12$. Po 30 minutach napromieniowania największy wzrost mediany stężenia MDA zaobserwowano przy działaniu pola elektromagnetycznego o trójkątnym przebiegu impulsu, o 96% w stosunku do wartości kontrolnych.



Rys. 1 Pomiar aktywności enzymatycznej katalazy zależny od czasu ekspozycji i kształtu impulsu pola elektromagnetycznego (wartości wyrażone w U/g białka płytkowego).



Rys. 2 Pomiar stężenia dialdehydu malonowego w TBARS zależny od czasu ekspozycji i kształtu impulsu pola elektromagnetycznego (wartości wyrażone w nmol/10⁹ krwinek płytkowych).

OMÓWIENIE

Pierwsze doniesienia o możliwym niekorzystnym oddziaływaniu pola elektromagnetycznego na organizm ludzki pochodzą z końca lat 70-tych ubiegłego stulecia. Podawano, że pole wytwarzane przez linie przesyłowe prądu elektrycznego wywoływało wzrost zachorowalności na białaczki i guzy mózgu u dzieci mieszkających w ich sąsiedztwie [2]. W ostatnio przeprowadzonych badaniach naukowcy koreańscy zaobserwowali zwiększoną umieralność na wszystkie rodzaje nowotworów i białaczek w niektórych grupach wiekowych, zwłaszcza młodszych (0-14 lat), mieszkających w pobliżu masztów radiowych AM [3]. W innych doniesieniach autorzy wskazują na brak związku pomiędzy narażeniem środowiskowym na ten czynnik a występowaniem białaczek, guzów mózgu, czy guzów sutka [4]. W związku z licznymi często sprzecznymi doniesieniami o potencjalnie rakotwórczym działaniu pola elektromagnetycznego, obecnie naukowcy skłaniają się raczej do twierdzenia, że jest ono tzw. czynnikiem epigenetycznym. Oznacza to, że umożliwia lub przyspiesza wzrost nowotworu wywołanego przez inny czynnik, a nie inicjuje chorobę [5].

Istotnym problemem wydaje się być narażenie zawodowe na ten czynnik środowiskowy, gdyż określone grupy zawodowe stykają się z nim częściej i oddziaływanie pola występuje w większym natężeniu niż ma to miejsce w przypadku pozostałej części społeczeństwa. Donosi się o zwiększonym ryzyku zgonu z powodu zawału serca i zaburzeń rytmu u osób pracujących w warunkach podwyższonej ekspozycji na promieniowanie elektromagnetyczne [6]. Istnieją opracowania, które sugerują wpływ ekspozycji zawodowej pól elektromagnetycznych niskich częstotliwości na neurovegetatywną regulację układu krążenia [7].

Pole elektromagnetyczne, aby wywoływało efekty ogólnoustrojowe musi oddziaływać na mechanizmy wewnątrzkomórkowe. Obecnie uwaga badaczy skupia się na określeniu skutków jego działania na poziomie molekularnym, gdyż zmiany zachodzące w komórkach są odpowiedzialne za odpowiedź organizmu jako całości. Dyskusja sprowadza się do ustalenia konkretnych wartości częstotliwości oraz indukcji magnetycznej, w zakresie, których działanie jest korzystne bądź niekorzystne dla zdrowia ludzkiego.

Metabolizm tlenowy komórek, w tym krwinek płytkowych, stanowi tzw. okno biologiczne dla promieniowania elektromagnetycznego. Okna biologiczne to struktury lub ich funkcje, które ulegają zmianie w wyniku zwiększonej podatności na egzogenne promieniowanie elektromagnetyczne.

Pole elektromagnetyczne o określonych parametrach stanowi czynnik środowiskowy, który może powodować wzrost wytwarzania w komórkach wolnych rodników i innych reaktywnych form tlenu (RFT).

Wolne rodniki określane są jako atomy lub cząsteczki zdolne do samodzielnego istnienia i posiadające jeden lub więcej niesparowanych elektronów na powłoce walencyjnej. Wolne rodniki charakteryzują się z reguły wysoką reaktywnością, co oznacza, że szybko wchodzi w reakcje z wieloma różnymi cząsteczkami.

Zakres uszkodzeń, do jakich prowadzą RFT zależy od poziomu równowagi, jaka zachodzi pomiędzy szybkością ich wytwarzania a stężeniami niskocząsteczkowych antyoksydantów oraz aktywnością enzymów obrony antyoksydacyjnej. Sytuacja, w której dochodzi do zaburzenia tej równowagi, a polegająca na zwiększeniu stacjonarnych stężeń RFT, określana jest mianem stresu oksydacyjnego.

