

**Andrzej Buczyński, Krzysztof Pacholski, Maria Dziedziczak-Buczyńska,  
Małgorzata Lewicka, Gabriela Henrykowska**

prof. dr hab. n. med. Andrzej Buczyński  
dr n. med. Maria Dziedziczak-Buczyńska  
dr n. med. Gabriela Henrykowska  
mgr Małgorzata Lewicka

Zakład Edukacji Zdrowotnej i Promocji Zdrowia Uniwersytetu Medycznego w Łodzi  
Łódź, ul. Żeligowskiego 7/9  
tel. 0 42 639 32 60, gabriela.henrykowska@umed.lodz.pl

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

**ZMIANY GENERACJI WOLNYCH RODNIKÓW W KRWINKACH  
PŁYTKOWYCH EKSPONOWANYCH NA PROMIENIOWANIE  
ELEKTROMAGNETYCZNE EMITOWANE PRZEZ MONITORY  
EKRANOWE**

*Wpływ promieniowania elektromagnetycznego na organizm człowieka jest w ostatnich latach przedmiotem wielu badań naukowych. Efekt działania tego czynnika zależy od jego charakterystyki. Dotychczasowe publikacje dotyczą głównie wpływu PEM o częstotliwości sieciowej (50,60 Hz), a także radiowej i mikrofalowej.*

*Celem pracy była ocena wpływu promieniowania elektromagnetycznego emitowanego przez monitory ekranowe LCD, na generację wolnych rodników w krwinkach płytkowych.*

*Badając promieniowanie elektromagnetyczne niskich częstotliwości należy niezależnie rozpatrywać składową elektryczną i magnetyczną. W przedstawionych badaniach brano pod uwagę składową elektryczną jako tą, której parametry okazały się istotne pod względem wpływu na organizm ludzki. Zatem preparat ludzkich krwinek płytkowych był poddawany ekspozycji PEM o częstotliwości 1 kHz i natężeniu 150 V/m oraz 220 V/m przez 30 i 60 minut.*

*Pomiar stężenia wolnych rodników wykazał jego wzrost w stosunku do wartości kontrolnych, zarówno po ekspozycji na pole o natężeniu 150 V/m jak i 220 V/m niezależnie od czasu. Największy wzrost generacji wolnych rodników w stosunku do próby kontrolnej obserwowano po 60 min. ekspozycji na pole o natężeniu 220 V/m (24%, z  $x=56,96$  do  $x=70,83$ ). Natomiast najmniejszy wzrost (7%, do  $x=61,06$ ) generacji wolnych rodników w porównaniu z kontrolą odnotowano po 30-minutowym napromieniowaniu polem o natężeniu 150 V/m. Uzyskane wyniki pozwalają na stwierdzenie, że badane PEM powoduje wzrost generacji wolnych rodników, co z kolei skutkuje rozprężaniem funkcji fizjologicznych organizmu.*

**Słowa kluczowe:** wolne rodniki, promieniowanie elektromagnetyczne, monitory LCD.

## CHANGES IN FREE RADICALS GENERATION IN BLOOD PLATELETS EXPOSED TO ELECTROMAGNETIC RADIATION EMITTED BY MONITORS

*The influence of electromagnetic radiation on living organisms is a subject of many scientific research. Effects of this factor depend on its frequency response. Previous publications concern mainly the effects of the electromagnetic radiation of power frequency (50, 60 Hz) and also the radio and microwave frequency.*

*The aim of the study was to assess the influence of electromagnetic radiation emitted by LCD monitors on free radicals generation in human blood platelets.*

*When researching the low frequency electromagnetic radiation it is necessary to consider the electric and magnetic component independently. In the presented study the electric component has been taken into consideration as a component of which parameters have appeared significant in terms of the influence on living organisms. Thus, blood platelet suspension was exposed to EM fields of 1 kHz frequency and 150 V/m and 220 V/m intensity for 30 and 60 minutes.*

