

Modele doświadczalne w warunkach *in vitro* i *in vivo* wykorzystywane w badaniach na temat oddziaływania pola elektromagnetycznego na ludzkie tkanki - podsumowanie badań własnych prowadzonych w latach 2001-2014

Streszczenie. Mimo licznych badań, wpływ pól elektromagnetycznych na organizm ludzki nie jest jednoznaczny. W niniejszej pracy przedstawiono podsumowanie doświadczeń własnych na temat wpływu pola elektromagnetycznego na wybrane tkanki ludzkie.

Abstract. Despite numerous studies the impact of electromagnetic fields on the human body is not unequivocal. This paper presents a summary of our own experience on the effects of electromagnetic fields on selected human tissue. (*Experimental models under in vitro and in vivo conditions used in research on the effects of the electromagnetic field on human tissue - a summary of own research conducted in the years 2001-2014*)

Słowa kluczowe: pole elektromagnetyczne, łożysko, plemniki, jajniki
Keywords: electromagnetic field, placenta, spermatozoa, ovaries

Wstęp

Każdego dnia organizm ludzki poddany jest oddziaływaniu pola magnetycznego (PM) Ziemi (30–70 μT). Badania wykazują, że niektóre urządzenia codziennego użytku (m.in. gospodarstwa domowego, telekomunikacyjne) emitują sztuczne pola elektromagnetyczne, które zakłócają pole geomagnetyczne. Na podstawie piśmiennictwa można stwierdzić, że w okresie ostatnich trzech stuleci wartość PM Ziemi zmniejszyła się o 15% co przez wielu badaczy łączone jest z pojawieniem się niektórych przewlekłych schorzeń [1].

Powszechnie uważa się, że pola elektromagnetyczne nie są rejestrowane ludzkimi zmysłami dlatego też często są traktowane jako niezwykle groźny czynnik środowiskowy [2]. Obserwowane skutki biologiczne są uzależnione przede wszystkim od częstotliwości i natężenia pola, źródeł pola (systemy radiowo-telewizyjne, radiokomunikacji, radiolokacji, radionawigacji, elektroenergetyczne urządzenia przemysłowe, medyczne urządzenia terapeutyczne i diagnostyczne, elektronarzędzia, elektryczny sprzęt gospodarstwa domowego), rozłożenia ekspozycji w czasie oraz przebiegu linii sił pola względem tkanek [2,3,4,5].

Długotrwała ekspozycja na pole elektromagnetyczne może mieć negatywny wpływ na stan zdrowia. Wpływa na pobudzenie nerwów i mięśni, wrażenia słuchowe oraz wzrokowe, układ sercowo-naczyniowy, wzrost ryzyka wystąpienia chorób nowotworowych oraz o podłożu neurologicznym, zaburzenia snu, drażliwość, osłabienie, bóle głowy, zaburzenia hormonalne oraz płodności [6,7].

Projekty dotyczące wpływu pola magnetycznego na tkankę ludzką

W roku 2001 po raz pierwszy w Uniwersytecie Medycznym w Lublinie przeprowadzone zostały eksperymenty dotyczące oddziaływania pola elektromagnetycznego o zmienności sinusoidalnej 50 Hz i o indukcji magnetycznej 0,5, 2 i 5mT na perfundowany zrazik łożyska ludzkiego w warunkach *in vitro*. W piśmiennictwie nie było wówczas danych na ten temat. Początkowo eksperymenty realizowano w ramach projektu – PW 143/2001: „Wpływ pola elektromagnetycznego na przemiany biochemiczne, biofizyczne i morfologiczne w warunkach dwustronnej perfuzji zrazika łożyska ludzkiego *in vitro*”. Natomiast od 2003r. projektu – w

ramach PW 137/04: „Badania nad oddziaływaniem zmiennego jednorodnego sinusoidalnego pola elektromagnetycznego na zrazik łożyska ludzkiego w warunkach *in vitro*”. Od 2001 do 2004r. prowadzony był projekt badawczy realizowany w ramach Komitetu Badań Naukowych nr 6 P05E 044 20: „Wpływ pola elektromagnetycznego na morfologię, funkcję oraz strukturę DNA, przemiany biochemiczne, biofizyczne i morfologiczne łożyska ludzkiego w warunkach dwustronnej perfuzji zrazika *in vitro*”.

