

Dariusz Stopczyk¹
Witold Gnitecki¹
Andrzej Buczyński¹
Leszek Markuszewski²
Jacek Buczyński¹

ZMIANY AKTYWNOŚCI DYZMUTAZY PONADTLENKOWEJ (SOD-1) ORAZ STEŻENIA DIALDEHYDU MALONOWEGO W KRWINKACH PŁYTKOWYCH PODDANYCH DZIAŁANIU PROMIENIOWANIA ELEKTROMAGNETYCZNEGO WYSOKIEJ CZĘSTOTLIWOŚCI GENEROWANEGO PRZEZ TELEFON KOMÓRKOWY – BADANIA *IN VITRO*

EFFECT OF ELECTROMAGNETIC FIELD PRODUCED BY MOBILE PHONES ON THE ACTIVITY OF SUPEROXIDE DISMUTASE (SOD-1) AND THE LEVEL OF MALONYLDIALDEHYDE (MDA) IN *IN VITRO* STUDY

1 Z Zakładu Medycyny Zapobiegawczej i Promocji Zdrowia

Kierownik zakładu: prof dr hab. med. A. Buczyński

2 Z Zakładu Diagnostyki Kardiologicznej

Centrum Kliniczno-Dydaktycznego

Kierownik zakładu: dr med. L. Markuszewski

Wojskowej Akademii Medycznej w Łodzi

STRESZCZENIE Celem pracy była ocena *in vitro* wpływu pola EM emitowanego przez telefon komórkowy na aktywność dysmutazy nadadtlenkowej (SOD-1) i stężenie dialdehydu malonowego w ludzkich krwinkach płytkowych. Zawiesinę płytek krwi poddawano działaniu pola elektromagnetycznego o stałej częstotliwości 900 MHz przez 1, 3, 5 i 7 minut. W tym czasie w porównaniu do wartości kontrolnych: aktywność dyzmutazy nadadtlenkowej po 1, 5 i 7 minucie istotnie zmalała (odpowiednio o 18,9%, 13,82% i 25,59%), a po 3 minucie istotnie wzrosła o 29,8%; natomiast stężenie dialdehydu malonowego wzrosło istotnie po 1, 5 i 7 minucie odpowiednio o 41,5%, 54,2% i 61,7%, a po 3 minutach zmalało istotnie w odniesieniu do wartości po 1 minucie – i przekraczało jedynie o 5,3% wartość kontrolną. Ekspozycja płytek krwi na promieniowanie elektromagnetyczne wysokiej częstotliwości wywołuje znaczne zmiany w aktywności dyzmutazy nadadtlenkowej i stężeniu dialdehydu malonowego. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że stres oksydacyjny powstający przy narażeniu na mikrofałę, może być przyczyną niekorzystnych zmian w czynności enzymów antyoksydacyjnych i stężeniu dialdehydu malonowego płytek krwi poddanych jego wpływowi. Med. Pr. 2002; 53; 4; 311–314

SŁOWA KLUCZOWE: pole elektromagnetyczne, krwinka płytkowa, dialdehyd malonowy, dyzmutaza nadadtlenkowa

ABSTRACT The aim of the study was to assess *in vitro* the effect of electromagnetic field produced by mobile phones on the activity of superoxide dismutase (SOD-1) and the level of malonyldialdehyde (MDA) in human blood platelets. The suspension of blood platelets was exposed to the electromagnetic field with the frequency of 900 MHz for 1, 3, 5, and 7 min. Our studies demonstrated that microwaves produced by mobiles significantly depleted SOD-1 activity after 1, 5, and 7 min of exposure and increased after 3 min in comparison with the control test.