*The measurement of free radicals concentration showed its increase in relation to control values, both after exposure to 150 V/m intensity field and 220 V/m regardless of time. The highest increase of free radicals generation compared to the initial values was observed when blood platelets were exposed to EMF 220 V/m intensity after 60 min. (by 24 %, the value of  $x = 56,96$  increased to  $x = 70,83$ ). However, the lowest increase (by 7%, to  $x = 61,06$ ) of free radicals generation compared to the control values was noted after 30 minutes application of the 150 V/m intensity field. The obtained findings allow us to say that the analyzed EMF causes an increase in free radicals generation which exerts an effect of disarranging physiological functions in a human body.*

**Keywords:** *free radicals, electromagnetic radiation, LCD monitors.*

### WSTĘP

W obecnych czasach rozwój techniki, głównie komputerowej nabiera niewyobrażalnie szybkiego tempa. Komputer stał się jednym z podstawowych narzędzi pracy. Skomputeryzowanie biur, sądów, urzędów, bibliotek i innych miejsc niezwykle ułatwiło życie wielu ludziom. Jednakże stosowanie komputerów na coraz większą skalę i co się z nimi wiąże - monitorów ekranowych a także innych wszechobecnych urządzeń powstałych wraz z rozwojem elektryczności spowodowało, że pola elektromagnetyczne stały się nieodłącznym elementem środowiska życia człowieka. Według Beckera takie emitery jak linie energetyczne, stacje nadawcze radia, telewizji i radarów, trakcje kolejowe oraz wszelkie urządzenia przemysłowe i domowe wykorzystujące energię elektryczną były w stanie zwiększyć naturalny poziom promieniowania ok. 100-200 mln razy [2].

Oddziaływanie pól elektromagnetycznych na organizmy żywe jest zazwyczaj bardzo złożone. Zależy ono od rodzaju tych pól, wielkości ich natężeń i charakteru zmienności w czasie oraz od własności struktur biologicznych samego organizmu. W wyniku prowadzonych badań na układach biologicznych stwierdzono występowanie „okien Adey'a”. Są to struktury, których funkcje ulegają zmianie w wyniku pozatermicznego działania egzogenego PEM. Takim oknem biologicznym jest metabolizm tlenowy krwinek płytkowych. Niektóre reaktywne formy tlenu (RFT)

będące produktami metabolizmu stanowią ważny składnik przekazu sygnału w organizmie. Jednakże pod wpływem pewnych czynników, między innymi promieniowania elektromagnetycznego wzrasta gwałtownie ich poziom, co powoduje uszkodzenia komórki poprzez oksydację lipidów, białek, cukrów, DNA i RNA.

Dotychczasowe badania własne dotyczące wpływu promieniowania elektromagnetycznego jednoznacznie wskazują niekorzystne działanie tego czynnika na metabolizm tlenowy krwinek płytkowych. PEM o częstotliwości 1000 Hz oraz indukcji 0,5 mT (parametry pola występującego w pojazdach samochodowych) jest przyczyną wybuchu tlenowego [3]. Podobne badania *in vitro* nad oddziaływaniem pola elektromagnetycznego o częstotliwości 50 Hz i indukcji 10 mT na generację wolnych rodników, wykazały znaczny ich wzrost w stosunku do wartości kontrolnych [9].

Celem przedstawionych badań było wyjaśnienie czy poddanie krwinek płytkowych ekspozycji na pole elektromagnetyczne emitowane przez monitory ekranowe spowoduje wzrost poziomu wolnych rodników.

## **1. MATERIAŁ**

Materiał do badań stanowiła zawiesina ludzkich krwinek płytkowych o stężeniu  $1 \times 10^9$  na  $\text{cm}^3$  pozyskiwana metodą manualnej aferezy z krwi pełnej. Preparat uzyskiwano ze Stacji Krwiodawstwa od honorowych dawców krwi, u których wykonane zostały badania internistyczne a krew poddano badaniom laboratoryjnym. Preparat transportowano do laboratorium w pojemniku z blachy transformatorowej, który ekranował materiał przed polem elektromagnetycznym.