Badania własne dotyczące wpływu pola elektromagnetycznego na tkankę ludzką

Szczegóły przeprowadzonych eksperymentów są przedstawione we wcześniejszych publikacjach [8,9,10,11].

Łožysko ludzkie

Na podstawie przeprowadzonych eksperymentów stwierdzono, że sinusoidalne pole elektromagnetyczne ze składową magnetyczną 0,5mT, 2mT, 5mT i częstotliwości 50Hz zwiększa opory naczyniowe łożyska ludzkiego w czasie 180 min perfuzji w warunkach *in vitro*. Ponadto takie pole elektromagnetyczne, ze składową magnetyczną 0,5mT i 2mT, nasila uwalnianie jonów wodoru z perfundowanego *in vitro* zrazika łożyska ludzkiego do żylnego obiegu płodowego w czasie 180 min, a dla 5mT od 90 min do 180 min do żylnego obiegu matczyngo. Przy wartościach 0,5mT i 2mT także zwiększa się uwalnianie tych jonów z perfundowanego *in vitro* zrazika od 120 min do 180 min do żylnego krążenia matczyngo. Na tej podstawie stwierdzono, że w zastosowanym modelu doświadczalnym pole elektromagnetyczne o częstotliwości 50Hz ma istotny wpływ na obniżenie pH zrazika łożyska ludzkiego. W wyniku takiej ekspozycji stwierdzono, że obniża się zużycie tlenu w płodzie od 150 min do 180 min, a oddziaływanie tego pola o indukcji 2mT i 5mT – od 90 min do 180 min. Kolejne wyniki badań dały podstawy do stwierdzenia, że w polu elektromagnetycznym nasila się wytwarzanie kwasu mlekowego w perfundowanym *in vitro* zraziku łożyska ludzkiego od 90 min do 180 min eksperymentu. Zwiększone stężenie kwasu mlekowego stwierdzono w płynie perfuzyjnym zarówno krążenia matczyngo jak i płodowego. Zaś oddziaływanie pola elektromagnetycznego (indukcja składowej magnetycznej 0,5mT i częstotliwości 50Hz nasila stężenie