There was a significant increase in the concentration of MDA after 1, 5, and 7 min and decrease after 3 min of exposure as compared with the control test. On the grounds of our results we conclude that oxidative stress after exposure to microwaves may be the reason for many adverse changes in cells and may cause a number of systemic disturbances in the human body. Med Pr 2002, 53, 4, 311–314

KEY WORDS: microwaves, blood platelets, malonyldialdehyde, superoxide dismutase

WSTĘP

Intensywny rozwój techniki w ostatnich latach, a także konieczność szybkiego dostępu oraz wymiany informacji wymusiły powszechne korzystanie z urządzeń przesyłających drogą fal radiowych różne rodzaje informacji. Stąd warunkiem niezbędnym współczesnego świata biznesu jest powszechne korzystanie z telefonów komórkowych. Nie jest już rzadkością prowadzenie kilku czy kilkunastominutowych rozmów, a charakter pracy doradców, inspektorów, kierowców, maklerów giełdowych itp. wymusza dyspozycyjność informacyjną często przez całą dobę. Telefon komórkowy stał się zatem jednym z podstawowych narzędzi pracy niemal we wszystkich zawodach. Skala i powszechność tego zjawiska coraz częściej budzi obawę o jego wpływ na zdrowie człowieka. Według obecnie obowiązujących norm pole elektro-

magnetyczne (EM) emitowane przez telefony komórkowe mieści się w granicach uznanych za nieszkodliwe. Należy jednak podkreślić, że normy te opracowane zostały dla efektu termicznego jaki powstaje w tkankach w czasie działania pola EM generowanego przez telefony analogowe. Nie uwzględniono w nich efektu pozatermicznego, którego wpływ podjęto się ocenić dopiero z chwilą wprowadzenia telefonów cyfrowych (1). Wiąże się to z odmiennym charakterem pola EM oraz jego mocą, która w przypadku telefonów cyfrowych może osiągnąć w chwili logowania nawet 4 W. Obecnie prowadzone są liczne badania – w tym również epidemiologiczne, mające jednoznacznie wyjaśnić pozatermiczny charakter oddziaływania pól EM emitowanych przez telefony komórkowe (2,3). Niestety, wyniki tych badań znane

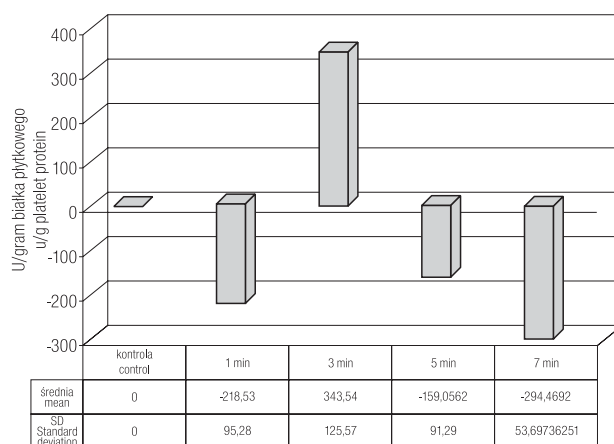
będą dopiero za kilka lat. Wśród wielu wstępnych doniesień naukowych stwierdzono *in vitro* na poziomie komórkowym istnienie zaburzeń aktywnego transportu jonów sodowych, potasowych oraz wzrost uwalniania jonów wapniowych przez błony komórek prowadzące do zmian w ich pobudliwości (4,5,6). Potwierdzono stwierdzenie, że zjawisko to występuje pomimo stałej temperatury w badanych tkankach (7). Obserwowano także zaburzenia działania pompy jonowej (K^+ , Na^+ , ATP-aza) krwinek czerwonych (8), zmiany w przepuszczalności bariery krew - mózg dla albumin pojawiające się również bez zmian temperatury (9,10). Interesującym faktem stało się wykazanie wpływu pola EM na spontaniczną czynność skurczową zagregowanych komórek serca zarodków kurzych, która malała lub rosła w zależności od charakteru i czasu oddziaływania pola EM (11). Mechanizm powstawania powyższych zmian nadal pozostaje nieznanym. W ostatnim okresie czasu zwrócono uwagę na udział wolnych rodników tlenu w obserwowanych zjawiskach (12). W związku z powyższym podjęto badania własne, mające na celu ocenę wpływu pola EM emitowanego przez telefon komórkowy na: aktywność dyzmutazy ponadtlenkowej (SOD-1) oraz stężenie dialdehydu malonowego. Badania te, prowadzono na ludzkich płytkach krwi - *in vitro*.

