

Zbornik radova prvog simpozijuma
sa međunarodnim učešćem

“BIOLOŠKI EFEKTI VEŠTAČKIH ELEKTROMAGNETNIH POLJA”

Urednik: Jelena Mihaljev-Martinov



2009
Simpozijum
BIOLOŠKI EFEKTI
VEŠTAČKIH
ELEKTROMAGNETNIH POLJA

UNIVERZITET U NOVOM SADU
MEDICINSKI FAKULTET
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA

Novi Sad
29 - 30.
maj



Univerzitet u Novom Sadu
Medicinski fakultet i Fakultet tehničkih nauka
29-30.5.2009. Novi Sad

Posebno izdanje Zbornik radova sa Prvog simpozijuma sa međunarodnim učešćem
Biološki efekti veštačkih elektromagnetnih polja, urednik: Jelena Mihaljev-
Martinov

Simpozijum su finansijski pomogli Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj
Republike Srbije i Pokrajinski sekretarijat za nauku AP Vojvodine

Izdavač
Medicinski fakultet Novi Sad
Copyright ©, Medicinski fakultet Novi Sad 2009.

Glavni i odgovorni urednik
Prof. dr Nikola Grujić

Uređivački odbor
Prof. dr Stevan Popović
Prof. dr Aleksandar Miličić
Prof. dr Milan Simić
Prof. dr Tomislav Cigić
Prof. dr Đorđe Považan
Prof. dr Nevena Sečen
Prof. dr Dubravka Marković
Prof. dr Jovan Popović
Doc. dr Đorđe Gajdobranski
Doc. dr Marija Jevtić
Dr sc. med. Silvija Brkić

Tiraž 200

Tehnička priprema
Dušan Zeremski

CIP - Каталогизација у публикацији
Библиотека Матице српске, Нови Сад

537.8(082)

**СИМПОЗИЈУМ са међународним учешћем Биолошки ефекти вештачких
електромагнетних поља (1 ; 2009 ; Нови Сад)**

Zbornik radova sa Prvog simpozijuma sa međunarodnim
učešćem Biološki efekti veštačkih elektromagnetnih polja,
Univerzitet u Novom Sadu, 29-30.5.2009, Novi Sad
[Elektronski izvor] / urednik Jelena Mihaljev-Martinov. -
Novi Sad : Medicinski fakultet : Fakultet tehničkih nauka,
2009. - 1 elektronski optički disk (CD-ROM) : tekst, slika,
zvuk ; 12 cm

Radovi na srp. i engl. jeziku. - Nasl. sa naslovnog ekrana. - Bibliografija.

ISBN 978-86-7197-304-5

1. Михаљев-Мартинов, Јелена

а) Електромагнетна поља - Биолошки ефекти - Зборници

COBISS.SR-ID 239885319

PRIKAZ ISTRAŽIVANJA EFEKATA KONSTANTNIH I PROMENLJIVIH MAGNETNIH POLJA NA BIOLOŠKE SISTEME

Zlatko Prolić, Branka Janać, Dajana Todorović, Ljiljana Nikolić, Snežana Rauš, Vera Nenadović, Vesna Perić-Mataruga, Aleksandra Patenković, Gordana Ristanović
Institut za biološka istraživanja (IBISS), Univerzitet u Beogradu, Bul. despota Stefana
142, 11060 Beograd, Srbija. zlapro@ibiss.bg.ac.yu

Interes za istraživanja magnetobioloških i biomagnetnih fenomena u različitoj meri se provlači kroz istoriju nauke od najranijih dana do danas. Biološki efekti magnetnih polja različitih karakteristika ispitivani su kod živih bića na svim nivoima biološke organizacije, od subćelijskog i ćelijskog nivoa do visokoorganizovanog višćelijskog sistema i populacija. U eksperimentalnim studijama korišćena su konstantna (permanentna, stalna) magnetna polja različitih intenziteta, kao i promenljiva magnetna polja najširih frekventnih opsega od ekstremno niskofrekventnih (ENF), čak ispod vrednosti od 1 Hz, preko ekstremno visokofrekventnih u IC, vidljivom i UV delu spektra, do jonizujućih elektromagnetnih polja.