kwasy mlekowe od 90 min do 180 min wyłącznie w krążeniu płodowym. Na tej podstawie wysunięto przypuszczenie, że testowe pole elektromagnetyczne o częstotliwości 50Hz zwiększa beztlenową przemianę glukozy w zraziku łożyska ludzkiego per fundowanego *in vitro*. Ponadto przyjęte w tych badaniach pole elektromagnetyczne istotnie nasila uwalnianie kationów sodu z perfundowanego *in vitro* zrazika łożyska ludzkiego. Nasilenie stężenia Na^+ stwierdzono w płynie perfuzyjnym krążenia płodowego odpowiednio: od 60 min do 150 min; od 30 min do 90 min i w 150 min; od 30 min do 150 min. Zaś ww. pole 5mT nasila uwalnianie tego kationu od 30 min do 180 min jedynie do krążenia matczyngo. Na tej podstawie wysunięto przypuszczenie, że pole elektromagnetyczne o indukcji 5mT i częstotliwości 50Hz zaburza tzw. „gospodarkę elektrolitową” dotyczącą jonów sodu w perfundowanym *in vitro* zraziku łożyska ludzkiego. Ponadto w wyniku ekspozycji na pole o indukcji 0,5mT i częstotliwości 50Hz obserwowano istotnie zwiększone uwalnianie kationów wapnia z perfundowanego *in vitro* zrazika łożyska ludzkiego do krążenia płodowego w czasie 180 min eksperymentu, natomiast pole o indukcji 2mT od 120 min do 180 min i 5mT od 90 min do 180 min. Nasilone uwalnianie kationów Ca^{++} do krążenia matczyngo stwierdzono także w warunkach oddziaływania pola elektromagnetycznego o indukcji składowej magnetycznej 2mT w czasie 180 min i ww. pola 5mT od 150 do 180 min. Wyniki badań własnych mogą świadczyć, że pole elektromagnetyczne o częstotliwości 50Hz zaburza także tzw. „gospodarkę elektrolitową” dotyczącą jonów wapnia perfundowanego *in vitro* zrazika łożyska ludzkiego. Kolejne wyniki badań uzyskane z prowadzonych eksperymentów własnych wykazały, że pole o indukcji 2mT i 5mT oraz częstotliwości 50Hz istotnie obniża wytwarzanie HCG przez perfundowany *in vitro* zrazik łożyska ludzkiego odpowiednio w czasie: 180 min oraz w 120 min. Ponadto pole o indukcji 5mT istotnie zmniejsza wytwarzanie HPL od 60 min do 180 min eksperymentu. Na tej podstawie można przypuszczać, że pole elektromagnetyczne o częstotliwości 50Hz ma wpływ na czynność hormonalną perfundowanego *in vitro* zrazika łożyska ludzkiego. Na podstawie oceny morfologicznej, zarówno w mikroskopie świetlnym jak i elektronowym, preparatów uzyskanych po 180 min ze zrazików łożysk ludzkich perfundowanych *in vitro* w polu elektromagnetycznym o częstotliwości 50Hz stwierdzono, że istotnie nasila się uszkodzenie struktur cyto- i syncytiotrofoblastu wraz z wielkością indukcji magnetycznej ww. pola. Ponadto, w kolejnej grupie obejmującej badania immunohistochemiczne dotyczące ekspresji HSP90 w perfundowanych *in vitro* zrazikach w warunkach ekspozycji na pole o indukcji 5mT i częstotliwości 50Hz obserwowano jej nasilenie, (ocenione na ++ w skali do 3 +) w czasie 180 min eksperymentu w jądrach komórek śródbłonna kosmków. W grupie oznaczeń biofizycznych potwierdzono wyniki badań, jakie przedstawiono w piśmiennictwie (uzyskanych na podstawie eksperymentów na zwierzętach), że pole elektromagnetyczne o częstotliwości 50Hz nie zwiększa (podwyższa) wewnętrzną temperaturę zrazika łożyska ludzkiego w czasie 180 min perfuzji *in vitro*. Na tej podstawie stwierdzono, że wyniki badań własnych dają podstawy do przypuszczenia, że pole o częstotliwości 50Hz jest prawdopodobnie jednym z egzogennych czynników (ksenobiotyków) mających wpływ na funkcje biofizyczne, biochemiczne i morfologię perfundowanego *in vitro* zrazika łożyska ludzkiego w czasie 180 min eksperymentu [8,9,10,11].

Plemniki ludzkie

W latach 2006 – 2011 w Uniwersytecie Medycznym w Lublinie przeprowadzono kolejną grupę eksperymentów na temat wpływu pola magnetycznego o częstotliwości 50Hz na plemniki ludzkie w warunkach *in vitro*. Badaniom poddano nasienie uzyskane od 268 pacjentów, z czego 105 spełniało wszystkie kryteria jakościowe – wg kryteriów WHO [12]. Oceniono następujące parametry nasienia z normospermia: – upłynnienie, objętość, pH, koncentrację plemników, aglutynację, aglomerację, viatibility, HOST (Hypo-Osmotic Swelling Test) – dotyczący ciągliwości błony plemników, leukocyty, komórki nabłonka i prostaty, niedojrzałe plemniki, komórki spermatogenezy, preparaty barwione (morfologia poszczególnych elementów: główki, wstawki i wittki), ruch: A (żywy postępowy), B (wolny postępowy) i C (oscylujący). Wyniki badań własnych dotyczące ekspozycji w polu magnetycznym o indukcji magnetycznej 0,5mT o częstotliwości 50Hz podczas 30, 90 i 180 min dały podstawy do przypuszczenia, że ekspozycja ww. pola wybiórczo obniża ruch A, B i C (wyrażony w %) plemników ludzkich w warunkach doświadczalnych *in vitro*. Stwierdzono, że istotnie zmniejsza się ruch A plemników ludzkich po: 30, 90 i 180 min i istotnie obniża mobilność B plemników po: 90 i 180 min oraz - ruch C – istotnie obniża zarówno po 30 min jak i po 90 min doświadczenia. W końcowych wnioskach stwierdzono, że pole magnetyczne o indukcji 0,5mT i częstotliwości 50Hz może być jednym z ksenobiotyków, który selektywnie obniża biologiczne parametry nasienia mężczyzn i także może być czynnikiem „sprawczym” wpływającym na niepłodność małżeńską [13].

