

## KOMÓRKOWE EFEKTY ODDZIAŁYWANIA WOLNOZMIENNYCH PÓL MAGNETYCZNYCH

Aleksander Sieroń, Aleksandra Kawczyk-Krupka

III Katedra i Klinika Chorób Wewnętrznych Śląskiej Akademii Medycznej, ul. Batorego 15, 41-902 Bytom

### Streszczenie

Prace eksperymentalne na modelu komórkowym wykazują różnorodne działanie biologiczne wolnozmiennych pól magnetycznych, zależnie od parametrów fizycznych pól: indukcji, częstotliwości, kształtu fali oraz od czasu ekspozycji. Wolnozmiennne pola magnetyczne modyfikują różnorodne funkcje życiowe, ekskrecję, podziały komórkowe, a także ekspresję genów. Eksperymenty przeprowadzane na hodowlach komórkowych pozwalają na obiektywną ocenę efektu działania wolnozmiennych pól magnetycznych na struktury subkomórkowe.

### Abstract

#### Cytological effects of extremely low frequency magnetic fields

Experimental studies at the cellular level have demonstrated various biological effects of the magnetic fields. Studies with cellular systems using different exposure regimes durations, amplitudes, frequencies and waveforms indicate, that biological effects of magnetic fields on cellular systems may be related to cell viability, multiplication, gene expression, cellular excretion, or even tumour promotion. The experiments performed on tissue cultures seem to give better insight into the effects evoked by magnetic field within a single cell and its subcellular organelles.

**Słowa kluczowe:** wolnozmiennne pole magnetyczne, metabolizm komórkowy, żywotność komórkowa

**Key words:** extremely low frequency magnetic fields, cell's metabolism, cellular excretion, cell viability

*Wpłynęło: 03.10.98      Zaakceptowano: 30.10.98*

### Wstęp

Od wielu lat badany jest wpływ pól elektromagnetycznych na układy biologiczne. Ocena dotyczy zwłaszcza oddziaływania zewnętrznych pól magnetycznych o wysokiej częstotliwości (nadajniki radiowe, telewizyjne, radary) oraz pól o niskich częstotliwościach, które w ostatnich latach coraz szerzej stosowane są w diagnostyce i terapii. W wielu publikacjach medycznych pola elektromagnetyczne o częstotliwości poniżej 300Hz charakteryzujące się natężeniem pola elektrycznego rzędu kilku tysięcy V/m i indukcją magnetyczną mniejszą od 0,1mT zwane są zmiennymi polami elektrycznymi. Podobnie pola o częstotliwości mniejszej od 300 Hz charakteryzujące się natężeniem pola elektrycznego rzędu kilkuset V/m i indukcją magnetyczną w przedziale od 1mT do 15mT nazywane są zmiennymi polami magnetycznymi. Wśród zmiennych pól magnetycznych wyróżnia się wolnozmiennne pola magnetyczne (WPM), które wykazują szczególny wpływ (Drzazga i współpracownicy, 1997; Holmberg i współpracownicy, 1995)

na procesy fizjologiczne i patologiczne w organizmie żywym. Wśród nich rozróżnia się dwa rodzaje pól. Pierwsze to pola o indukcji 1-15mT i częstotliwości 1Hz-40Hz, stosowane w terapii zwłaszcza stanów porurazowych oraz w łagodzeniu dolegliwości bólowych w stanach zwyrodnieniowych układu kostno-stawowego (Sieroń i współpracownicy, 1991; Sieroń i współpracownicy, 1994). Do drugich należą pola o wartościach indukcji od 1pT do 0,1mT i częstotliwościach mieszczących się w przedziale od kilku do kilkuset herców, które - zwłaszcza w ostatnich latach - wykorzystywane są w leczeniu niektórych schorzeń zwłaszcza układu nerwowego. Pola te noszą nazwę pól magnetostymulacyjnych (Sandyk, 1995; Sieroń i współpracownicy, 1998).

Obecnie sądzi się, że na końcowy efekt oddziaływania pola magnetycznego na struktury żywe decydujący wpływ mają zjawiska elektrodynamiczne i magneto-mechaniczne wynikające z oddziaływania siły Lorentza oraz efektu Halla - głównie na poziomie submolekularnym, jak i makrocząsteczkowym - a także wpływ pola

magnetycznego na własności fizyczne wody i struktur ciekłokrystalicznych błon komórkowych i organelli komórkowych (Sieroń i współpracownicy, 1994).