## **2. METODY**

Parametry pola elektromagnetycznego emitowanego przez monitory ekranowe odtworzono w warunkach laboratoryjnych. W wykonanym stanowisku źródłem sygnału odwzorowującego kształt pola elektromagnetycznego generowanego przez monitor LCD był generator programowalny, którego sygnał wzmacniony został przez wzmacniacz pomiarowy. Źródłem pola elektrycznego był układ kondensatora płaskiego. Rozmiary elektrod i odległość między nimi została dobrana tak, aby możliwe było odtworzenie kształtu oraz wartości skutecznej natężenia pola elektrycznego w funkcji odległości, pomierzonego za pomocą elektrometru. Na wsporniku znajdującym się między elektrodami kondensatora płaskiego umieszczono 8 probówek polietylenowych z materiałem do badań. Każda probówka zawierała 3 ml preparatu krwinkowego. Przeprowadzenie badań odbyło się według ustalonego schematu. Probówkę polietylenową zawierającą krwinki płytkowe umieszczono w stanowisku badawczym i poddano ekspozycji pola elektromagnetycznego o natężeniu 150 V/m, odpowiadającemu odległości 30cm od monitora i 220 V/m, odpowiadającemu odległości 15cm od monitora oraz w obu przypadkach - częstotliwości 1 kHz. Czas ekspozycji wynosił 30 i 60 minut.

Oznaczanie poziomu generacji wolnych rodników w krwinkach płytkowych odbyło się za pomocą chemiluminescencji. Badanie wykonano na próbie kontrolnej, którą stanowiła zawiesina krwinek płytkowych, luminol, trombina i PBS oraz próbie badanej, w skład których wchodziła zawiesina płytek stymulowanych PEM, luminol, trombina i PBS.

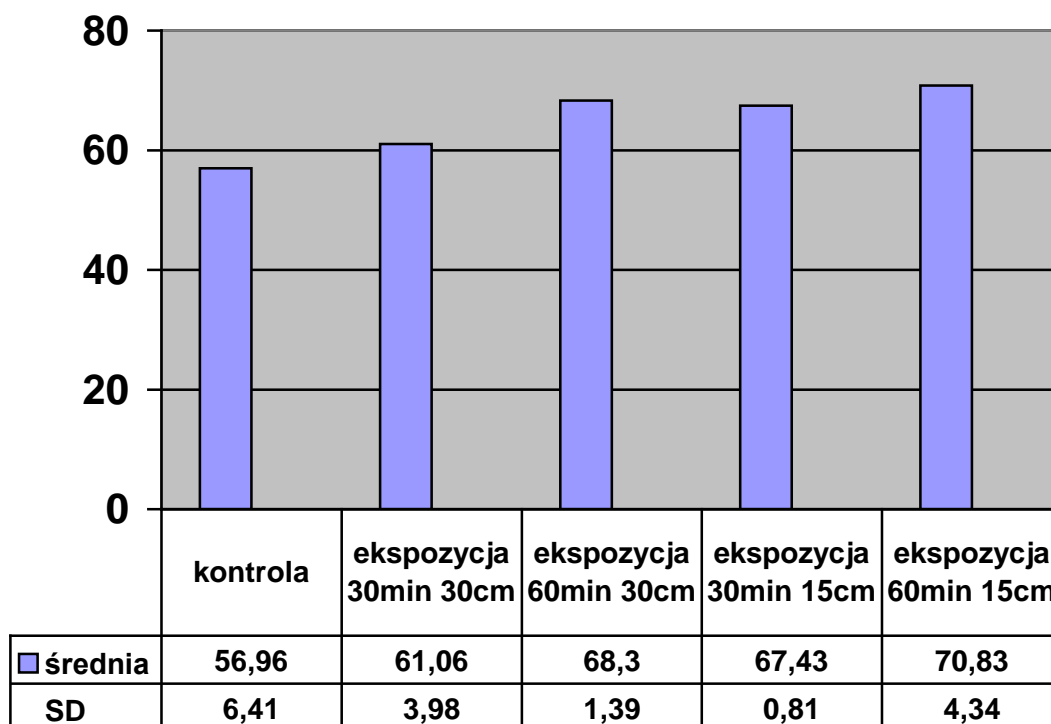
Do pomiaru chemiluminescencji wykorzystano luminometr Lumicom firmy Hamilton połączony z komputerem IBM PC. Jednoczasowy sekwencyjny pomiar mógł być