Jajniki ludzkie

W latach 2011 - 2014 (w ramach DS/122) prowadzono kolejne badania eksperymentalne pt.: „Efekt termiczny w wyniku oddziaływania pola elektromagnetycznego o częstotliwości 50Hz wytwarzanego przez aparaturę medyczną stosowaną w trakcie zabiegów laparoskopowych na jajnikach kobiet (w wieku rozrodczym) leczonych w warunkach *in situ*. Standardowo stosowany w laparoskopii sprzęt elektryczny do koagulacji tkanek, naczyń tętniczych i żylnych itp. wykorzystuje prąd zmienny o częstotliwości 50Hz. Temperatura „pracy” wszystkich urządzeń koagulujących stosowanych w trakcie zabiegów operacyjnych wynosi od 103°C do 106°C. Wiadomo, że denaturacja białek następuje powyżej 43°C. Można przypuszczać, iż bezpośrednia koagulacja monopolarna i bipolarna na jajnikach operowanych kobiet, szczególnie w wieku rozrodczym, nie jest obojętna dla ich płodności. Dlatego też w trakcie laparoskopii dokonano pomiarów temp. bezpośredniego (*in situ*) jajników: w miejscu koagulacji (1 cm i 2 cm) (oraz otrzewnej ściennej, pęcherza moczowego i jelit). Wykorzystano ciągly zapis komputerowy -za pomocą urządzenia pomiarowego (Professional Thermocouple Thermometers DT-8891E) przez wprowadzony dodatkowy czwarty trokar i elektroniczny termometr dotykowy firmy EMED. Stwierdzono, iż we wszystkich laparoskopiach przekroczone 43°C w pomiarach *in situ* na jajnikach. Ponadto dalszym celem badań będzie opracowanie epidemiologiczne – na podstawie ankiet uzyskanych od operowanych kobiet po 3 latach, dotyczące ew. zaburzeń płodności kobiet. Na badania uzyskano zgodę Komisji Bioetycznej przy Uniwersytecie Medycznym w Lublinie nr. KE-0254/102/2008. Podstawowym problemem, było uzyskanie świadomej zgody pacjentek w uczestniczeniu w wyżej wymienionym badaniu. Pacjentki nie wyrażały zgody na wykonanie dodatkowego wprowadzenia trokaru (nacięcia nad spojeniem łonowym) do ciągłego pomiaru temperatury. Statystycznie co 7 kobieta akceptowała ten wariant operacji. Łącznie

przeprowadzono 119 procedur udokumentowanych tego rodzaju pomiarów i jedynie w przypadku 17 pacjentek (14,3%) materiał poddanych analizie statystycznej, od których uzyskano tzw. „świadomą zgodę”, co stanowiło 14,3% przypadków poddanych analizie statystycznej. Badaniami objęto pacjentki, które nie rodziły lub/i były leczone z powodu niepłodności pierwotnej lub wtórnej w wieku od 23 do 38 lat. Pomiary prowadzono od 2009 do 2014 roku. Podstawową odmową w wykonaniu tego typu pomiarów była obawa przed dodatkową blizną po wprowadzeniu dodatkowego trokara nad spojeniem łonowym. Nie przekonało w/wym. pacjentek, które nie wyraziły zgody na tego typu pomiary, iż ciągły pomiar temperatury w warunkach *in situ* może być zabezpieczeniem przed nadmiernym oddziaływaniem temperatury na jajniki. Na podstawie analizy statystycznej stwierdzono, że we wszystkich przypadkach przekroczono temperaturę 43°C w trakcie laparoskopii. Średni czas laparoskopii wynosił $40,76 \pm 9,75$ min., a średnie stosowanie elektronarzędzi monopolarnych wynosiło $10,88 \pm 5,06$ min., a bipolarnych $9,0 \pm 5,41$ min. Obserwowano także, iż w wyniku podania do jamy brzusznej ok. 5 litrów CO₂ (standardu w trakcie laparoskopii), nastąpiło istotne obniżenie temperatury w jamie brzusznej i w otoczeniu pozostałych narządów. Można przypuszczać, że był to wynik gwałtownego rozprężenia gazu w jamie brzusznej. W piśmiennictwie jest brak danych na ten temat.

