

Wpływ pola elektromagnetycznego na rozród człowieka

Streszczenie. Oddziaływanie fal elektromagnetycznych na rozród człowieka odbywa się poprzez wpływ na męski i kobiecy układ rozrodczy oraz na rozwijający się zarodek a następnie płód. Wiedza na ten temat wciąż się rozwija, lecz nadal nie znamy wszystkich uwarunkowań rozrodu człowieka. Artykuł prezentuje istniejący stan wiedzy na ten temat oparty na najnowszych doniesieniach naukowych w tym zakresie.

Abstract. The interaction of electromagnetic waves on the human reproductive system takes place through the influence on masculine and feminine reproduction system, as well as on the developing embryo, and then – on the fetus. The knowledge on this subject is still being developed, but we do not know the determinants of human reproduction. The article presents the current status of knowledge on this, based on the most recent scientific contributions in this regard. (**The influence of electromagnetic waves on the human reproduction**).

Słowa kluczowe: rozród człowieka, fale elektromagnetyczne, niepłodność

Keywords: human reproduction, electromagnetic waves, infertility

Wstęp

Promieniowanie elektromagnetyczne (EMR - ang. *electromagnetic radiation*) pochodzące zarówno ze środowiska naturalnego, jak i z urządzeń przemysłowych codziennego użytku oddziałują nieustannie na ludzki organizm. Efekt działania tego typu energii na żywe tkanki może wywierać różnoraki wpływ na ich funkcjonowanie, a mechanizmy warunkujące to zjawisko nie są w pełni wyjaśnione. Można się spodziewać, że interakcje między promieniowaniem elektromagnetycznym a żywym organizmem będą zależały od ilości i parametrów przekazanej energii i rodzaju ekspozycji tkanki.

Oddziaływanie pól elektromagnetycznych na rozród człowieka odbywa się poprzez wpływ na męski i kobiecy układ rozrodczy oraz na rozwijający się zarodek a następnie płód. Wpływ EMR na układ rozrodczy może dotyczyć efektu termicznego, generowania stresu oksydacyjnego, zmiany struktury białek i wywoływania zmian w transporcie jonów przez błony komórkowe.

Wiedza na ten temat wciąż się rozwija i nadal nie znamy wszystkich uwarunkowań rozrodu człowieka. Podejrzewa się także, że fale elektromagnetyczne wywierając niekorzystny wpływ na rozród człowieka mogą przyczyniać się, jako jeden z wielu czynników środowiskowych, do ujemnego przyrostu naturalnego obserwowanego w wielu krajach Europy.

Pola elektromagnetyczne a męski układ rozrodczy

Męski układ rozrodczy stanowi bardzo wrażliwy na czynniki zewnętrzne zespół tkanek, a plemnik, który nie posiada zdolności do naprawy swojego materiału genetycznego wydaje się być przez to podatny na różnego rodzaju uszkodzenia generowane przez czynniki zewnętrzne. Dotychczasowe doniesienia literaturowe na temat wpływu fal elektromagnetycznych na męskie komórki rozrodcze są niejednoznaczne. Może to wynikać z trudności związanych z wyizolowaniem jednego czynnika wpływającego na spermatogenezę. Przykładem tego są liczne badania analizujące ilość czasu przeznaczoną na prowadzenie rozmów przez telefon komórkowy, które nie biorą pod uwagę zupełnie innego stylu życia i charakteru pracy osób, które są nadmiernie ekspozowane na fale pasma GSM. Można się w tym przypadku zastanawiać, czy na uzyskane wyniki badań, większy wpływ mają fale elektromagnetyczne, czy charakter wykonywanej pracy i być może stres z nią związany. Drugi typ doniesień naukowych bazuje na analizie ekspozycji plemników na określone częstotliwości poza organizmem człowieka, co

wyłącza wpływ innych czynników, lecz nie odtwarza warunków *in vivo*.