Jak wynika z badań eksperymentalnych, zmienne pola magnetyczne o określonych parametrach fizycznych wywierają różnorodne efekty metaboliczne w organizmach żywych (Kula i współpracownicy, 1997; Szmigielski i współpracownicy, 1993), aktywując proces utylizacji tlenu i zaopatrzenie tkanek w tlen (Sieroń i współpracownicy, 1994), stymulując aktywność enzymów surowicy krwi (Sieroń i współpracownicy, 1993; Uckun i współpracownicy, 1995), poprawiając własności reologiczne oraz przewodność właściwą i przenikalność elektryczną krwi (Sieroń i współpracownicy, 1994), aktywując syntezę kolagenu (Murray i współpracownicy, 1985), wykazują działanie przeciwbólowe stanowiąc alternatywę dla analgetycznych środków farmakologicznych (Konieczny, 1998), ingerując w równowagę kwasowo-zasadową (Banaszkiewicz i współpracownicy, 1992) i gospodarkę wodno-elektrolitową. WPM zwiększają syntezę kwasów żółciowych i wydzielanie żółci (Sieroń, 1995), aktywują wydzielanie insuliny (Laitl-Kobierska, 1998), poprawiają ukrwienie tkanek po oparzeniach (Biniszkiwicz, 1997), natomiast nie wpływają na rozwój hodowli bakteryjnych gronkowca złocistego (Żmudziński, 1997).

Należy podkreślić, że wyniki badań eksperymentalnych są ściśle powiązane z parametrami zastosowanych w badaniach pól magnetycznych i zależą również od obiektu doświadczalnego (model komórkowy, zwierzęta) poddanego działaniu tych pól. Wyniki te różnią się niekiedy bardzo istotnie nawet dla nieznacznie różniących się wielkości indukcji, częstotliwości i kształtu zastosowanego pola, czego przykładem może być wpływ WPM na stan czynnościowy układu immunologicznego (House i współpracownicy, 1996; Ramoni i współpracownicy, 1995; Tuffet i współpracownicy, 1993; Walleczek i współpracownicy, 1992).

American Food and Drug Administration (FDA) stoi na stanowisku (Levy, 1993), że należy koncentrować uwagę naukowców badających wpływ WPM na organizmy żywe, na badaniach podstawowych, celem uzyskania danych o reakcjach na stosowane pole na poziomie subkomórkowym i komórkowym.

### Efekty jonowe i błonowe WPM

Poszukiwanie wyjaśnienia mechanizmów działania WPM na komórki zwróciło w ostatnich latach uwagę autorów na błony komórkowe (Shimizu i współpracownicy, 1995; Tendforde i współpracownicy, 1991; Villa i współpracownicy, 1991), które wykazując mieralne parametry elektryczne, stanowią odpowiednie podłoże działania pól elektromagnetycznych. Istotne znacznie mają własności dielektryczne błon komórkowych i wnętrza komórki (Goodman i współpracownicy, 1995). Efekt jonowy i błonowy zmiennego pola magnetycznego zaobserwowano na przykładzie zmian wewnątrzkomórkowego stężenia jonów wapnia, związanego z zahamowaniem lub pobudzeniem wnikania tych jonów do wnętrza komórek poddanych działaniu zmiennego pola magnetycznego. Efekt ten wywołany jest spadkiem aktywności ATP-azozależnej pompy sodowo-potasowej błon komórkowych (Suri i współpracownicy, 1996; Villa i współpracownicy, 1991), a dla częstotliwości (16,5 Hz), będącej rezonansową z częstotliwością jonów wapnia w komórce - zmianą przepuszczalności błonowej komórek dla jonów wapnia (Liboff, 1985) pod wpływem pola.

Ekspozycja na WPM może powodować zmianę stężenia kationów wewnątrzkomórkowych. Ostateczny efekt zależny jest od parametrów pól i od wyjściowej zawartości jonów w komórce (Balcavage i współpracownicy, 1996). Transport jonów, zwłaszcza wapniowych przez kanały białkowe błon cytoplazmatycznych, wykazuje zachowania rezonansowe z częstotliwością WPM (Hojevik i współpracownicy, 1995). Przeprowadzone badania na komórkach białaczkowych linii Jurkat, polegające na pomiarach oscylacji jonów wapniowych po ekspozycji w WPM o częstotliwości 50 Hz i indukcji 100  $\mu$ T, wykazały zmniejszenie amplitudy i wzrost częstotliwości oscylacji w komórkach o dużym stężeniu jonów wapnia (Galvanovskis i współpracownicy, 1996) oraz stymulację oscylacji po ekspozycji na WPM o częstotliwości w zakresie: 5-100 Hz i indukcji 100  $\mu$ T (Lindstrom i współpracownicy, 1995).

Oprócz działania błonowego wolnozmiennego pola magnetyczne mogą wpływać na żywotność, produkcję czynników sekrecyjnych, syntezę białek, wolnych rodników, a także na materiał genetyczny komórek, przebieg procesów syntezy DNA, RNA, aktywność enzymów i stężenie jonów.