Podsumowanie

Mimo licznych badań wpływ pola elektromagnetycznego na organizm ludzki nie jest jednoznaczny. Jednak na podstawie dotychczasowych badań pole elektromagnetyczne o niskiej częstotliwości zaliczono do grupy 2B czynników rakotwórczych w klasyfikacji Międzynarodowego Instytutu Badań nad Rakiem [IARC 2002]. Mimo to istnieje potrzeba prowadzenia ciągłych badań naukowych, które mogłyby wyjaśnić w sposób jednoznaczny wpływ pola elektromagnetycznego na żywy organizm [2].

Autorzy: dr hab. n. med. Maciej Łopucki, Uniwersytet Medyczny w Lublinie, I Katedra i Klinika Ginekologii Onkologicznej i Ginekologii, ul. S. Staszica 16, 20-081 Lublin, E-mail: mlopucki@wp.pl; dr n. med. Agnieszka Grajka, Uniwersytet Medyczny w Lublinie, I Katedra i Klinika Ginekologii Onkologicznej i Ginekologii, ul. S. Staszica 16, 20-081 Lublin, E-mail: grajkaagnieszka@yahoo.com; dr n. med. Piotr Bijak, Uniwersytet Medyczny w Lublinie, I Katedra i Klinika Ginekologii Onkologicznej i Ginekologii, ul. S. Staszica 16, 20-081 Lublin, E-mail: pbijak@op.pl

LITERATURA

- [1] Janicki J.S., Janicki Ł.J., Wpływ gradientowego pola magnetycznego na organizm człowieka, *Acta Biooptica Inf. Med.*, 14 (2008), nr.4, 229-230
- [2] Karpowicz , Pola elektromagnetyczne, W: Zawieska W.M., Ryzyko zawodowe. Metodyczne podstawy oceny, *CIOP-PIB Warszawa*, 2007, 227-258
- [3] Sieroń A., Pasek J., Mucha R., Magnetoterapia, *Rehab. Prakt.*, (2006), nr.3, 29-32
- [4] Gryz K., Karpowicz J., Zasady oceny zagrożeń elektromagnetycznych związanych z występowaniem prądów indukcyjnych i kontaktowych, *Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy.*, 58 (2008), nr.4, 143-171
- [5] Kasprzyk R., Butlewski M., Pole elektromagnetyczne jako czynnik szkodliwy w przemyśle elektroenergetycznym, *Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej.*, (2013), nr.59, 19-33
- [6] Borkiewicz A, Skutki zdrowotne działania pól elektromagnetycznych - przegląd badań, *Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy.*, 58 (2008), nr.4, 67-88
- [7] Wiaderkiewicz R., Skutki biologiczne ekspozycji na pole elektromagnetyczne - badania eksperymentalne, *Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy.*, 58 (2008), nr.4, 47-66
- [8] Łopucki M., Czekierdowski A., Rogowska W., Kotarski J., The effect of oscillating low intensity magnetic field on the Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺, and Mg⁺⁺ concentrations in the maternal and fetal circulation of the dually perfused human placental cotyledon, *Bioelectromagnetics.*, 25 (2004), nr.5, 329-337
- [9] Łopucki M., Schmerold I., Dadak A., Wiktor H., Niedermüller H., Kankofer M., Low dose magnetic fields do not cause oxidative DNA damage in human placental cotyledons in vitro, *Virchows Arch.*, 446 (2005), nr.6, 634-639
- [10] Łopucki M., Rogowska W., Pietruszewski S., Kornarzyński K., Kowalski P., Kotarski J., Oxygen transfer and consumption in human placenta exposed to variable magnetic fields in vitro, *Ginekol. Pol.*, 75 (2004), nr.3, 177-186
- [11] Łopucki M., Łańcut M., Rogowska W., Czerny K., Jędrych B., Pietruszewski S., Kornarzyński K., Kotarski J., Evaluation of the morphology of the human placental cotyledon following dual in vitro perfusion in variable magnetic field, *Ginekol. Pol.*, 74 (2003), nr.10, 1187-1193
- [12] World Health Organization, WHO Laboratory Manual for the examination and processing of human semen. Fifth edition, World Health Organization Press, Geneva, 2010
- [13] Bijak P., Wpływ pola elektromagnetycznego o niskiej indukcji magnetycznej na wybrane parametry nasienia ludzkiego w warunkach *in vitro*, *Rozprawa doktorska, Uniwersytet Medyczny w Lublinie*, 2010