U početku formiranja ideje o magnetobiološkoj laboratoriji u okviru IBISS-a, efekti magnetnih polja praćeni su na različitim model sistemima. Osnovno pitanje koje se nametalo u ovim istraživanjima je bilo kako različiti organizmi reaguju na prisustvo dodatnih magnetnih polja, kao faktora spoljašnje sredine, čiji intenziteti višestruko prevazilaze vrednosti prirodnog magnetnog polja.

Na modelu mikrobiološke oksidacije Fe^{++} bakterije *Thiobacillus ferrooxidans*, rezultati naših istraživanja su pokazali da se na 13°C kultura ove bakterije u tečnoj Leathen-podlozi razvija sporije u uslovima izlaganja konstantnom magnetnom polju od 104 mT i 231 mT [14,22]. Za razliku od konstantnog magnetnog polja, izlaganje kultura ove vrste bakterija promenljivom magnetnom polju (50 Hz, oko 6 mT) ubrzava aktivnost populacije bakterija [25]. Na ovom modelu je jasno uočeno da efekat zavisi od intenziteta magnetnog polja i koncentracije gvožđa u podlozi.

Na modelu ponašanja riba sunčanice *Lepomis gibbosus* i babuške *Carassius gibelio*, uočena je izrazita individualna varijabilnost u motornom ponašanju ovih riba koje su višekratno (1.5h odnosno 8h dnevno u toku 40 dana) izlagane konstantnom magnetnom polju od 20 mT [14]. I pored toga, svođenjem na prosek motorna aktivnost ovih riba je bila znatno smanjena u odnosu na kontrolne jedinice.

Dalja istraživanja su se usmerila na procese razvića. U tom pogledu su se pokazale vrlo pogodne populacije larvi pčela *Apis mellifera*, uzete sa saćem iz košnice, koje su bile u fazi zatvorenih legala. Larve pčela izložene konstantnom magnetnom polju prosečne vrednosti od 122 mT razvijale su se statistički značajno brže od onih u kontrolnim uslovima [19]. Efekat ubrzanog razvića larvi insekata u konstantnom magnetnom polju uočen je i kod vrsta *Drosophila melanogaster* i *Tenebrio molitor* [20,21], kao i kod paličnjaka *Baculum extradentatum* izloženih konstantnom magnetnom polju (320 mT) i promenljivom magnetnom polju (50 Hz, 6 mT) [7]. Za razliku od pomenutih insekata, promenljivo magnetno polje (50 Hz, 6 mT) značajno usporava metamorfozu kućne muve (*Musca domestica* L.) na temperaturi od 19°C i 24°C [27]. Pored toga, magnetno polje pomenutih karakteristika produžava dužinu života odraslih jedinki kućne muve na temperaturi od 24°C. Preživljavanje i masa larvi kućne strižibube (*Hylotrupes bajulus* L.) su

povećani kod jedinki koje su izlagane konstantnom magnetnom polju od 98 mT u odnosu na kontrolnu grupu [24].

Na osnovu ovih zapažanja, postavljeni su ogledi sa ciljem da se otkrije eventualni efekat spoljašnjeg magnetnog polja na genetičke mehanizme. Tako je ustanovljeno kod *Drosophila melanogaster* da je varijabilnost unutar grupa mušica izloženih konstantnom magnetnom polju prosečne vrednosti od oko 150 mT znatno veća nego kod onih u kontrolnim uslovima [15,16]. Kada se podaci o preživljavanju pojedinih grupa mušica razdvoje na kategorije preživljavanja (letali, semiletali, subvitali, normalni, supervitali) dobija se nova informacija o preraspodeli ovih efekata vezanih za drugi par hromozoma među kategorijama kod kontrolnih i tretiranih jedinki *Drosophila melanogaster*. Ovaj efekat konstantnog magnetnog polja se održavao kroz tri praćene generacije vinskih mušica.