### Wpływ WPM na procesy ontogenezy i indukcję zmian genowych

Charakter wpływu WPM na proces ontogenezy, podobnie, jak to stwierdzono w innych badaniach doświadczalnych, zależy od parametrów fizycznych pól oraz obiektu badań. Ekspozycja dwugodzinna w ciągu doby na WPM o częstotliwości 50Hz i indukcji 200 $\mu$ T nie wywołała anomalii u 90-dniowych embrionów szczurzych (Veicsteinas i współpracownicy, 1996). Natomiast działanie WPM o indukcji 0,2 $\mu$ T, 1,2 $\mu$ T, 2,2 $\mu$ T i 3,2 $\mu$ T oraz częstotliwości 50Hz i 10Hz na embriony *Coturnix coturnix japonica* powodowało wysoki odsetek anomalii, zwłaszcza ośrodkowego układu nerwowego (Terol i współpracownicy, 1995). W badaniach na komórkach gruczołów ślinowych dwuskrzydłych (*Sciara* i *Drosophila*) wykazano, że WPM o różnych częstotliwościach (pomiędzy 1,5-72Hz) i indukcji (w zakresie 0,3-3,5mT) po 45 minutach ekspozycji prowadzi do zmian wzoru transkrypcji mRNA oraz zaburza syntezę polipeptydów (Goodman i współpracownicy, 1988). Natomiast wyniki badań Parkera (1992) wykazały, że WPM o częstotliwości 60Hz, oraz indukcji 0,1mT po 24, 48 i 72h ekspozycji nie wpływają na poziom RNA w komórkach myszy i człowieka, badanych *in vitro*. Przyspieszenie syntezy DNA pod wpływem WPM zaobserwował w doświadczeniach nad fibroblastami ludzkimi (0,23mT, 50Hz) Liboff (1984), oraz Cheng (dla różnych częstotliwości od 5-60Hz) w badaniach nad chondroblastami (Cheng i współpracownicy, 1985). Inne badania prowadzone na ludzkich fibroblastach eksponowanych powyżej 30 godzin na pola o różnej indukcji w zakresie: 20 $\mu$ T-20mT i częstotliwości 50Hz (Cridland i współpracownicy, 1996) nie wykazały znaczącego efektu stymulującego syntezę DNA. Potwierdził to doniesienia Cantoni (1995), który wykazał, iż pola elektryczne i magnetyczne (w przedziale: 0,2 $\mu$ T-200 $\mu$ T) nie wpływają na syntezę DNA uszkodzonych komórek, ale mogą powodować zmiany w odpowiedzi komórek na czynniki karcynogenne poprzez indukcję uwalniania lub wydłużenie półokresu trwania wolnych rodników (Koana i współpracownicy, 1997). Niektóre doświadczenia wykazały możliwość indukcji zmian genowych w komórkach przez WPM. Przykładem mogą być bakterie *E.coli* AB 1157, poddane ekspozycji na pola o częstotliwości 51,64-51,85 GHz i sile strumienia: 10<sup>-19</sup>-10<sup>-3</sup> W/cm<sup>2</sup>, (Belyaev i współpracownicy, 1992).

Z kolei 24-h ekspozycja embrionów *Drosophila melanogaster* na pola o częstotliwości 60Hz oraz indukcji: 10 $\mu$ T i 100 $\mu$ T nie wywoływała ani stymulacji, ani hamowania mutacji w DNA w porównaniu do kontroli (Nguyen i współpracownicy, 1995). Podobne wyniki uzyskano w przypadku ekspozycji hodowli ludzkich komórek krwi obwodowej na pola o indukcji 5mT i częstotliwości 50Hz (Antonopoulos i współpracownicy, 1995).

WPM o określonych parametrach fizycznych wpływa na ekspresję receptorów komórkowych. Badając próbki krwi szympansov *Papio cynocephalus* po ekspozycji 12h/dzień przez 6 tygodni w polach o indukcji 50 $\mu$ T i częstotliwości 60 Hz, wykazano ekspresję komórkowych receptorów dla IL2, oraz zmniejszenie ilości komórek CD3<sup>+</sup> i CD4<sup>+</sup> (Murthy i współpracownicy, 1995).

### Wpływ WPM na procesy metabolizmu komórkowego

Wolnozmiennie pola magnetyczne ingerują w metabolizm komórkowy, powodując wzrost aktywności ATP-azy Na<sup>+</sup>-K (Blank i współpracownicy, 1995), kinazy białkowej limfocytów T i limfocytów B (Uckun-1995). Badania Fardala i Murraya (1986) prowadzone na hodowlach fibroblastów wykazały wzrost cAMP w komórkach eksponowanych na pola o zmiennej indukcji 110T/s i różnych wartości częstotliwości w zakresie: 30-90Hz.

Wykazano także, że WPM może ingerować w procesy uwalniania wolnych rodników czego przykładem może być stymulacja oksydazy NADPH. Johann (1993) wykazał stymulację aktywności oddechowej obojętnochłonnych granulocytów ludzkich poddanych 30 minutowej ekspozycji na wolnozmiennie pola magnetyczne o częstotliwości 20 Hz i indukcji 5,3mT. Roy (1995) wykazał, że WPM o częstotliwości 60Hz i indukcji 0,1mT aktywuje proces oddechowy neutrofilii uzyskanych z otrzewnej szczurów, przy czym uwalniany nadtlenek wodoru oznaczany był drogą reakcji z 2',7'-dwuchlorofluoresceiną, której produkt wykazywał fluorescencję wzrastającą o 12% po ekspozycji na pola. Niektóre doniesienia w piśmiennictwie (Brocklehurst i współpracownicy, 1996) tłumaczą działanie biologiczne WPM stymulacją produkcji wolnych rodników (Kawczyk-Krupka, 1998), które także mogą decydować o kopromocyjnym działaniu WPM w procesie karcynogenezy, co wykazał Suri (1996) wywołując mutacje

menadionem lub N-metylonitrozomocznikiem i tak transformowane komórki szczurze eksponował na WPM o częstotliwości 60 Hz i indukcji 3mT.

