

Efekty biologiczne oddziaływania na człowieka pól elektromagnetycznych niskich częstotliwości

Biological effects of low frequency electromagnetic fields on a human body

PIOTR ŻURAWSKI, WANDA STRYŁA

Katedra i Klinika Rehabilitacji Uniwersytetu Medycznego im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu

Organizmy żywe są stale ekspozowane na pola elektromagnetyczne, obejmujące różne częstotliwości i amplitudy. Pola elektromagnetyczne niskich częstotliwości (LF-EMF) mają częstotliwość poniżej 100 Hz. Mechanizmy oddziaływania LF-EMF na organizmy żywe oraz wywoływane efekty biologiczne, nie zostały dotychczas dokładnie poznane. LF-EMF jest stosowane również w fizykoterapii, jednak brak jest standardów dotyczących podstawowych parametrów fizycznych tych pól, czy też czasu ich stosowania. Głównym celem prezentowanego artykułu było przedstawienie różnorodnych efektów biologicznych powstających w wyniku oddziaływania LF-EMF na człowieka. Uwzględniono również stanowiska największych organizacji międzynarodowych, zajmujących się tematyką pól elektromagnetycznych.

Słowa kluczowe: LF-EMF, pole elektromagnetyczne niskich częstotliwości, efekty biologiczne

A living organism is constantly affected by electromagnetic fields influence, covering a huge range of frequencies and amplitudes. The frequency of low frequency electromagnetic fields (LF-EMF) is below 100 kHz. The mechanism of LF-EMF interaction with biological systems and evoked effects remain uncertain. LF-EMF is used in physical therapy, but dosage, indications and contraindications still leave too many doubts – no standard frequency or duration of treatment have been determined, no side effects have been identified. The main aim of this article was the presentation of different biological effects on a human body exposed to LF-EMF. The statements of the most important international organisations dealing with electromagnetic fields, e.g. WHO, are probably the most objective source of information on the subject.

Key words: LF-EMF, low frequency electromagnetic field, biological effects

© Probl Hig Epidemiol 2011, 92(2): 167-172

www.phie.pl

Nadesłano: 28.02.2011

Zakwalifikowano do druku: 30.03.2011

Adres do korespondencji / Address for correspondence

Dr med. Piotr Żurawski

Katedra i Klinika Rehabilitacji UM w Poznaniu

ul. 28 Czerwca 1956 r. 135/147, 61-545 Poznań

tel. 61-8310-217, fax 61-8310-173, e-mail: zurawskipiotr@yahoo.pl

Cel pracy

Pola elektromagnetyczne niskich częstotliwości – LF-EMF (*Low Frequency Electromagnetic Fields*) powszechnie występują w otoczeniu człowieka. Za granicę częstotliwości między polami elektromagnetycznymi niskiej, a wysokiej częstotliwości – HF-EMF (*High Frequency Electromagnetic Fields*), przyjęto wartość 100 kHz. Ich mechanizm działania i oddziaływanie na człowieka są jednak niewystarczająco poznane. Dlatego też instytucje międzynarodowe takie jak:

- WHO (*World Health Organization*) – Światowa Organizacja Zdrowia [1],
- ICNIRP (*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*) – Międzynarodowe Stowarzyszenie Ochrony Przed Promieniowaniem Niejonizującym [2],
- IARC (*International Agency for Research on Cancer*) – Międzynarodowa Agencja Badań Nad Nowotworami [1,3],
- SCENIHR (*Scientific Committee on Emerging and*

Newly Identified Health Risks) – Komitet Naukowy Nowo Powstałych Zagrożeń Zdrowotnych Unii Europejskiej [4],

- AGNIR (*The Independent Advisory Group on Non-ionising Radiation*) – Niezależna Grupa Doradcza do Spraw Promieniowania Niejonizującego [5],

apelują o obiektywizację wiedzy naukowej na temat oddziaływania pól elektromagnetycznych na organizm człowieka.

Celem tego artykułu jest lepsze poznanie LF-EMF poprzez przedstawienie efektów biologicznych oddziaływań tych pól. Ze względu na ograniczenia objętościowe, w artykule nie omawiano możliwych mechanizmów oddziaływania LF-EMF na człowieka, lecz jedynie efekty biologiczne tych oddziaływań.