Na podstawie badań przeprowadzonych przez Agarwal i wsp. wiadomo, że EMR wywołuje stres oksydacyjny i powoduje zakłócenia w mitochondriach plemników i aktywację oksydazy NADH błony komórkowej [1]. Stres oksydacyjny naraża także plemniki na utratę ruchliwości i zdolności łączenia się z komórką jajową. Zaburzenia układu oksydoredukcyjnego powodują peroksydację lipidów i wolnorodnikowy proces utleniania nienasyconych kwasów tłuszczowych w błonie komórkowej. Na negatywne skutki stresu oksydacyjnego jest narażona także chromatyna plemników, która ulega fragmentacji, a także nasila się proces tworzenia się adduktów DNA [1].

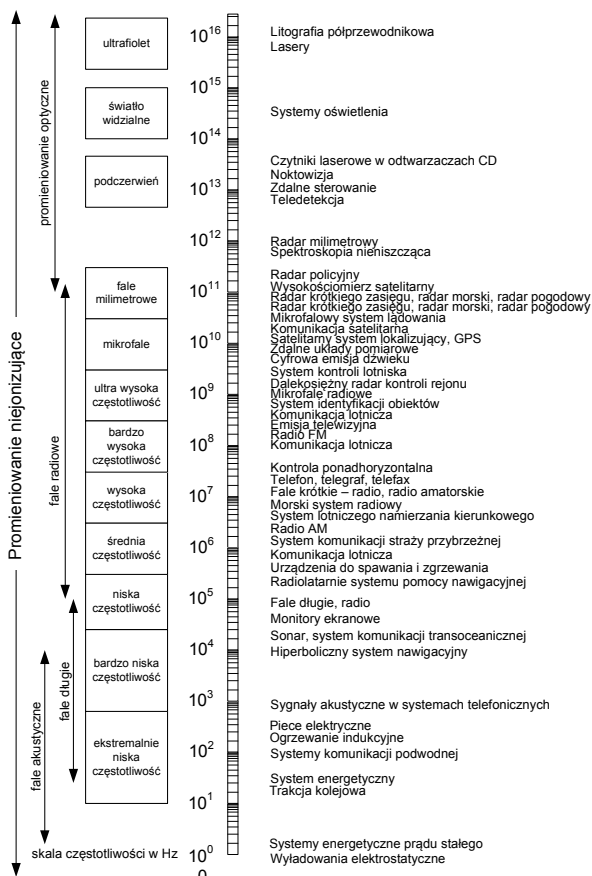
Równowaga w układzie oksydoredukcyjnym, którą zaburzają fale elektromagnetyczne, a także praca kanałów jonowych odpowiadają wspólnie za proces hiperaktywacji nasienia. Jednym z czynników indukujących hiperaktywację i kapacytację jest anionorodnik ponadtlenkowy. Plemniki ludzkie w celu uzyskania zdolności do zapłodnienia komórki jajowej przechodzą szereg zmian metabolicznych dotyczących głównie błony komórkowej. Proces ten określany mianem kapacytacji i zachodzi w drogach rodnych kobiety. W wyniku kapacytacji plemniki osiągają zdolność interakcji ze strukturami wieńca promienistego i później z osłonką przejrzystą owulującego oocytu. W wyniku kapacytacji następuje modyfikacja toru i ruchu gamet, polegająca na zwiększeniu amplitudy i krzywizny uderzenia wtki oraz indukcji wzmożonej siły pchania, określanej jako stan hiperaktywnej ruchliwości [28]. Hiperaktywacja plemników polega na zmianie sposobu ich poruszania się z symetrycznych drobnych ruchów do asymetrycznych uderzeń wtki plemnika. Proces ten jest niezbędny dla przejścia plemnika przez osłonkę przejrzystą komórki jajowej i zapłodnienia. Przedwczesna kapacytacja zachodząca jeszcze w plazmie nasienia wywołuje wyczerpanie energetyczne plemnika i zmniejsza szansę zapłodnienia. Zachowana równowaga w układzie oksydoredukcyjnym jest czynnikiem odpowiedzialnym za właściwy moment kapacytacji. Przesunięcie tej równowagi w jedną stronę wywołuje uszkodzenie plemnika, a w drugą przeciwną może wywołać przedwczesną kapacytację [2,3].