MATERIAŁ I METODY

Materiał do badań stanowiła zawiesina ludzkich płytek krwi o stężeniu $2 \cdot 10^9/cm^3$, uzyskana ze stacji krwiodawstwa od honorowych dawców krwi. Były nimi osoby w wieku 20–30 lat, u których wykonano badanie internistyczne, wykluczono przeciwwskazania oraz wykonano badania laboratoryjne krwi typowe dla dawców krwi. 8 próbek polietylenowych z $1 cm^3$ zawiesiny płytek krwi umieszczano w łaźni wodnej ze stałą temperaturą $35^{\circ}C$. Następnie poddawano działaniu pola elektromagnetycznego generowanego przez telefon komórkowy o częstotliwości 900 MHz i mocy 0,2 W (wartości średnie) – emiter w odległości 4 cm. Wahanie chwilowe mocy występujące w pierwszych sekundach pracy aparatu związane z logowaniem się do sieci GSM nie przekraczały 2 W. Oceny dokonano przy pomocy urządzenia Wavecorder, Eemdex, Entertech. Każdorazowo po upływie 1, 3, 5 i 7 minut wyjmowano 2 próbki, dokonując w pierwszej z nich oznaczenia aktywności dyzmutazy ponadtlenkowej (SOD-1) na spektrofotometrze UV VIS firmy VARIAN przy użyciu testów enzymatycznych firmy RANDOX; w kolejnej zaś, stężenia dialdehydu malonowego metodą Placera (13). Badania kontrolne wykonywano według identycznego schematu – jednak bez poddawania płytek krwi działaniu pola EM. Wyniki badań poddano analizie statystycznej testem t Studenta dla dwóch średnich przy poziomie ufności $p \leq 0,05$ oraz testem Wilcoxon – Coxa.

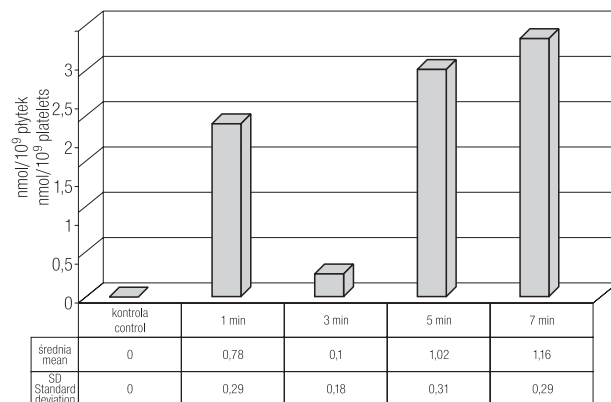
WYNIKI

Po ekspozycji krwinek płytkowych na promieniowanie mikrofalowe aktywność dyzmutazy ponadtlenkowej w porówna-



Ryc. 1. Zmiany aktywności dyzmutazy ponadtlenkowej (SOD-1) w krwinkach płytkowych poddanych działaniu promieniowania EM o częstotliwości 900 MHz emitowanego przez telefon komórkowy.

Fig. 1. Changes in the activity of superoxide dismutase in blood platelets of exposure to electromagnetic field generated by a mobile phone.



Ryc. 2. Zmiany stężenia dialdehydu malonowego w krwinkach płytkowych poddanych działaniu promieniowania EM o częstotliwości 900 MHz emitowanego przez telefon komórkowy.

Fig. 2. Changes in the concentration of malonyldialdehyde in blood platelets of exposure to electromagnetic field generated by a mobile phone.

niu do próby kontrolnej po 1 minucie zmalała istotnie o 18,9%; po 3 minutach istotnie wzrosła o 29,8%, a po 5 i 7 minutach ponownie zmalała istotnie odpowiednio o 13,82% i 25,59% (tab. I, ryc. 1).

Stężenie dialdehydu malonowego w porównaniu do próby kontrolnej wzrosło istotnie po 1 minucie o 41,5 %, a po 5 i 7 minucie odpowiednio do 54,2 % i 61,7%. Natomiast po 3 minutach zmalało istotnie w odniesieniu do wartości po 1 minucie – osiągając wielkość przekraczającą jedynie o 5,3% wartość kontrolną (różnica nieistotna statystycznie) (tab. II, ryc. 2).