#### Wpływ WPM na produkcję mediatorów procesu zapalnego

Badany był również wpływ WPM na funkcje komórek biorących udział w procesie zapalnym. Trzydniowa ekspozycja jednojądrzastych komórek krwi ludzkiej obwodowej na pola o częstotliwości 50 Hz oraz indukcji 1mT, 3mT, 10mT i 30 mT spowodowała wzrost sekrecji  $IL-1\beta$ , spadek  $IFN-\gamma$  przy braku wpływu na wydzielanie  $IL2$ ,  $IL-6$  i  $IL-10$  oraz czynnika  $TNF-\alpha$  (Jonai i współpr., 1996). Inne doświadczenia (Kawczyk-Krupka, 1998) wykazały stymulację produkcji przez komórki linii nowotworowej J774.2 czynnika  $TNF-\alpha$  pod wpływem WPM o częstotliwości 25Hz i indukcji 0,8mT.

#### Wpływ WPM na procesy proliferacji komórkowej

Podawane w piśmiennictwie (Antonopoulous i współpr., 1995; Rosenthal i współpr., 1989, Walleczek i współpr., 1992) działanie wolnozmiennych pól magnetycznych na podziały komórkowe, zależy od ich parametrów fizycznych: częstotliwości i indukcji, oraz czasu ekspozycji komórek. W swych doświadczeniach Antonopoulous (1995) wykazał aktywację procesów proliferacji w hodowli komórek krwi obwodowej po ekspozycji 24h, 48h, 52h, 56h, 60h, 68h i 72h na pola o indukcji 5mT i częstotliwości 50Hz. Były one potwierdzeniem wcześniejszych badań Rosenthala i Obe`ego (1989), w których poddawano ekspozycji na pola o podanych parametrach limfocyty ludzkie krwi obwodowej.

Natomiast Walleczek (1992) wykazał zmniejszenie aktywności proliferacyjnej limfocytów szczurzych w zmiennym polu magnetycznym o sinusoidalnym i prostokątnym przebiegu impulsu. Z kolei House (1996) nie stwierdził wpływu 18,5h /dobę ekspozycji na WPM o indukcji  $2\mu T$ ,  $200\mu T$  i  $1000\mu T$  i częstotliwości 60 Hz na aktywność proliferacyjną limfocytów różnych subpopulacji krwi obwodowej myszy.

Podobne wyniki uzyskał Tuffet (1993) - ekspozycja *in vitro* limfocytów szczurzych na WPM o częstotliwościach w zakresie: 0-100Hz i indukcji 5mT zmniejsza ich aktywność proliferacyjną. Spadinger (1995) poddając 3-4 godzinnej ekspozycji na pola o czę-

stotliwości od 10-63Hz i indukcji  $100\mu T$  komórki z hodowli fibroblastów 3T3 stwierdził brak wpływu WPM na morfologię i ruchliwość komórek. Blackmann (1996) zaobserwował nasilenie procesów rozgałęzienia i różnicowania neurytów oraz zwiększenia aktywności filopodialnej i zrost neurytów w linii pola (o indukcji 16mT i 36,6mT, przy częstotliwości 50Hz).

#### Wpływ WPM na hodowle komórek nowotworowych

Zmniejszenie żywotności oraz zdolności tworzenia kolonii przez komórki linii FM3A wywodzące się z raka sutka myszy po ich 1h ekspozycji w temperaturze pokojowej na WPM o częstotliwości 60Hz i indukcji 0,058 mT i 6,3 T oraz brak wpływu WPM o indukcji 6,3 mT na żywotność badanych komórek wykazał w doświadczeniach Zhang (1995). Inne badania doświadczone (Kawczyk-Krupka, 1998) wykazały działanie cytotoksyczne WPM o częstotliwości 25 Hz i indukcji 2,4 mT na komórki linii nowotworowych.

Również Schimmelpfeng i Dertinger (1993) wykazali zmniejszenie żywotności komórek nowotworowych poddanych ekspozycji na WPM o częstotliwości 50Hz i indukcji 2mT. Powyższe obserwacje zostały potwierdzone w doświadczeniach Jordana (1996), który stosując pola stałe w płynie magnetycznym wraz z czynnikiem termicznym (temp.  $40^{\circ}C$ ) wykazał zmniejszenie żywotności hodowli komórek ludzkich wywodzących się z gruczolakoraka. Opracowaną przez siebie metodę nazwał hypertermiczną magnetoterapią płynową (MFH Magnetic Fluid Hypertermia).