Przed niekorzystnymi następstwami tego procesu komórki chronione są m. in. przez system białek enzymatycznych wchodzących w skład układu obrony antyoksydacyjnej. Jednym z nich jest katalaza. To białko zbudowane z czterech podjednostek, która występuje w komórkach eukariotycznych w dwóch postaciach: jako katalaza cytoplazmatyczna i peroksysosomalna. Reakcja katalizowana przez nią

polega na dysproporcjonowaniu nadtlenu wodoru do wody i tlenu cząsteczkowego. Jest to o tyle istotne, że nadtlenek wodoru stanowi substrat reakcji Fentona, która prowadzi do wytworzenia najbardziej reaktywnej formy tlenu, jaką jest rodnik hydroksylowy.

Doniesienia naukowe opisują wpływ pola elektromagnetycznego na aktywność enzymatyczną poszczególnych białek chroniących komórkę przed wpływem RFT. Badając wpływ pola elektromagnetycznego o częstotliwości 1000 Hz i indukcji magnetycznej 0,5 mT na aktywność enzymów obrony antyoksydacyjnej krwinek płytkowych, stwierdzono znaczny wzrost aktywności katalazy po 30 minutach ekspozycji, co korelowało ze wzrostem reaktywnych form tlenu. Dalsze pomiary, po 60 i 90 minutach wykazały jednak obniżenie aktywności tego enzymu w stosunku do wartości prób kontrolnych [10].

Poddając szczury 8 minutowej ekspozycji na pole o częstotliwości 70 μ T, autorzy kolejnego badania otrzymali również spadek aktywności katalazy, co korelowało ze znacznym spadkiem stężenia H_2O_2 . Zauważono, że znaczące obniżenie aktywności dotyczyło enzymów z grupy metaloenzymów [11].

Wyniki uzyskane w toku badań własnych wykazały wzrost aktywności enzymatycznej katalazy niezależnie od kształtu impulsu magnetycznego zarówno po 15 jak i 30 minutach ekspozycji na pole elektromagnetyczne. Największe przyrosty jej aktywności w stosunku do prób kontrolnych uzyskano przy działaniu pola o kształcie trójkątnym po krótszym czasie jego działania i kształcie prostokątnym po 30 minutach. Wzrost aktywności można tłumaczyć obroną komórkową przed nadmiarem nadtlenu wodoru, który może powstawać w nadmiarze w komórkach przy działaniu tego czynnika.

Niekontrolowany wzrost stężenia RFT odpowiedzialny jest m. in. za peroksydację lipidów. Jest to proces o charakterze wolnorodnikowym, polegający na utlenianiu reszt wielonienasyconych kwasów tłuszczowych wchodzących w skład fosfolipidów, które stanowią główny składnik błon biologicznych. Peroksydacja lipidów powoduje zmianę płynności błon komórkowych. Powoduje to zwiększenie przepuszczalności błon oraz ich depolaryzację. Postulowany jest również wpływ RFT na funkcję kanałów błonowych: potasowych, sodowych i wapniowych [8]. Końcowymi produktami peroksydacji lipidów są związki reagujące z kwasem tiobarbiturowym (TBARS), w tym dialdehyd malonowy (MDA). Oznaczanie poziomu MDA służy jako marker tego procesu. Powstające aldehydy, w tym dialdehyd malonowy, są mniej reaktywne niż RFT. Pozwala im to na dyfundowanie do odległych struktur komórkowych, gdzie mogą powodować kolejne uszkodzenia np. DNA. Ze względu na te właściwości wyrażany jest pogląd o ich cytotoksycznym, mutagennym i kancerogennym działaniu [9].

Istnieją doniesienia określające poziom MDA w komórkach narażonych na działanie pola elektromagnetycznego o określonych parametrach. Wykazano wzrost peroksydacji lipidów w szczurzych mikrosomach wątrobowych stosując pole magnetyczne o indukcji 5 mT. Inni badacze również, poddając ekspozycji homogenat mózgu myszy na pola o częstotliwości 50 Hz, indukcji 1 i 5 mT przez 30 dni, 3 godziny dziennie, potwierdzili wzrost stopnia peroksydacji lipidów w badanych preparatach [12]. Także promieniowanie o częstotliwości sieciowej i indukcji 0,1-0,5 mT wywoływało wystąpienie stresu oksydacyjnego w komórkach mózgu szczurów [13].