OMÓWIENIE

Obserwowane zmiany w aktywności SOD-1 (jednego z najważniejszych enzymów chroniących komórkę przed szkodliwym działaniem reaktywnych form tlenu) oraz stężeniu dial-

Tabela I. Aktywność dyzmutazy ponadtlenkowej (SOD-1) w 1, 3, 5, i 7 minucie działania na płytki krwi pola elektromagnetycznego generowanego przez telefon komórkowy**Table I.** Activity of superoxide dismutase in blood platelets exposed to electromagnetic field generated by a mobile phone

Wartość Value	Dysmutaza ponadtlenkowa Superoxide dismutase U/g białka płytkowego; n = 13 U/g plateled protein; n = 13				
	czas ekspozycji na pola EM Time of exposure to electromagnetic field min				
	kontrola Control	1	3	5	7
Średnia Mean	1150,55	932,02	1494,09	991,49	856,08
SD Standard deviation	122,16	95,28	125,57	91,29	53,69
p ≤		0,0035	0,0005	0,0166	0,00011

Tabela II. Stężenia dialdehydu malonowego w 1, 3, 5, i 7 minucie działania na płytki krwi pola elektromagnetycznego generowanego przez telefon komórkowy**Table II.** Level of malonydialdehyde in blood platelets exposed to electromagnetic field generated by mobile phone

Wartość Value	Dialdehyd malonowy (MDA) Malonydialdehyde (MDA) nmol 10 ⁹ płytek krwi, n = 9 nmol 10 ⁹ blood platelets				
	czas ekspozycji na pola EM Time of exposure to electromagnetic field min				
	kontrola Control	1	3	5	7
Średnia Mean	1,88	2,66	1,98	2,9	3,04
SD Standard deviation	0,15	0,29	0,18	0,31	0,29
p ≤		0,00017 ^B	0,000324 ^A 0,112 ^B	0,000002 ^B	0,000015 ^B

A - poziom istotności statystycznej w odniesieniu do wartości stężenia dialdehydu malonowego w 1 minucie oddziaływania pola EM.

A - the level of statistical significance in according to the value of malonydialdehyde concentration in the first minute of exposition to the EM field.

B - poziom istotności statystycznej w odniesieniu do wartości kontrolnej.

B - the level of statistical significance in according to the control value.

dehydu malonowego (wykładnika przemian kwasu arachidynowego fosfolipidów błony komórkowej, która jest następstwem m.in. nadmiernej generacji reaktywnych form tlenu) dowodzą, że pod wpływem pola EM generowanego przez telefon komórkowy zachodzi gwałtowny proces wytwarzania wolnych rodników tlenu – zwłaszcza w pierwszej minucie jego oddziaływania. Zarejestrowany wówczas znaczny spadek aktywności dyzmutazy ponadtlenkowej oraz wzrost stężenia dialdehydu malonowego spowodowany jest prawdopodobnie zbyt dużą generacją wolnych rodników tlenu wywołaną przez zaobserwowane w tym czasie chwilowe skoki natężenia pola EM – nawet do 2 W/m². W trzeciej minucie wpływu pola EM wystąpił przejściowy wzrost aktywności dyzmutazy ponadtlenkowej oraz obniżenie stężenia dialdehydu malonowego spowodowany najprawdopodobniej uak-

tywnieniem wewnątrzkomórkowych mechanizmów kompensacyjnych oraz spadkiem natężenia pola EM do wartości 0,1–0,2 W/m² jaki ma zwykle miejsce po zalogowaniu się aparatu do systemu GSM. Występujący w kolejnych minutach (5 i 7) stopniowy spadek aktywności dyzmutazy oraz wzrost stężenia dialdehydu malonowego wywołany został przedłużającym się generowaniem reaktywnych form tlenu i stopniowym wyczerpywaniem się mechanizmów obronnych komórki – mogącym powodować w miarę upływu czasu jej uszkodzenie. Obserwacje te są zgodne z doniesieniami innych autorów, którzy zaobserwowali uszkodzenie lub zmiany w przepuszczalności błon komórkowych w różnych tkankach i narządach pod wpływem pola EM (4,5,6,7,8,9,10,11) – w tym również spadek aktywności dyzmutazy ponadtlenkowej spowodowany generacją wolnych rodników tlenu (12).