Transport jonów przez błonę komórkową plemnika reguluje jego dojrzewanie w drogach rodnych i decyduje o zdolności do zapłodnienia komórki jajowej. Za prawidłowy przebieg tych zjawisk odpowiadają kanały jonowe: CatSper, pH-regulated, calcium-selective jon channel, K_{Sper} (Slo3) i voltage-gated channel Hv1. Dotychczas sądzono, że wiele

innych kanałów reguluje te procesy, lecz nie było to udowodnione właściwymi pomiarami i dopiero wprowadzenie techniki *patch-clamp* rzuciło nowe światło na możliwości poznania tego zjawiska. Mutacje i delecje genów odpowiedzialnych za funkcjonowanie tych kanałów są odpowiedzialne za istnienie męskiej niepłodności [4,5].

Najbardziej podatnym na pole elektromagnetyczne wydaje się być *voltage-gated channel Hv1*, który jest sensorem napięcia elektrycznego odpowiadającym za procesy związane z zapłodnieniem [6,7]. Opierając się na wynikach badań dotyczących wpływu pola elektromagnetycznego na komórki układu odpornościowego wiadomo, że oddziaływanie modyfikuje transport jonów Ca²⁺ do komórki a częstotliwość zbliżona do 15 Hz ma najsilniejszy wpływ na to zjawisko [8]. Można zatem spodziewać się, że podobne zależności będą dotyczyły również plemnika.

Ze względu na szeroki zakres technologii wykorzystujących i przetwarzających energię elektryczną charakter zjawisk elektromagnetycznych jest skomplikowany, dlatego przy analizach oddziaływania promieniowania należy precyzyjniej prowadzić analizę oddziaływania co najmniej w podziale na zakresy różnych częstotliwości.



Rys.1. Widmo fal elektromagnetycznych zakresu niejonizującego z przykładowymi z przypisanymi do niego typowymi technologiami

Oddziaływania promieniowania optycznego

Od dawna wiadomo, że szczególnie szkodliwym dla mężczyzny źródłem promieniowania są łuki spawalnicze. Promieniowanie ich składa się z intensywnego promieniowania termicznego rozgrzanych do wysokiej temperatury gazów spawalniczych, elementów spawanych lub ciętych, materiału elektrody i topnika, na które nakładają się linie i pasma promieniowania charakterystycznego tych materiałów. Temperatura płomienia palnika gazowego nie

przekracza na ogół 2000 K. Promieniowanie to składa się więc głównie z podczerwieni i światła, a jedynie palniki wodorowe i acetylenowe, charakteryzujące się wyższą temperaturą spalania, mogą emitować bliski nadfiolet.

Doniesienia naukowe na temat wpływu spawania na męską płodność wykazują, że u mężczyzn wykonujących ten zawód występuje pogorszenie parametrów nasienia oraz zwiększony odsetek poronień u ich partnerek. Plemniki osób ekspozowanych na spawanie mają obniżoną zdolność penetrowania do komórki jajowej. Nie udowodniono ewidentnego wpływu epigenetycznego na zdrowie dzieci spawaczy. Nasilenie szkodliwych efektów na męski układ rozrodczy zależy od rodzaju spawanych materiałów i dotyczy zwłaszcza stali miękkiej [9].