wykonywany dla 6 próbek. Wyniki badań poddano analizie statystycznej testem U Manna-Whitneya.

### 3. WYNIKI

Pomiar poziomu generacji wolnych rodników wykazał jego wzrost w stosunku do wartości kontrolnych, zarówno po ekspozycji na pole o natężeniu 150 V/m jak i 220 V/m niezależnie od czasu. Największy wzrost generacji wolnych rodników w stosunku do próby kontrolnej obserwowano po 60 min. ekspozycji na pole o natężeniu 220 V/m (24%, z  $x=56,96$  do  $x=70,83$ ). Natomiast po 30-minutowym okresie ekspozycji na pole o tym natężeniu stwierdzono wzrost generacji wolnych rodników o 18% (do  $x=67,43$ ).

Najmniejszy wzrost (7%, do  $x=61,06$ ) generacji wolnych rodników w porównaniu z kontrolą odnotowano po 30-minutowym napromieniowaniu polem o natężeniu 150 V/m. Po 60 min. ekspozycji na pole o tym natężeniu zaobserwowano wzrost generacji wolnych rodników o 20% (do  $x=68,3$ ).



Rys. 1 Pomiar generacji wolnych rodników w krwinkach płytkowych ekspozowanych na promieniowanie elektromagnetyczne (wartości wyrażone w tysiącach impulsów/30minut).

### 4. OMÓWIENIE

Obecnie prowadzone są liczne badania naukowe mające na celu jednoznaczną odpowiedź na pytania dotyczące oddziaływania pól elektromagnetycznych na organizmy żywe. Szczególną uwagę poświęca się zagadnieniu oddziaływania PEM na powstawanie nowotworów. Początki badań w tej dziedzinie skupiały się nad określeniem wpływu PEM na białaczki i guzy mózgu u dzieci mieszkających w pobliżu linii wysokiego napięcia [11]. Bazując na wynikach tych badań oraz im podobnych dotyczących białaczek u dzieci IARC

(Międzynarodowa Agencja do spraw Badań nad Rakiem) zakwalifikowała pola niskiej częstotliwości jako prawdopodobnie powodujące nowotwory u ludzi (Grupa 2B) [7].

Kolejne badania, głównie epidemiologiczne nad wpływem PEM na występowanie nowotworów ukazywały sprzeczne wyniki. Rezultatem połączonej analizy danych ze Szwecji i Danii było stwierdzenie braku jakiegokolwiek związku pomiędzy występowaniem guzów ślinianek przyusznych a promieniowaniem elektromagnetycznym emitowanym przez telefony komórkowe [10].

W odróżnieniu do tych wyników inna grupa badaczy ogłosiła statystycznie znaczące zwiększenie ryzyka występowania guzów mózgu (szczególnie glejaków) związanego z użytkowaniem telefonów przenośnych [6].

W związku z wieloma różnymi wynikami badań wielu naukowców uważa, że pola elektromagnetyczne są czynnikiem raczej umożliwiającym lub przyspieszającym wzrost nowotworu zainicjowanego przez inny czynnik, niż czynnikiem inicjującym.