Stąd można stwierdzić, że obserwowane niekorzystne oddziaływania pola EM generowanego przez telefony komórkowe w części mogą być wywołane nadmierną generacją wolnych rodników tlenu, które przy niedostatecznej aktywności enzymów antyoksydacyjnych lub ich wyczerpaniu prowadzić mogą do przejściowego albo trwałego uszkodzenia struktury lub/i funkcji płytek krwi.

WNIOSKI

Ekspozycja płytek krwi na promieniowanie elektromagnetyczne wysokiej częstotliwości wywołuje niekorzystne zmiany w aktywności dyzmutazy ponadtlenkowej oraz w stężeniu dialdehydu malonowego.

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że stres oksydacyjny powstający pod wpływem pola EM może być przyczyną niekorzystnych zmian w aktywności enzymów antyoksydacyjnych oraz powodować upośledzenie lub uszkodzenie struktur lipidowych błon różnych komórek i tkanek organizmu poddanych jego wpływowi – czego dowodem był zarejestrowany wzrost stężenia dialdehydu malonowego.

PIŚMIENNICTWO

1. Bortkiewicz A.: Badania skutków biologicznych działania pola PEM o częstotliwościach emitowanych przez telefony komórkowe. *Med. Pr.* 2001, 52, 101–106.
2. ICNIRP: Health issues related to use of hand-held radiotelephones and base transmitters. *Health Physics* 1996, 70, 587–593.
3. Repacholi M.H.: Low level exposure to radiofrequency electromagnetic fields. Health effects and research needs. *Bioelectromagnetics* 1998, 19, 1–19.
4. Navakatikian M.A., Tomashevskaya L.A.: Biological effects of electric and magnetic fields. Sources and mechanisms. Tom 1. Academic Press, London 1994.
5. Blackman C.F., Benane S.G., Elliot D.J., House D.E., Pollock M.M.: Influence of electromagnetic field on the efflux of calcium ions from brain tissue – *in vitro*: A three model analysis consistent with the frequency response up to 510 Hz. *Bioelectromagnetics* 1988, 9, 215–227.
6. Dutta S.K., Ghosh B., Blackman C.F.: Radiofrequency radiation induced calcium ion efflux enhancement from human and other neuroblastoma cells in culture. *Bioelectromagnetics* 1989, 10, 197–202.
7. Cleary S.F.: Effects of radio-frequency radiation on mammalian cells and biomolecules – *in vitro*. W: M. Blank [red.]. *Electromagnetics fields: biological interaction and mechanisms*. American Chemical Society, Washington 1995, ss. 467–477.
8. Liu D.S., Astumian R.D., Tsong T.Y.: Activation of Na and K pumping modes of Na, K-ATPase by an oscillating electric field. *J. Biol. Chem.* 1990, 265, 7260–7267.
9. Salford L.G., Braun A., Stureson K., Eberhardt J.L., Persson B.R.: Permeability of the blood-brain barrier induced by 915 MHz electromagnetic radiation, continuous wave and modulated at 8, 16, 50, 200 Hz. *Micros. Res. Tech.* 1994, 27, 535–542.
10. Fricke K., Sommer G., Schmitz B., Mies G., Hossmann K.A., Kiessling M. i wsp.: Effect of global system for mobile communication (GSM) microwave exposure on blood-brain permeability in rat. *Acta Neuropathol.* 1997, 94, 465–470.
11. Seaman R.L., de Haan R.L.: Inter beat intervals of cardiac cell aggregates during exposure to 2,45 GHz CW, pulsed and square wave modulated microwaves. *Bioelectromagnetics* 1993, 14, 41–55.
12. Phelan A.M., Lange D.G., Kues H.A., Luttj G.A.: Modification of membrane fluidity in melanin containing cells by low level microwave radiation. *Bioelectromagnetics* 1992, 13, 131–146.
13. Placer Z.I.: Estimation of products of lipid peroxidation malonyl dialdehyde in biochemical systems. *Anal. Biochem.* 1966, 16, 359–364.

Adres autorów: Żeligowskiego 7/9, 90-923 Łódź,

e-mail: darstop@poczta.onet.pl

Nadesłano: 4.06.2002

Zatwierdzono: 12.07.2002