Da su genetski mehanizmi podložni promeni usled delovanja magnetnog polja pokazala su istraživanja u kojima su praćeni veličina i bilateralna asimetrija krila kod *Drosophila melanogaster* izloženih konstantnom magnetnom polju od 35 mT kroz 6 uzastopnih generacija [26]. Pokazano je da se pod dejstvom magnetnog polja pomenutih karakteristika smanjuje veličina krila *Drosophila melanogaster*, dok bilateralna asimetrija krila kao pokazatelj razvojne nestabilnosti nije značajno povećana.

Elektromagnetna polja ENF predstavljaju još jedan od abiotičkih faktora koji je sve prisutniji u životnoj sredini. Akutno ili hronično izlaganje elektromagnetnim poljima, čije vrednosti samo nekoliko puta prevazilaze vrednosti zemljinog magnetnog polja, može predstavljati stres za organizam u mnogobrojnim biološkim aspektima. U prisustvu elektromagnetnog polja (50 Hz, 0.25 mT), koje je u širokoj primeni u domaćinstvu, industriji i saobraćaju, dolazi do povećanja veličine tela jedinki *Drosophila subobscura* oba pola, dok nižu razvojnu stabilnost u ovim uslovima pokazuju samo ženke i to za širinu krila [10]. Ovi rezultati ukazuju da izlaganje ovakvom magnetnom polju može imati stresogeni efekat sa određenim biološkim posledicama.

Novija istraživanja koja se odvijaju u okviru Laboratorije za magnetobiologiju IBISS-a pokušavaju da daju odgovor na pitanje koji su osnovni principi percepcije spoljašnjih magnetnih polja, kao i mehanizmi odgovora biosistema na dodatni faktor spoljašnje sredine, kako u normalnim tako i u izmenjenim fiziološkim stanjima. U tom cilju se koriste različiti organizmi i njihovi izolovani sistemi (*Helix pomatia*, *Baculum extradentatum*, *Cerambyx cerdo*, *Tenebrio molitor*, *Morimus funereus*, *Ratus ratus*, *Meriones unguiculatus*,...) i različite tehnike (od ekstraćelijske registracije potencijala, preko histološke i biohemijske obrade uzoraka tkiva, do finih mehanizama ponašanja i matematičke obrade dobijenih signala).

Na razrađenom modelu registrovanja bioelektričnih potencijala poreklom iz izolovane subezofagijalne ganglije (Br i N₁ neuroni) vinogradarskog puža *Helix pomatia*, testiran je efekat konstantnog magnetnog polja od 2.7 i 10 mT. Pokazano je da magnetno polje od 2.7 mT prouzrokuje promene u amplitudi i trajanju akcionog potencijala Br neurona, dok magnetno polje od 10 mT menja potencijal mirovanja, amplitudu, frekvencu i trajanje akcionog potencijala Br neurona [9]. Rezultati ovih istraživanja ukazuju da su uočeni efekti na Br neuronu zavisni od intenziteta magnetnog polja. Za razliku od Br neurona, bioelektrični parametri mereni sa N₁ neurona nisu se značajno menjali u prisustvu magnetnog polja pomenutih karakteristika.

U daljem traganju za primarnim mehanizmima percepcije magnetnih polja kod živih sistema, a imajući u vidu prethodne naznake da bi to mogao biti centralni nervni

sistem, pristupilo se sličnim elektrofiziološkim istraživanjima na znatno komplikovanijim moždanim ganglijama kod insekata. Po prvi put registrovana je spontana bioelektrična aktivnost iz antenalnog regiona mozga strižibube *Morimus funereus*. Nakon izlaganja glavenog regiona adulta konstantnom magnetnom polju od 2 mT, uočena je individualna osetljivost organizama na spoljašnja magnetna polja, koja se ogledala u promenama neuronske aktivnosti tokom i nakon delovanja primenjenog magnetnog polja [28].