Źródła pól elektromagnetycznych niskich częstotliwości

Główną przyczyną ekspozycji ludzi na LF-EMF jest przesyłanie i przetwarzanie energii elektrycznej

[4,6]. Częstotliwość sieci elektroenergetycznej wynosi 50-60 Hz [7].

LF-EMF jest emitowane przez urządzenia AGD, np. gółarki elektryczne, suszarki do włosów; urządzenia grzewcze (ogrzewanie podłogowe, podgrzewane łóżka, np. wodne, poduszki elektryczne); silniki, głównie elektryczne [1]. Monitory katodowe CRT (*cathode ray tube*) emitują zarówno EMF niskiej jak i wysokiej częstotliwości, natomiast w monitorach ciekłokrystalicznych LCD (*liquid crystal display*) dominują pola elektromagnetyczne układu zasilającego ekstremalnie niskich częstotliwości [8].

Źródłem LF-EMF są również systemy bezpieczeństwa, stosowane np. w celu ochrony przed kradzieżą w sklepach lub wykrywania przedmiotów metalowych w punktach kontrolnych [9].

Urządzenia medyczne, których zasada działania polega na emisji LF-EMF, to przede wszystkim sprzęt do fizykoterapii oraz do metody diagnostycznej, jaką jest przezczaszkowa stymulacja magnetyczna.

W pociągach wykorzystujących lewitację magnetyczną oprócz stałych pól magnetycznych, pasażer narażony jest na działanie LF-EMF [10]. Na przykład pociąg typu MAGLEV przy prędkości 500 km/h emituje zmienne pole magnetyczne nie przekraczające częstotliwości 6,4 Hz [11].

Skutki biologiczne oddziaływania pól elektromagnetycznych niskich częstotliwości na człowieka

Efekty oddziaływań zmiennego pola magnetycznego udokumentowano w wielu badaniach. Najbardziej obszernym dokumentem, który podsumowuje aktualny stan wiedzy o oddziaływaniach pól elektromagnetycznych niskiej częstotliwości na człowieka, jest ponad 500-stronicowy raport WHO – „*Extremely low frequency fields*” z roku 2007 [1], będący kontynuacją programu WHO dotyczącego środowiskowych kryteriów zdrowia – „*Environmental Health Criteria*”. Wnioski zawarte w raporcie podane są na podstawie setek publikacji, z uwzględnieniem przestrzegania zasad badań naukowych opartych na faktach (*Evidence Based Medicine*) takich, jak: powtarzalność wyników w różnych ośrodkach, nieselekcjonowanie wyników z uwagi na uzyskane efekty badań. W podsumowaniach poszczególnych rozdziałów raportu zostały zamieszczone wnioski końcowe, z większości których wynika, iż przedstawiane zagrożenia związane z wpływem LF-EMF na dany układ organizmu człowieka nie są na świecie rozstrzygnięte i wymagają dalszych badań.

Część badaczy poddaje w wątpliwość, czy efekty wywołane przez LF-EMF są fizjologicznie istotne [12,13].

Rozważając wpływ zewnętrznych czynników fizycznych na organizmy żywe, należy brać pod uwagę:

- czas ekspozycji,
- parametry fizyczne tych czynników [14],
- cechy osobnicze determinujące odpowiedź organizmu [15,16,17].

Większość badań nad wpływem pól elektromagnetycznych na człowieka analizuje efekty krótkotrwałe (*short-term effects*), natomiast efekty długoterminowe (*long term effects*) pozostają nieustalone [1]. W kontekście oddziaływań LF-EMF na człowieka, zarówno korzystnym jak i niekorzystnym, bierze się pod uwagę występowanie tzw. okienek czasu (*time window*). Takie okresy czasu nie zostały jednak jak dotąd zidentyfikowane [6].