Takim czynnikiem inicjującym nowotwór mogą być wolne rodniki. Definiowane są one jako atomy lub cząsteczki posiadające jeden lub więcej niesparowanych elektronów, co sprawia, że są one wysoce reaktywne. Gotowe do utworzenia wiązania z inną cząsteczką, wchodzi w reakcje z wieloma różnymi cząsteczkami. Tysiące doświadczeń przeprowadzonych na różnych komórkach wykazały, że wolne rodniki oraz inne reaktywne formy tlenu (RFT) uszkadzają struktury i funkcje komórki, prowadząc nawet do jej śmierci. Poprzedzają ją takie efekty działania wolnych rodników jak np. peroksydacja lipidów, pęknięcia nici DNA, inaktywacja enzymów oraz transformacja nowotworowa komórek [1].

Obronę przed wolnymi rodnikami stanowią niskocząsteczkowe antyoksydanty (np. askorbiniany, flawonoidy) oraz enzymy ochronne (dysmutaza ponadtlenkowa, katalaza i peroksydaza glutationowa). Stężenie wolnych rodników i szybkość reakcji uszkadzających komórki zależą od równowagi pomiędzy wytwarzaniem wolnych rodników a stężeniami antyoksydantów i aktywnościami enzymów ochronnych. Zwiększenie szybkości wytwarzania wolnych rodników (np. wskutek działania PEM) lub niedobory czynników ochronnych przed nimi powoduje zaburzenie homeostazy określane jako „stres oksydacyjny”.

Obserwowane zmiany generacji wolnych rodników w badanym materiale ukazują, że pole elektromagnetyczne emitowane przez monitory ekranowe wpływa na metabolizm tlenowy komórki. Większe stężenie reaktywnych form tlenu wystąpiło w 60. minucie, zarówno przy natężeniu 150 V/m i 220 V/m. Wyniki te sugerują, że dłuższa ekspozycja może spowodować spadek skuteczności oraz wyczerpanie antyoksydacyjnych mechanizmów obronnych przed reaktywnymi formami tlenu.

Wiele badań naukowych potwierdza niekorzystny wpływ pól elektromagnetycznych na metabolizm tlenowy komórki. Badania nad oddziaływaniem PEM o częstotliwości 50 Hz oraz indukcji 1,2 i 3 mT na poziom wolnych rodników i enzymów antyoksydacyjnych wykazały istotne zmiany ich stężeń zależne od parametrów pola i czasu ekspozycji [4].

Wyniki kolejnych badań ukazały wpływ pola elektromagnetycznego na aktywność tlenową krwinek płytkowych. Pole występujące w kabinie samochodu, charakteryzujące się indukcją 0,5 mT oraz częstotliwością 1 kHz powoduje znaczący wzrost generacji wolnych rodników [3].

W podobnych badaniach *in vitro* prześledzono wpływ pola elektromagnetycznego o częstotliwości 50 Hz i indukcji 10 mT na peroksydację lipidów. Rezultaty tych badań wykazały wzrost stężenia wolnych rodników, które utleniając nienasycone kwasy tłuszczowe i inne lipidy błon komórkowych powodowały ich liczne uszkodzenia [8,9].

Badania Eleuteri i wsp. skupiły się oddziaływaniu pola elektromagnetycznego o niskiej częstotliwości na utlenianie białek oraz funkcjonowanie 20S proteazy,

kompleksu odpowiedzialnego za degradację utlenionych białek. Wyniki tych badań wykazały, że pole o indukcji 1 mT i częstotliwości 50 Hz powoduje zwiększenie aktywności proteazy, co oznacza jednoczesny wzrost szybkości utleniania białek spowodowany przyrostem generacji wolnych rodników [5].

Biorąc pod uwagę wyniki badań własnych a także im podobnych, w których udowodniono niekorzystne działanie pola elektromagnetycznego można stwierdzić, że czynnik ten zwiększając stężenie wolnych rodników może prowadzić do trwałego uszkodzenia struktury i funkcji komórek.