Podobne wyniki uzyskano w badaniach własnych. Jako markera peroksydacji lipidów użyto oznaczenia poziomu dialdehydu malonowego. Wzrost jego poziomu w połączeniu ze zwiększoną generacją wolnych rodników, świadczy o uszkodzeniu błon komórkowych przez te ostatnie. Poziom MDA po ekspozycji krwinek płytkowych na badane promieniowanie elektromagnetyczne wzrasta znamienne w stosunku do wartości kontrolnych zarówno po 15 jak i po 30 minutowej ekspozycji. Największy wzrost MDA odnotowano stosując impuls o kształcie sinusoidalnym po krótszym czasie

napromieniowania. Promieniowanie o kształcie trójkątnym odpowiedzialne jest za największy poziom tego związku po 30 minutach ekspozycji.

W badaniach nad wpływem inteligentnej elektroniki samochodowej na metabolizm tlenowy krwinek płytkowych stwierdzono istotny statystycznie wzrost poziomu dialdehydu malonowego po 30, 60 i 90 minutowej ekspozycji na żądane promieniowanie [14]. Również promieniowanie elektromagnetyczne, które charakteryzuje te wytwarzane przez telefonię komórkową, nie jest bez znaczenia dla procesu peroksydacji lipidów. W płytkach krwi poddanych działaniu promieniowania mikrofalowego o częstotliwości 900 MHz po 1, 5 i 7 minucie uzyskano istotny wzrost poziomu dialdehydu malonowego w stosunku do wartości kontrolnych, co autorzy tłumaczą niekorzystnym, pozatermicznym jego działaniem [15].

WNIOSKI

1. Aktywność katalazy w krwinkach płytkowych poddanych działaniu promieniowania elektromagnetycznego o badanych parametrach wzrasta w największym stopniu przy zastosowaniu impulsu o kształcie trójkątnym w 15 i kształcie prostokątnym w 30 minucie ekspozycji.
2. Analizowane pole elektromagnetyczne indukuje wzrost stężenia dialdehydu malonowego niezależnie od czasu ekspozycji. Przyrosty jego stężenia są większe po 15 niż po 30 min, a w największym stopniu po zastosowaniu impulsu o kształcie sinusoidalnym.
3. Uzyskane wyniki sugerują, że przyczyną niekorzystnych zmian wskazujących na proces peroksydacji lipidów błon komórkowych krwinek płytkowych, wyrażających się znamienym wzrostem stężenia MDA, może być stres oksydacyjny, który powstaje podczas ekspozycji na pole elektromagnetyczne.

LITERATURA

1. Sieroń A, Krawczyk-Krupa A. „Komórkowe efekty oddziaływania wolnozmiennych pól magnetycznych”, 79-85, Acta Bio-Optica,4, 1998
2. Wertheimer N., Leeper E. Electrical wiring configurations and childhood cancer. Am. J. Epidemiol. 109, 173-284, 1979
3. Park S.K., Ha M., Im H.J. Ecological study on residences in the vicinity of AM radio broadcasting towers and cancer death: preliminary observations in Korea. Int. Arch. Occup. Environ. Health. 77(6):387-394, 2004
4. Schuz J., Bohler E., Schlehofer B., Berg G., Schlaefer K., Hettinger I i wsp. Radiofrequency electromagnetic fields emitted from base stations of DECT cordless phones and the risk of glioma and meningioma (Interphone Study Group, Germany). Radiat. Res. 166(1 Pt 1):116-111, 2006
5. Baum A., Merisson M., Kaminko K., Mohr U., Löscher W. A histopathological study on alteration in DMBA-induced mammary carcinogenesis in rats with 50 Hz, 100 μ T magnetic field exposure. Carcinogenesis. 16, 19, 1995
6. Savitz D., Liao D., Sastre A., Kleckner R., Kavet R. Magnetic field exposure and cardiovascular disease morality among electric utility workers. Am. J. Epidemiol. 149(2), 135-142, 1999
7. Bortkiewicz A., Gadzicka E., Zmyślony M., Szymczak W. Neurovegetative disturbances in workers exposed to 50 Hz electromagnetic fields. Int. J. Occup. Med. Environ. Health. 19(1):53-60, 2006