Hannan (1994) stwierdził, że zastosowanie związków hamujących proliferację komórek linii A-431 (cisplatyna, doxorubicyna, carboplatyna) łącznie z WPM o częstotliwości 25 Hz i indukcji 5,2mT potęguje hamujące działanie cytostatyków na proliferację badanych komórek.

#### Podsumowanie

W związku z rozwojem techniki, a co za tym idzie, coraz powszechniejszym kontaktem z polami elektromagnetycznymi badania nad wpływem tych pól na organizmy żywe nabrały ostatnio istotnego przyspieszenia. Dotyczy to zwłaszcza pól magnetycznych wykorzystywanych coraz szerzej w medycynie. Wyjaśnienie opisywanych pozytywnych, jak i negatywnych efektów oddziaływania pól magnetycznych powinno

być dokonywane przede wszystkim za pomocą badań na poziomie komórkowym.

#### Piśmiennictwo

- Antonopoulos A., Yang Baochu, Stamm A., Heller W.-D., Obe G.: *Cytological effects of 50 Hz electromagnetic fields on human lymphocytes in vitro*, *Mutat. Res.*, 346, 151-157, (1995).
- Balcavage W.X., Alvager T., Swez J., Goff C.W., Fox M.T., Abdullyava S., King M.W.: *A mechanism for action of extremely low frequency electromagnetic fields on biological systems*, *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 222(2) 374-378, (1996).
- Banaszkiewicz W., Straburzyński G.: *Wpływ pulsującego pola magnetycznego na wybrane parametry przemiany materii i równowagi kwasowo-zasadowej zwierząt doświadczalnych*, *Baln. Pol.*, 34, 109-119, (1992).
- Belyaev I.Y., Shecheglov V.S., Alipov Y.D., Polunin V.A.: *Resonance effect of millimeter waves in the power range from  $10^{(-12)}$  to  $3 \times 10^{(-3)}$  W/cm<sup>2</sup> on Escherichia coli cells at different concentrations*, *Bioelectromagnetics* 17(4), 312-321, (1996).
- Biniszkiwicz T.: *Ocena oddziaływania wolnozmiennego pola magnetycznego i lasera malej mocy na doświadczalne oparzenia termiczne skóry szczurów*, rozprawa na stopień doktora nauk medycznych, 1997.
- Blackman C.F., Blanchard J.P., Benane S.G., House D.E.: *Effect of ac and dc magnetic field orientation on nerve cells*, *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 220(3), 807-811, (1996).
- Blank M.: *Biological effects of environmental electromagnetic fields: molecular mechanisms*, *Biosystems*, 35, (2-3), 175-178, (1995).
- Brocklehurst B., McLauchlan K.A.: *Free radical mechanism for the effects of environmental electromagnetic fields on biological systems*, *Int. J. Radiat. Biol.*, 69(1), 3-24, (1996).
- Cantoni O., Sestili P., Fiorani M., Dacha M.: *The effect of 50Hz sinusoidal electric and/or magnetic fields on the rate of repair of DNA single/double strand breaks in oxidatively injured cells*, *Biochem. Mol. Biol. Int.*, 37(4), 681-689, (1995).
- Cheng N: *Biochemical effects of pulsed electromagnetic fields*, *Biochem. Bioenergetics*, 14, 121-129, (1985).
- Cridland N.A., Cragg T.A., Haylock R.G., Saunders R.D.: *Effects of 50Hz magnetic field exposure on the rate of DNA synthesis by normal human fibroblasts*, *Int. J. Radiat. Biol.*, 69(4), 503-511, (1996).
- Drzazga Z., Sieroń A., Liszka G., Wójcik J.: *Pole magnetyczne stosowane w magnetoterapii*, *Baln. Pol.*, tom XXXIX, zeszyt 3-4, str.79-95, (1997).
- Farndale R.W., Murray J.C.: *The action of pulsed magnetic fields on cyclic AMP levels in cultured fibroblasts*, *Biochim. Biophys. Acta*, 881, 46-53, (1986).
- Galvanovskis J., Sandblom J., Bergqvist B., Galt S., Hamnerius Y.: *The influence of 50Hz magnetic fields on cytoplasmic Ca<sup>2+</sup> oscillations in human leukemia T-cells*, *Sci. Total Environ.*, 180(1), 19-33, (1996).
- Goodman E.M., Henderson A.S.: *Exposure of salivary gland cells to low frequency electromagnetic fields alters polypeptid synthesis.*, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 3928-3932, (1988).
- Goodman E.M., Greenebaum B., Marron M.T.: *Effects of electromagnetic fields on molecules and cells*, *Int. Rev. Cytol.*, 159, 279-338, (1985).
- Hannan C.J. jr., Liang Y., Allison J.D., Pantazis C.G., Searle J.R.: *Chemotherapy of human carcinoma xenografts during pulsed magnetic field exposure*, *Anticancer Res.*, 14, 4A, 1521-1524, (1994).
- Hojevik P., Sandblom J., Galt S., Hamnerius Y.: *Ca<sup>2+</sup> ion transport through patch-clamped cells exposed to magnetic fields*, *Bioelectromagnetics*, 16(1), 33-40, (1995).
- Holmberg B.: *Magnetic Fields and Cancer: Animal and Evidence - an Overview*, *Environ. Health Persp.* 103 (Suppl 2): 63-67, (1995).
- House R.V., Ratajczak H.V., Gauger J.R., Johnson T.R., Thomas P.T., McCormick D.L.: *Immune function and host defense in rodents exposed to 60Hz magnetic fields*, *Fundam. Appl. Toxicol.*, 34(2), 228-239, (1996).
- Johann S, Blumel G.: *Influence of electromagnetic fields on respiratory burst of human granulocytes in vitro*, 2-nd Congress of the European Bioelectromagnetics Association, 1993, pp.117-118.
- Jonai H., Villa Nueva M.B., Yasuda A.: *Cytokine*