### **WNIOSKI**

1. W badaniu *in vitro* aktywność tlenowa krwinek płytkowych wyrażona generacją reaktywnych form tlenu, stymulowanych polem elektromagnetycznym emitowanym przez monitory ekranowe o częstotliwości 1 kHz oraz natężeniu 150 V/m i 220 V/m wzrasta w stosunku do wartości kontrolnych.
2. Największy przyrost generacji wolnych rodników zaobserwowano po 60-minutowej ekspozycji na pole o natężeniu 220 V/m, co odpowiada odległości 15 cm od monitora.
3. Wykazane zmiany metabolizmu tlenowego krwinek płytkowych ekspozowanych na promieniowanie elektromagnetyczne o niskiej częstotliwości mogą stanowić czuły wskaźnik biologiczny zmian powstających w określonym czasie na skutek działania w organizmie człowieka fal elektromagnetycznych.

### **LITERATURA**

1. Bartosz G., „Druga twarz tlenu”, PWN, Warszawa 2008, 84-86,
2. Becker R., O., Selen G., „Elektropolis - Elektromagnetyzm i podstawy życia” - PAX, Warszawa 1994,
3. Buczyński A., Pacholski K., Dziedziczak-Buczyńska M., Henrykowska G., Jerominko A., „Stres oksydacyjny w krwinkach płytkowych poddanych działaniu pola elektromagnetycznego występującego w pojazdach samochodowych”; *Fizjoterapia Polska*, vol. 4, nr 3, 254-258, 2004,
4. 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):326-31,
5. Eleuteri AM, Amici M, Bonfili L, Cekarini V, Cuccioloni M, Grimaldi S, Giuliani L, Angeletti M, Fioretti E., 50 Hz extremely low frequency electromagnetic fields enhance protein carbonyl groups content in cancer cells: effects on proteasomal systems. *J Biomed Biotechnol.* vol. 2009, Article ID 834239, 10 pages, 2009. doi:10.1155/2009/834239,
6. L. Hardell, M. Carlberg, K. Hansson Mild: Pooled analysis of two case-control studies on the use of cellular and cordless telephones and the risk of benign tumours diagnosed during 1997-2003. *“Int J Oncol”* 2006, 28:509-518,
7. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, Volume 80, non-ionizing radiation, Part 1: static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer, 2002,

8. Jankowski W., Henrykowska G., Dziedziczak-Buczyńska M., Pacholski K., Buczyński A., „Aktywność enzymatyczna katalazy oraz stężenie dialdehydu malonowego (TBARS) w krwinkach płytkowych eksponowanych na promieniowanie elektromagnetyczne o różnym kształcie”, *Polish Hyperbaric Research*, nr 2 (23), 15-24, 2008,
9. Jankowski W., Henrykowska G., Śmigielski 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, 529-532, 2008,
10. Lonn S, Ahlbom A, Christensen HC, et al. (2006). Mobile phone use and risk of parotid gland tumor. *Am J Epidemiol* 164: 637-643,
11. Wertheimer N., Leeper E., „Electrical wiring configurations and childhood cancer”; *Am. J. Epidemiol.*, 109, 273-284, 1979.

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**

Kierownik 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. Prowadzi działalność dydaktyczną z zakresu epidemiologii oraz medycyny pracy. Zajmuje się również badaniem układów antyoksydacyjnych w komórkach organizmu ludzkiego.

**dr n. med. Gabriela Henrykowska**

Adiunkt Zakładu Edukacji Zdrowotnej i Promocji Zdrowia Uniwersytetu Medycznego w Łodzi. Prowadzi działalność dydaktyczną z zakresu promocji zdrowia i zdrowia publicznego. Ponadto zajmuje się badaniem wpływu wysiłku fizycznego na organizm ludzki oraz wpływu promieniowania elektromagnetycznego na organizmy żywe.

**mgr Małgorzata Lewicka**

Doktorantka w Zakładzie Edukacji Zdrowotnej i Promocji Zdrowia Uniwersytetu Medycznego w Łodzi. Zajmuje się badaniami dotyczącymi oddziaływaniem promieniowania elektromagnetycznego emitowanego przez monitory ekranowe na metabolizm tlenowy krwinek płytkowych.