Oddziaływania w zakresie pasma radarowego

Ekspozycja na intensywne pola elektromagnetyczne dotyczy także osób obsługujących stacje radarowe. Obecnie radary różnych typów pracują na częstotliwościach od 3 MHz (pasmo HF) do 110 GHz (pasmo W). W dolnej części tego zakresu pracują radary mierzące wysokość jonosfery oraz radary wykorzystujące zjawisko odbicia fal elektromagnetycznych od jonosfery do wykrywania obiektów ukrytych poza horyzontem, często w odległości tysięcy kilometrów. W górnej części zakresu częstotliwości, pracują radary laserowe, mające rozdzielność kątową pozwalającą określać odległości indywidualnych celów na polu walki. Większość radarów jednak pracuje w zakresie częstotliwości od kilkuset megaherców do 100 GHz, w tym znane kierowcom fotoradary, które wykorzystywane do robienia zdjęć kierowców bazują na paśmie 34,3±0,1 GHz.

Doniesienia na temat ich wpływu na męską płodność są sprzeczne. Ye i wsp. oraz Ding i wsp. opisują zwiększenie odsetka plemników patologicznych i obniżenie ruchliwości nasienia, przy jednoczesnym braku wpływu na jego gęstość u pracowników stacji radarowych [10,11]. Weyandt T.B. i wsp. opisują natomiast obniżenie gęstości nasienia u osób narażonych na fale radarowe [12]. Tymczasem Schrader S.M. i wsp. nie wykazali żadnych różnic w jakości nasienia pomiędzy mężczyznami ekspozowanymi na radar a tymi którzy nie są narażeni na jego wpływ [13]. Rozbieżności uzyskane przez autorów w kwestii potencjalnej szkodliwości fal radarowych na rozród mogą wynikać z różnic konstrukcyjnych urządzeń je emitujących.

Oddziaływania w zakresie pasma GSM

Rozwój technologii telekomunikacyjnych przyczynił się do tego, że obecnie niemal każda osoba jest ekspozowana na fale elektromagnetyczne związane z telefonią komórkową [14,15,16,20]. Stosowane są dwie wzajemnie uzupełniające się metody oceny narażenia związanego z ekspozycją ludzi na pole elektromagnetyczne pochodzące od urządzeń telefonii komórkowej; pomiary na fizycznych modelach człowieka – fantomach oraz symulacje komputerowe. Metody te określa się, odpowiednio, jako dozymetrię eksperymentalną i dozymetrię numeryczną. Zaletą podejścia eksperymentalnego jest to, że umożliwia ono badanie rzeczywistych urządzeń. Wadą natomiast jest to, że fantomy materiałne, są bardzo proste (homogeniczne) i nie odwzorowują silnie niejednorodnej budowy wewnętrznej ciała człowieka. Lepiej wygląda natomiast modelowanie komputerowe. Istnieją precyzyjne, anatomiczne modele człowieka, które wykorzystujemy w dozymetrii numerycznej, a w ich efekcie możliwe jest śledzenie rozkładu SAR w różnych częściach ciała i w różnych tkankach [17,18,19,20].

Badania dotyczące ekspozycji mężczyzn na fale emitowane przez telefony komórkowe przeprowadzone przez Wdowiak A. i wsp. równoległe z Fejes i wsp.

zainicjowały zainteresowanie nauki tym zjawiskiem [15,21]. Badania własne wykazały wzrost odsetka plemników patologicznych nasilający się z czasem ekspozycji na fale GSM. Przeprowadzone badania wykazały także obniżenie się odsetka plemników w ruchu postępowym wraz ze zwiększaniem ekspozycji na fale emitowane przez telefony komórkowe. Badania nad wpływem technologii GSM na nasienie kontynuowali Agarwal i wsp. oraz De Iulius i wsp. w 2009 r. [1,16]. Wykazali oni, że fale emitowane przez telefony komórkowe powodują generowanie reaktywnych form tlenu (ROS), co może prowadzić do występowania stresu oksydacyjnego w plemnikach oraz nasilania się fragmentacji DNA. Podobne wyniki badań uzyskał później Liu C. i wsp. badając mysie plemniki [22].