Da bi se potkrepili podaci o pretpostavci da je nervni sistem struktura primarno odgovorna za reakciju organizama na različite spoljašnje ekološke faktore uključujući i magnetna polja, posvetila se pažnja i analizi neurosekretornog sistema insekata. Pokazano je da jako statičko magnetno polje (320 mT) utiče na citološke karakteristike i aktivnost protocerebralnih A2' neurosekretornih neurona i *corpora allata* kod lutki *Tenebrio molitor* [11,12]. Nešto ranije, efekti promenljivog ENF magnetnog polja (50 Hz, 20 mT) na aktivnost neurosekretornih neurona i *corpora allata* uočeni su i kod larvi strižibube *Cerambyx cerdo* [8].

Uticaj magnetnih polja na biohemiju i fiziologiju ćelija ogleda se i kroz promene u produkciji slobodnih radikala i antioksidativnoj odbrani. Kod hemimetabolnog insekta *Baculum extradentatum* čije se embrionalno razviće odvijalo u prisustvu konstantnog (320 mT) i promenljivog (50 Hz, 6 mT) magnetnog polja uočeno je povećanje aktivnosti enzimskih (superoksid dismutaza, katalaza) i neenzimskih (glutation) komponenti antioksidativnog sistema [29].

Najzad, istraživanja na modelu insekata u kojima su ispitivani efekti magnetnih polja na motorno ponašanje strižibube *Morimus funereus* su ukazala na promene u motornoj aktivnosti mužjaka i ženki nakon izlaganja ENF (50 Hz, 2 mT) magnetnom polju [18].

Kod evolutivno viših organizacionih sistema (glodari), uticaj kratkotrajnog i dugotrajnog izlaganja magnetnim poljima praćen je na nivou biohemijske analize parametara oksidativnog stresa, koncentracije nukleotida i aktivnosti receptora u izolovanim strukturama mozga, kao i registracije EEG zapisa i motornog ponašanja. Najznačajniji rezultat biohemijskih istraživanja parametara oksidativnog stresa je da izlaganje pacova (*Ratus ratus*) i pustinjskog miša (*Meriones unguiculatus*) ENF magnetnom polju (50 Hz, 0.5 mT) utiče na oksido-redukcione procese u mozgu ispitivanih životinja [2,5,6]. Akutno i hronično izlaganje magnetnom polju pomenutih karakteristika dovodi i do promena u koncentraciji nukleotida (IMP, cAMP, ATP), kao i aktivnosti serotoninских i dopaminskih receptora u izolovanim strukturama mozga pacova [1,4]. Eksperimenti bazirani na registraciji elektrofizioloških zapisa iz mozga pacova su ukazali na sposobnost magnetnih polja da modifikuju aktivnost neurotransmiterskih sistema [30]. Pored toga, spoljašnja ENF magnetna polja modulišu motorno ponašanje eksperimentalnih životinja (*Ratus ratus*, *Meriones unguiculatus*), pri čemu karakter promena zavisi od fizičkih karakteristika polja (intenzitet, dužina izlaganja) i individualnih osobenosti organizama (vrsta, starost, funkcionalno stanje) [1,2,3,13,17,23].

Rezultati svih ovih istraživanja nedvosmisleno pokazuju da „veštačka“ magnetna polja, kao ekofiziološki faktor, indukuju strukturne, biohemijske i funkcionalne promene kod evolutivno različitih organizama.