- profile of human peripheral blood mononuclear cells exposed to 50Hz EMF. *Industrial Health*, 34(4), 359-368, (1996).
- Jordan A., Wust P., Scholtz R., Tesche B., Fahling H., Mitrovics T., Vogl T., Cervoss-Navarro J., Felix R.: *Cellular uptake of magnetic fluid particles and their effects on human adenocarcinoma cells exposed to AC magnetic fields in vitro*, *Int. J. Hyperthermia*, 12(6), 705-722, (1996).
- Kawczyk-Krupka A.: *Żywotność i metabolizm komórek wybranych linii nowotworowych poddanych działaniu wolnozmiennych pól magnetycznych*, rozprawa na stopień doktora nauk medycznych, 1998.
- Koana T., Okada M.O., Ikehata M., Nakagawa M.: *Increase in the mitotic recombination frequency in Drosophila melanogaster by magnetic field exposure and its suppression by vitamin E supplement*, *Mutat. Res.*, 373 (1), 55-60, (1997).
- Konieczny P.: *Ocena przeciwbólowego działania wolnozmiennych pól magnetycznych u zwierząt doświadczalnych*, rozprawa na stopień doktora nauk medycznych, 1998.
- Kula B., Dróżdż M., Sobczak A., Polańska D., Kuśka R.: *Biologiczne skutki działania pól magnetycznych na organizmy żywe*, *Ann. Acad. Med. Siles.*, 32, 93-110, (1997).
- Laitl-Kobierska A.: *Oddziaływanie wolnozmiennych pól magnetycznych na czynność i strukturę trzustki u szczurów*, rozprawa na stopień doktora nauk medycznych, 1998.
- Levy H.D.: *Magnetotherapy: New technology*, *Neurol. Res.*, 15, 142-143, (1993).
- Liboff A.R.: *Cyclotron resonance in membrane transport*, Plenum Publishing Co, 1985, pp. 281-296.
- Liboff A.R., Williams T.R., Strong D.M., Wistar R.: *Time varying fields: effects on DNA synthesis*, *Science*, 223, 818-820, (1984).
- Lindstrom E., Lindstrom P., Berglund A., Lundgren E., Mild K.H.: *Intracellular calcium oscillations in a T-cell line after exposure to extremely low frequency magnetic fields with variable frequencies and flux densities*, *Bioelectromagnetics*, 16(1), 41-47, (1995).
- Murray J.C., Farndale R.W.: *Modulation of collagen production in cultured fibroblasts by a low-frequency, pulsed magnetic field*, *Biochim. Biophys. Acta*, 838, 98-105, (1985).
- Murthy K.K., Rogers W.R., Smith H.D.: *Initial studies on the effects of combined 60Hz electric and magnetic field exposure on the immune system of conhuman primates*, *Bioelectromagnetics*, Suppl.3, 93-102, (1995).
- Nguyen P., Bournias-Vrdiabasis N., Haggren W., Adey W.R., Philips J.L.: *Exposure of Drosophila melanogaster embryonic cell cultures to 60Hz sinusoidal magnetic fields: assessment of potential teratogenic effects*, *Teratology*, 51(4), 273-277, (1995).
- Parker J.E., Winters W.: *Expression of gene specific RNA in cultured cells exposed to rotating 60Hz magnetic fields*, *Biochem. Cell Biol.*, 70 (3-4), 237-241 (1992).
- Ramoni C., Dupuis M.L., Vecchia P., Polichetti A., Petrini C., Bersani F., Capri M., Cossarizza A., Franceschi C., Grandolfo M.: *Human natural killer cytotoxic activity is not affected by in vitro exposure to 50Hz sinusoidal magnetic fields*, *Int. J. Biol.*, 68(6), 693-705, (1995).
- Rosenthal M., Obe G.: *Effects of 50Hz electromagnetic fields on proliferation and chromosomal alterations in human peripheral lymphocytes untreated or pretreated with chemical mutagens*, *Mutat. Res.*, 306, 129-133, (1989).
- Roy S., Noda Y., Eckert V., Traber M.G., Mori A., Liburdy R., Packer L.: *The phorbol 12-myristate 13-acetate(PMA)-induced oxidative burst in rat peritoneal neutrophils is increased by a 0,1mT (60Hz) magnetic field*, *FEBS Lett.* 376(3), 164-166, (1995).
- Sandyk R.: *Improvement of body image perception in Parkinson's disease by treatment with weak electromagnetic fields*, *Int. J. Neurosci.*, 82(3-4):269-283, (1995).
- Schimmelpfeng J., Dertinger H.: *The action of 50Hz magnetic and electric fields upon cell proliferation and cAMP content of cultured mammalian cells*, *Bioelectrochem. Bioenergetics*, 30, 143-150, (1993).
- Shimizu H., Suzuki Y., Okonogi H.: *Biological effects of electromagnetic fields*, *Nippon Eiseigaku Zasshi*, 50(5), 919-931, (1995).
- Sieroń A.: *Synteza i wydzielanie kwasów żółciowych u*