W badaniu, w którym samce myszy zostały poddane promieniowaniu 900 mW/kg na 12 godzin dziennie przez 7 dni, zaobserwowano znaczny wpływ EMR na integralność genomu mitochondrialnego [23]. Dowiedziono także, że długotrwałe rozmowy przez telefon prowadzą do małych zmian temperatury w mózgu, co może wpływać na aktywność osi podwzgórze–przysadka–jądra [24].

Oddziaływania w zakresie niskich częstotliwości

Znaczna ekspozycja na pole elektromagnetyczne dotyczy mężczyzn pracujących przy instalacjach elektrycznych wysokonapięciowych. Knave B. i wsp. badając pracowników ekspozowanych przez wiele lat na kontakt z napięciem 400kV, zauważyli mniejszą liczbę dzieci poczętą przez tych mężczyzn w porównaniu z grupą kontrolną. Wśród dzieci osób narażonych na wysokie napięcia dominowała także płęć męska. Nordström S. i wsp. zauważyli natomiast, że wśród dzieci mężczyzn ekspozowanych na wysokie napięcia częściej występują wady wrodzone. Napowietrzne linie elektroenergetyczne wysokiego napięcia generują pole elektryczne i magnetyczne, które nie tylko są analizowane w odniesieniu do ekspozycji zawodowej, ale również w odniesieniu do środowiska.

Jednocześnie istnieją doniesienia naukowe, które udowadniają korzystny wpływ pól elektromagnetycznych o niższych zakresach częstotliwości zarówno na parametry nasienia, jak i na funkcjonowanie tkanek odpowiedzialnych za rozród człowieka. Przykłady takich doniesień prezentują prace Falahati S.A. i wsp. oraz Łopuckiego M. i wsp., które wykazały, że ekspozycja plemników na fale elektromagnetyczne w zakresie od 10 do 50 Hz przyczynia się do poprawy ruchliwości plemników ludzkich [25,26]. Li D.K. i wsp. uzyskali w przypadku 50 Hz odmienne wyniki, a Tateno H. i wsp. badając występowanie aberracji chromosomalnych w nasieniu narażonym na podobny zakres częstotliwości nie znalazł różnic między grupą kontrolną a badaną [27,28]. Formicki K. i wsp. podczas badania ekspozycji rybich komórek rozrodczych na pole magnetyczne, zauważyli poprawę parametrów ruchu plemników i zwiększony odsetek zapłodnień [29].

Dla urządzeń emitujących pole elektromagnetyczne mające zastosowanie w terapii schorzeń prostaty u zwierząt, Leoci R. i wsp. w swoich badaniach udowodnili, że ekspozycja prostaty psów na częstotliwości 4-12 Hz działa leczniczo na przerost prostaty, nie powodując zmian w parametrach nasienia zwierząt [30].

Wyniki badań potwierdzające korzystny wpływ pól elektromagnetycznych dają nadzieje na ich wykorzystanie w terapii niepłodności człowieka, jednak długofalowe oddziaływanie tego rodzaju energii będzie wymagało skrupulatnych badań dotyczących zwłaszcza możliwych efektów epigenetycznych stwierdzanych dopiero w przyszłych pokoleniach.

Podsumowanie

W chwili obecnej nie można uogólniać szkodliwego, obojętnego lub korzystnego wpływu fal elektromagnetycznych na zdolności rozrodcze człowieka. Można spodziewać się, że istnieją dawki energii działające obojętnie lub korzystnie, a dopiero ich przekroczenie może wywołać efekty szkodliwe. Istniejące doniesienia naukowe są niewystarczającymi dowodami na ostateczne wypowiedzenie się na temat ilości i formy przekazanej energii fali elektromagnetycznej stanowi zagrożenie dla człowieka. Tym bardziej ważne są prowadzone badania monitoringu wartości natężeń pól oraz prowadzenie analizy numeryczne pochłaniania energii.