LITERATURA

- [1] Janać B (2007): Uticaj promenljivog magnetnog polja na motorno ponašanje pacova u laboratorijskim uslovima. Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Biološki fakultet, Beograd.
- [2] Janać B, Dimitrijević D, Rauš S, Selaković V, Radenović L, Prolić Z (2008): Age-dependent effects of magnetic field (50 Hz, 0.5 mT) on motor behaviour and striatal nitric oxide production in *Meriones unguiculatus*. International Conference on Magnetism, Geomagnetism and Biomagnetism, MGB – 2008, 7-8 November, p.18. Sežana, Slovenia.
- [3] Janać B, Pešić V, Jelenković A, Vorobyov V, Prolić Z (2005): Different effects of chronic exposure to ELF magnetic field on spontaneous and amphetamine-induced locomotor and stereotypic activities in rats. *Brain Res Bull* 67(6):498-503.
- [4] Janać B, Tovilović G, Tomić M, Prolić Z, Radenović L (2008): Effect of acute exposure to alternating magnetic field (50 Hz, 0.5 mT) on serotonin and dopamine receptors activity in rat brain. A scientific conference with international participation «Current trends in physiological sciences» dedicated to prof. Richard Burian (1871-1954), 17-18 December. Zemun/Belgrade, Serbia.
- [5] Jelenković A, Janać B, Pešić V, Jovanović MD, Vasiljević I, Prolić Z (2005): The effects of exposure to extremely low-frequency magnetic field and amphetamine on the reduced glutathione in the brain. *Ann NY Acad Sci* 1048:377-380.
- [6] Jelenković A, Janać B, Pešić V, Jovanović MD, Vasiljević I, Prolić Z (2006): Effects of extremely low-frequency magnetic field in the brain of rats. *Brain Res Bull* 68(5):355-360.
- [7] Mrdaković M, Todorović D, Mirčić D, Perić-Mataruga V, Vlahović M, Nenadović V, Prolić Z (2007): Uticaj konstantnog i promenljivog magnetnog polja na razviće paličnjaka *Baculum extradentatum* Brunner (Insecta; Phasmatodea). Knjiga Apstrakata, Simpozijum entomologa Srbije sa međunarodnim učešćem, 26-30 septembar, p.18. Užice, Srbija.
- [8] Nenadović V, Mrdaković M, Lazarević J, Mirčić D, Todorović D, Prolić Z (2005): Temperature and magnetic field effects on the activity of protocerebral neurosecretory neurons and *corpora allata* in *Cerambyx cerdo* L. larvae. *Arch Biol Sci (Belgrade)* 57(1):19-24.
- [9] Nikolić Lj, Kartelija G, Nedeljković M (2008): Effect of static magnetic fields on bioelectric properties of the Br and N₁ neurons of snail *Helix pomatia*. *Comp Biochem Physiol A* 151:657-663.
- [10] Patenković A, Kenig B, Savić T (2007): Veličina tela i razvojna stabilnost *D. subobscura* u elektromagnetnom polju ekstremno niske frekvencije. Knjiga Apstrakata, Simpozijum entomologa Srbije sa međunarodnim učešćem, 26-30 septembar, p.45. Užice, Srbija.
- [11] Perić-Mataruga V, Prolić Z, Nenadović V, Mrdaković M, Vlahović M (2006): Protocerebral mediodorsal A2' neurosecretory neurons in late pupae of yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) after exposure to a static magnetic field. *Electromagn Biol Med* 25(3):127-133.
- [12] Perić-Mataruga V, Prolić Z, Nenadović V, Vlahović M, Mrdaković M (2008): The effect of a static magnetic field on the morphometric characteristics of neurosecretory neurons and *corpora allata* in the pupae of yellow mealworm *Tenebrio molitor* (Tenebrionidae). *Int J Radiat Biol* 84(2):91-98.