- szczurów poddanych działaniu wolnoziemnego pola magnetycznego, rozprawa habilitacyjna, Zabrze 1995.
- Sieroń A., Biniszkiwicz T., Sieroń K., Biniszkiwicz K., Głowacka M.: *Terapeutyczne efekty magnetostymulacji w wybranych jednostkach chorobowych; doniesienia wstępne*, praca przyjęta do druku w INFOTEL - Bydgoszcz 1998.
- Sieroń A., Cieślak G., Adamek M.: *Magnetoterapia i laseroterapia*, Śląska Akademia Medyczna, Katowice 1994.
- Sieroń A., Cieślak G., Adamek M., Sitek K., Biniszkiwicz T., Cebula W., Burzyński Z.: *Leczenie owrzodzeń podudzi za pomocą zmiennego pola magnetycznego*, Przegl. Dermatol., 3, 195-200, (1991).
- Sieroń A., Cieślak G., Jaskólski F., Turczyński B., Adamek M.: *Zachowanie się przenikalności elektrycznej i przewodności właściwej krwi świnek morskich poddanych działaniu zmiennego pola magnetycznego*, Baln. Pol. tom XXXVI, zeszyt 3-4, 9-12, (1994).
- Sieroń A., Cieślak G., Nadajczyk G., Żmudziński J., Wybraniec-Patalong A.: *Oddziaływanie zmiennego pola magnetycznego o niskiej częstotliwości na aktywność wybranych enzymów oraz udział poszczególnych frakcji białkowych w surowicy krwi ludzkiej in vitro*, Ann. Acad. Med. Siles., 25, 73-80, (1992).
- Sieroń A., Cieślak G., Żmudziński J.: *Doświadczenia kliniczne w stosowaniu zmiennych pól magnetycznych*, Pol. Tyg. Lek., Nr 10-11, (1994).
- Spadinger J., Agnew D., Palcic B.: *3T3 motility and morphology before, during, and after exposure to extremely low frequency magnetic fields*, Bioelectromagnetics 16(3), 178-187, (1995).
- Suri A., Deboer J., Kusser W., Glickman B.W.: *A 3mT 60Hz magnetic field in neither mutagenic nor co-mutagenic in the presens of menadione and MNU in transgenic rat cell line*, Mutat. Res., 372(1), 23-31, (1996).
- Szmigielski S., Szuba M., Sokolska G., Wandzel B., Różycki S.: *Wpływ fal elektromagnetycznych na organizmy żywe*, XIV Szkoła Jesienna, materiały konferencyjne, Zakopane 1993.
- Tenforde T.S.: *Biological interactions of extremely low frequency electric and magnetic fields*, Bioelectrochem. Bioenergetics, 25, 1-17, (1991).
- Terol F.F., Panchon A.: *Exposure of domestic quail embryos to extremely low frequency magnetic fields*, Int. J. Radiat. Biol., 68(3), 321-330, (1995).
- Tuffet S., Moreau J.M., Joussoy-Dubien J., Veyret B.: *Flow cytometric study of magnetic fields effects on lymphocyte activation*, 2-nd congress of the European Bioelectromagnetics Association, 1993.
- Uckun F.M., Kurosaki T., Jin J., Jun X., Morgan A., Takata M., Bolen J., Luben R.: *Exposure of B-lineage lymphoid cells to low energy electromagnetic fields stimulates Lyn kinase*, J. Biol. Chem., 270(46), 27666-27670, (1995).
- Veicsteinas A., Belleri M., Cinquetti A., Parolini S., Barbato G., Molinari-Tosatti M.P.: *Development of chicken embryos exposed to an intermittent horizontal sinusoidal 50Hz magnetic field*, Bioelectromagnetics, 17(5), 411-424, (1996).
- Villa M., Mustarelli P., Caprotti M.: *Biological effects of magnetic fields*, Life Scie., Vol. 49, 85-92, (1991).
- Walleczek S.J.: *Electromagnetic field effect on cells of the immune system: the role of calcium signalling*, FASEB J., 6, 3177-3181, (1992).
- Zhang X.R., Kobayashi H., Hayakawa A., Ishigaki T.: *An evaluation of the biological effects of three different modes of magnetic fields on cultured mammalian cells*, Nagoya J. Med. Sci., 58(3-4) 157-164, (1995).
- Żmudziński W.: *Ocena oddziaływania wolnoziemnych pól magnetycznych na namnażanie bakterii Staphylococcus aureus*, rozprawa na stopień doktora nauk medycznych, 1997.