Autorzy: dr n. med. Artur Wdowiak, Uniwersytet Medyczny w Lublinie, ul. Staszica 4-6, Lublin, E-mail: wdowiakartur@gmail.com; dr inż. Paweł A. Mazurek, Politechnika Lubelska, Instytut Elektrotechniki i Elektrotechnologii, E-mail: p.mazurek@pollub.pl

LITERATURA

- Agarwal A., Desai N.R., Makker K., et al., Effects of radiofrequency electromagnetic waves (RF-EMW) from cellular phones on human ejaculated semen: an in vitro pilot study. *Fertil Steril.*, 92 (2009), n. 4, 1318-25.
- Chen S.J., Allam J.P., Duan Y.G., Haidl G., Influence of reactive oxygen species on human sperm functions and fertilizing capacity including therapeutical approaches. *Arch Gynecol Obstet.*, 288 (2013), n. 1, 191-9.
- Bojar I., Witczak M., Wdowiak A., Biological and environmental conditionings for a sperm DNA fragmentation. *Ann Agric Environ Med.*, 20 (2013), n. 4, 865-8.
- Lishko P.V., Kirichok Y., Ren D., Navarro B., Chung J.J., Clapham D.E., The control of male fertility by spermatozoan ion channels. *Annu Rev Physiol.*, 74 (2012), 453-75.
- Darszon A., Nishigaki T., Beltran C., Treviño C.L., Calcium channels in the development, maturation, and function of spermatozoa. *Physiol Rev.*, 91 (2011), n. 4, 1305-55.
- DeCoursey T.E., Voltage-gated proton channels: molecular biology, physiology, and pathophysiology of the H(V) family. *Physiol Rev.*, 93 (2013), n. 2, 599-652.
- Okamura Y., Fujiwara Y., Sakata S., Gating mechanisms of voltage-gated proton channels. *Annu Rev Biochem.*, 84 (2015), 685-709.
- Walleczek J., Electromagnetic field effects on cells of the immune system: the role of calcium signaling. *FASEB J.*, 6 (1992), n. 13, 3177-85.
- Bonde J.P., The risk of male subfecundity attributable to welding of metals. Studies of semen quality, infertility, fertility, adverse pregnancy outcome and childhood malignancy. *Int J Androl.*, 16 (1993), Suppl 1, 1-29.
- Ye L.L., Suo Y.S., Cao W.L., Chen M., Radar radiation damages sperm quality. *Zhonghua Nan Ke Xue.*, 13 (2007), n. 9, 801-3.
- Ding X.P., Yan S., Zhang N., Tang J., Lu H., Wang X., Tang Y., A cross-sectional study on nonionizing radiation to male fertility. *Zhonghua Liu Xing Bing Xue Za Zhi.*, 25 (2004), n. 1, 40-3.
- Weyandt T.B., Schrader S.M., Turner T.W., Simon S.D., Semen analysis of military personnel associated with military duty assignments. *Reprod Toxicol.*, 10 (1996), n. 6, 521-8.
- Schrader S.M., Langford R.E., Turner T.W., Breitenstein M.J., Clark J.C., Jenkins B.L., Lundy D.O., Simon S., Weyandt T.B., Reproductive function in relation to duty assignments among military personnel. *Reprod Toxicol.*, 12 (1998), n. 4, 465-8.
- Seger R., Friedman J., Kraus S., Hauptman Y., Schiff Y., Mechanism of short-term ERK activation by electromagnetic fields at mobile phone frequencies. *Biochem J.*, 405 (2007), n. 3, 559-68.
- Wdowiak A., Wdowiak L., Wiktor H., Evaluation of the effect of using mobile phones on male fertility. *Ann Agric Environ Med.*, 14(2007), n. 1, 169-72.
- De Iulius G.N., Newey R.J., King B.V., Aitken R.J., Mobile phone radiation induces reactive oxygen species production and DNA damage in human spermatozoa in vitro. *PLoS One*, 4 (2009), n. 7, e644622.
- Ciosk K., Calculation of SAR in biological objects with different parameters, XVIII Sympozjum środowiskowe PTZE, Warszawa-Zamość 2008, 29-30.