- [13] Pešić V, Janać B, Jelenković A, Vorobyov V, Prolić Z (2004): Non-linearity in combined effects of ELF magnetic field and amphetamine on motor activity in rats. *Behav Brain Res* 150(1-2):223-227.
- [14] Prolić Z (1979): Odgovor nekih biosistema na delovanje magnetnog polja. Magistarska teza, Univerzitet u Beogradu, Centar za multidisciplinarnе studije, Beograd.
- [15] Prolić Z (1989): Uticaj magnetnog polja na genetičke i razvojne promene kod *Drosophila melanogaster*. Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, PMF, Beograd.
- [16] Prolić Z, Anđelković M (1992): The effect of a strong magnetic field on the frequency of genetic loads in *Drosophila melanogaster*. *Acta Veterinaria (Belgrade)* 42(5-6):343-350.
- [17] Prolić Z, Janać B, Pešić V, Jelenković A (2005): The effect of extremely low-frequency magnetic field on motor activity of rats in the open field. *Ann NY Acad Sci* 1048:381-384.
- [18] Prolić Z, Jovanović R, Konjević Đ, Janać B (2003): Behavioral differences of the insect *Morimus funereus* (Coleoptera, Cerambycidae) exposed to an extremely low frequency magnetic field. *Electromagn Biol Med* 22(1):63-73.
- [19] Prolić Z, Jovanović Z (1986): Influence of magnetic field on the rate of development of honeybee preadult stage. *Period Biol* 88(2):187-188.
- [20] Prolić Z, Lazarević J, Mrdaković M, Popesković D (2001): Comparative examinations of magnetic field effects on pupal development in three holometabolous insect species. *Acta entomologica Serbica* 6(1/2):139-142.
- [21] Prolić Z, Nenadović V (1995): The influence of permanent magnetic field on the process of adult emergence in *Tenebrio molitor*. *J Insect Physiol* 41(12):1113-1118.
- [22] Prolić ZM, Barbić FF (1994): Influence of constant magnetic field on development of bacteria population of *Thiobacillus ferrooxidans*. *Arch Biol Sci (Belgrade)* 46(1-2):33-37.
- [23] Rauš S, Janać B, Todorović D, Radenović L (2008): The effects of extremely low-frequency magnetic field (50 Hz, 0.1, 0.25 and 0.5 mT) on Mongolian gerbils: behavioral and histological study. The VIIth National Congress of Laboratory Medicine with international attendance. The IIIrd Immunopathology Symposium, 20-22 October. Bucharest, Romania.
- [24] Rauš S, Todorović D, Prolić Z (2009): Viability of old house borer *Hylotrupes bajulus* larvae exposed to a constant magnetic field of 98 mT under laboratory conditions. *Arch Biol Sci (Belgrade)* 61(1):129-134.
- [25] Ristanović G (2006): Efekat elektromagnetnog polja od 50 Hz na razvoj populacije gvožđevitih bakterija *Thiobacillus ferrooxidans*. Magistarska teza, Univerzitet u Beogradu, Biološki fakultet, Beograd.
- [26] Stamenković-Radak M, Kitanović I, Prolić Z, Tomišić I, Stojković B, Anđelković M (2001): Effect of a permanent magnetic field on wing size parameters in *Drosophila melanogaster*. [Bioelectromagnetics](#) 22(5):365-369.
- [27] Stanojević V, Prolić Z, Savić T, Todorović D, Janać B (2005): Effects of extremely low frequency (50 Hz) magnetic field on development dynamics of the housefly (*Musca domestica* L.). *Electromagn Biol Med* 24(2):99-107.

[28] Todorović D, Kalauzi A, Prolić Z, Jović M, Mutavdžić D (2007): A method for detecting the effect of magnetic field on activity changes of neuronal populations of *Morimus funereus* (Coleoptera, Cerambycidae). *Bioelectromagnetics* 28(3):238-241.

[29] Todorović D, Mirčić D, Perić-Mataruga V, Mrdaković M, Ilijin L, Prolić Z (2008): Effects of magnetic fields on activity of superoxide dismutase, catalase and total glutathione in *Baculum extradentatum* B. International Conference on Magnetism, Geomagnetism and Biomagnetism, MGB – 2008, 7-8 November, p.20. Sežana, Slovenia.

[30] Vorobyov V, Pešić V, Janać B, Prolić Z (2004): Repeated exposure to low-level extremely low frequency-modulated microwaves affects baseline and scopolamine-modified electroencephalograms in freely moving rats. *Int J Radiat Biol* 80(9):691-698.