8. Karmazyn M., Sostaric JV., Gan XT. The myocardial Na⁺/H⁺ exchanger: a potential therapeutic target for the prevention of myocardial ischaemic and reperfusion injury and attenuation of postinfarction heart failure. *Drugs*. 61, 375-389, 2001
9. Marnett LJ. Lipid peroxidation-DNA damage by malondialdehyde. *Mutat. Res*. 424, 83-95, 1999
10. Buczyński A., Pacholski K., Talar J., Jerominko A., Dziedziczak-Buczyńska M. Ocena aktywności katalazy (CAT) i dysmutazy ponadtlenkowej (SOD-1) krwinek płytkowych eksponowanych na pole elektromagnetyczne emitowane w samochodach. *Fizjoterapia Polska*. 4, 4, 385, 2004
11. Paluszak J., Sosnowski P., Mikrut K. Wpływ zmiennego pola magnetycznego na aktywność enzymów antyoksydacyjnych we krwi szczura. *Acta Bio-Opt Inf. Med.* 5, 1-5, 1999
12. Zheng BY., Yao GD., Xie LH., Lin Y., Lu DQ., Chiang H. Effects of 50 Hz magnetic fields on lipid peroxidation and antioxidant activities in brain tissue of mice. Second World Congress of Electricity and Magnetism in Biology and Medicine, 8-13 czerwca 1997. Abstract Book, Bolonia. Włochy. 1997
13. Lai H., Singh N. Magnetic-field-induced DNA strand breaks in brain cells of the rat. *Environ. Health Perspect.* 112(6), 687-94, 2004
14. Buczyński A., Pacholski K., Talar J., Buczyński J., Jerominko A. Ocena stężenia dialdehydu malonowego jako markera peroksydacji lipidów błon komórkowych krwinek płytkowych poddanych działaniu pola elektromagnetycznego występującego w samochodach. *Fizjoterapia Polska*. 5, 4, 15. 2005
15. Stopczyk D., Gnitecki W., Buczyński A., Markuszewski L., Buczyński J. Zmiany aktywności dysmutazy ponadtlenkowej (SOD-1) oraz stężenia dialdehydu malonowego w krwinkach płytkowych poddanych działaniu promieniowania elektromagnetycznego wysokiej częstotliwości generowanego przez telefon komórkowy – badania in vitro. *Medycyna Pracy*. 53, 4, 311-314, 2002

Autorzy:

prof. dr hab. n. med. Andrzej Buczyński – jest Kierownikiem Zakładu Edukacji Zdrowotnej i Promocji Zdrowia Uniwersytetu Medycznego w Łodzi. Specjalista m.in. z zakresu higieny i epidemiologii, zdrowia publicznego oraz medycyny morskiej i tropikalnej. Aktualnie zajmuje się badaniami nad wpływem pola elektromagnetycznego na metabolizm tlenowy krwinek płytkowych

prof. dr hab. Krzysztof Pacholski – jest Kierownikiem Zakładu Metrologii Elektrycznej i Elektroniki Samochodowej Politechniki Łódzkiej. Zajmuje się pomiarami pól elektromagnetycznych oraz badaniem wpływu promieniowania elektromagnetycznego na organizmy żywe.

dr n. med. Maria Dziedziczak-Buczyńska – jest adiunktem Zakładu Edukacji Zdrowotnej i Promocji Zdrowia Uniwersytetu Medycznego w Łodzi. Działalność dydaktyczną prowadzi z zakresu epidemiologii oraz medycyny pracy. Zajmuje się również badaniem układów antyoksydacyjnych w komórkach organizmu ludzkiego.

dr n. med. Gabriela Henrykowska – jest adiunktem Zakładu Edukacji Zdrowotnej i Promocji Zdrowia Uniwersytetu Medycznego w Łodzi. Działalność dydaktyczną prowadzi z zakresu promocji zdrowia oraz higieny. Ponadto zajmuje się badaniem wpływu wysiłku fizycznego na organizm ludzki oraz wpływu promieniowania elektromagnetycznego na organizmy żywe.

dr n. med. Wojciech Jankowski – pracuje w Zakładzie Edukacji Zdrowotnej i Promocji Zdrowia Uniwersytetu Medycznego w Łodzi. Zajmuje się badaniami dotyczącymi wpływu promieniowania elektromagnetycznego o różnym kształcie na komórki organizmu człowieka.