- [18] Karwowski A., Ochrona przed promieniowaniem urządzeń radiokomunikacji ruchomej - aktualny stan prac normalizacyjnych w CENELEC i IEC, Przegląd Telekomunikacyjny, 78 (2006), nr 6, 215-220.
- [19] Zmysłony M., Mechanizmy biologiczne i efekty zdrowotne PEM w świetle wymagań raportu oddziaływaniu obiektu na środowisko. *Medycyna Pracy*, 58 (2007), nr 1, 27-36.
- [20] Wac-Włodarczyk A., Mazurek P.A., Parys T., Ziętek Ł., Bernat M., Masłowski G., Badanie emisji elektromagnetycznej wybranych telefonów komórkowych, W: Energia niekonwencjonalna i zagospodarowanie odpadów: monografia, Inez Wiatr, Halina Marczak [Red.], Lubelskie Towarzystwo Naukowe, Lublin 2010, 245-254.
- [21] Fejes I., Zavaczki Z., Szollosi J., et al., Is there a relationship between cell phone use and semen quality? *Arch Androl.*, 51 (2005), n. 5, 385-93.
- [22] Liu C., Duan W., Xu S., Chen C., He M., Zhang L., Yu Z., Zhou Z., Exposure to 1800 MHz radiofrequency electromagnetic radiation induces oxidative DNA base damage in a mouse spermatocyte-derived cell line *Toxicol Lett.*, 218/ 2013, n.1, 2-9
- [23] Aitken R.J., Bennetts L.E., Sawyer D., Wiklendt A.M., King B.V., Impact of radio frequency electromagnetic radiation on DNA integrity in the male germline. *Int J Androl.*, 28 (2005), n. 3, 171-9.
- [24] Izmet'eva O.S., Parshkov E.M., Zhavoronkov L.P., Izmet'ev V.I., Litovkina L.V., Voron'ko IaV. Effects of electromagnetic field of thermal intensity on the hypophysis-thyroid unit of the neuroendocrine system. *Radiats Biol Radioecol.*, 43 (2003), n. 5, 597-600.
- [25] Falahati S.A., Anvari M., Khalili M.A., Effect of combined magnetic fields on human sperm parameters. *Iran.J. Radiat., Res.*, 9 (2011), n. 3, 195-200.
- [26] Łopucki M., Jakiel G., Bakalczuk S., Pietruszewski M, Kankofer J., Influence of alternating magnetic field with magnetic induction 0.5 mT and frequency 50Hz on human spermatozoa in-vitro. *Int. J. Androl.*, 28 (2005), suppl. 1, 106, Abstr. of the 8th International Congress of Andrology. Seoul, 12-16 June 2005.
- [27] Li D.K., Yan B., Li Z., Gao E., Miao M., Gong D., Weng X., Ferber J.R., Yuan W., Exposure to magnetic fields and the risk of poor sperm quality. *Reprod Toxicol.*, 29 (2010), n. 1, 86-92.
- [28] Tateno H., Iijima S., Nakanishi Y., Kamiguchi Y., Asaka A., No induction of chromosome aberrations in human spermatozoa exposed to extremely low frequency electromagnetic fields. *Mutat Res.*, 414 (1998), n. 1-3, 31-5.
- [29] Formicki K., Szulc J., Tański A., Korzelecka-Orkisz A., Witkowski A., Kwiatkowski P., The effect of static magnetic field on Danude huchen, Hucho hucho(L.) sperm motility parameters. *Arch. Pol. Fish.*, 21 (2013), 189-197.
- [30] Leoci R., Aiudi G., Silvestre F., Lissner E., Lacalandra G.M., Effect of Pulsed Electromagnetic Field Therapy on Prostate Volume and Vascularity in the Treatment of Benign Prostatic Hyperplasia: A Pilot Study in a Canine Model. *The Prostate* 74 (2014), n. 11, 1132-1141.