**Spis treści/Contents****Magnetoterapia/Magnetotherapy**

Komórkowe efekty oddziaływania wolnozmiennych pól magnetycznych (Cytological effects of extremely low frequency magnetic fields)

A. Sieroń, A. Kawczyk-Krupka

79

**Lasery w medycynie/Lasers in medicine**

Dermabrazja laserowa: Porównanie urządzeń laserowych (Laser skin resurfacing: Comparison of laser systems)

E. Rohde, G. Müller

87

**Komputery w medycynie/Computers in medicine**

Opracowanie komputerowego systemu wspomagania okulistycznego oddziału operacyjnego (Elaboration of a computer management system for ophthalmologic hospital operation room)

T. Teodorowicz

93

Przyczyny selektywnego wykorzystania informatyki w medycynie i służbie zdrowia (The causes of the selective use of informatics in medicine and health care)

K. Frączkowski

115

**Listy do redakcji/Letters to editor**

Krioterapia ogólnoustrojowa. Wskazania i przeciwwskazania, przebieg zabiegu, jego skutki fizjologiczne i kliniczne (Whole body cryotherapy. Indications and contraindications, treatment, physiological and clinical results)

H. Gregorowicz, Z. Zagrobelny

119

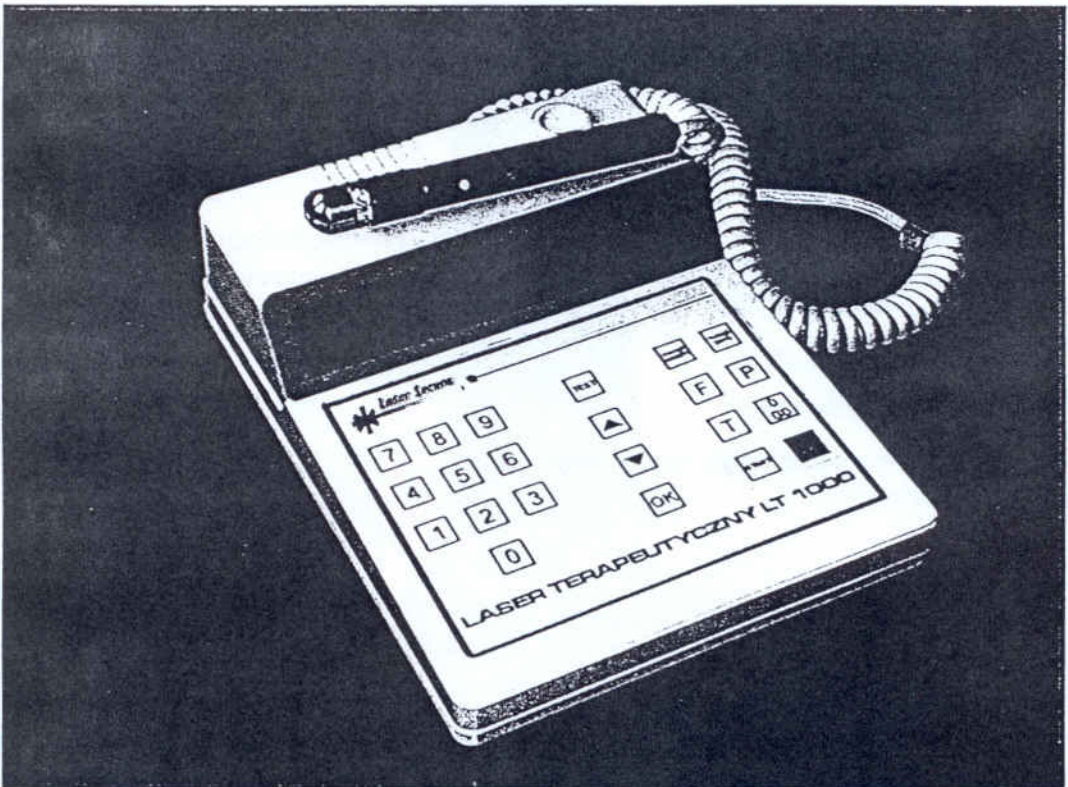
**Recenzje książek/Book review**

Zarys fotodynamicznej diagnostyki i terapii nowotworów

132



# MEDYCYNA FIZYKALNA LASERY KOMPUTERY



*ACTA BIO – OPTICA* NR 3/98 vol. 4  
*ET INFORMATICA MEDICA*