Różne rozpatrywane mechanizmy oddziaływania pola elektromagnetycznego na człowieka dają stosunkowo wysokie wartości progowe pola elektromagnetycznego, dla których mogą wystąpić znaczące efekty biologiczne. W oparciu o model dipolowy komórki (pod wpływem pola elektrycznego komórka staje się dipolem elektrycznym) wyznaczono ten próg na około 300 V/m dla częstotliwości 100 MHz (zakres HF-EMF). Natomiast dla modelu opracowanego w oparciu o przepływ prądów przez błonę komórkową próg wyniósł 200 V/m. Ze względu na magnetyczne i elektryczne właściwości cząstek składowych układów biologicznych, w zmiennym polu elektromagnetycznym wykonują one ruch drgający, co może prowadzić do wydzielania ciepła na skutek tarcia [18]. Jednak dla LF-EMF próg efektu termicznego jest znacznie wyższy od progu stymulacji komórek pobudliwych – zmiany temperatury tkanek nie są charakterystyczne dla ekspozycji na LF-EMF [2]. Składowa magnetyczna LF-EMF indukuje prądy, które płynąc przez tkanki, wytwarzają w nich ciepło, ale ilości wytwarzanego ciepła są pomijalnie małe [1].

Efekt termiczny jest charakterystyczny dla pól elektromagnetycznych wysokich częstotliwości [1,4,19]. Pozostałe, inne niż termiczne efekty, które wywołują w organizmie człowieka pola elektromagnetyczne, określa się jako efekty nietermiczne [20].

Brak jest obiektywnych kryteriów określających, jakie parametry fizyczne LF-EMF są odpowiedzialne za jakie efekty wywoływane w organizmie człowieka [21,22,23].

Przypuszcza się, iż pola elektromagnetyczne o indukcji magnetycznej rzędu μT , nT , a nawet pT , mogą wywoływać różne efekty patofizjologiczne u ludzi, szczególnie w układzie sercowo-naczyniowym [1,13,15,24]. Wykazały to np. badania Dimitrowej [17] na 86 zdrowych ochotnikach, przeprowadzone w czasie wzmożonej aktywności Słońca. Zmiany zachodzące na Słońcu powodują modyfikacje wiatru

słonecznego, który zmienia ziemskie pole magnetyczne. Zmiany takie mogą wpływać na człowieka, choć uzyskane wyniki badań nie są jednoznaczne [25]. Wynikiem silnego i długotrwałego wiatru słonecznego są burze magnetyczne, w czasie których zaburzenia ziemskiego pola magnetycznego mogą sięgać kilku μT [5].

Kolejnym parametrem fizycznym charakteryzującym pole elektromagnetyczne jest przebieg czasowy tego pola, czyli rozkład amplitudy w czasie. Brak jest obiektywnych kryteriów jakie przebiegi czasowe powodują jakie efekty w organizmie człowieka [21]. Znalezienie takich zależności miałoby wielkie znaczenie dla medycyny.

Wpływ LF-EMF na poszczególne układy człowieka pozostaje stale zagadnieniem kontrowersyjnym. LF-EMF może wpływać na metabolizm człowieka [13]: przyspieszać reakcje enzymatyczne, również w błonach komórkowych [24,26], zmieniać procesy oddychania komórkowego, metabolizm erytrocytów, syntezę białek, proliferację komórkową [27].

Badania sugerują pozytywne działanie LF-EMF na osteogenezę poprzez pobudzanie aktywności osteoblastów [22,28]. Nie wszyscy jednak badacze potwierdzają tę opinię. Giordano i współautorzy [28] badali wpływ pola elektromagnetycznego na masę kostną 40 pacjentów ambulatoryjnych ze stwierdzoną osteoporozą. Ekspozycja przez 3 miesiące na LF-EMF o częstotliwości 100 Hz i indukcji magnetycznej 1-10 Gs, nie spowodowała zmian masy kostnej.

LF-EMF może zmieniać aktywność elektryczną tkanki nerwowej [14]. Podczas stymulowania określonych okolic głowy LF-EMF o dużym natężeniu, można wywoływać wrażenia słuchowe, wzrokowe, sensoryczne [29]. Na wzbudzaniu prądów w tkance mózgowej polega metoda diagnostyczna – przezczaszkowa stymulacja magnetyczna (*transcranial magnetic stimulation* – TMS), w której stosuje się LF EMF [1,4] o indukcji magnetycznej do 2 T [30]. Natężenie zmiennego pola elektrycznego konieczne do pobudzenia neuronów wynosi 30-100 V/m [31]. TMS uważana jest za bezpieczną metodę diagnostyczną [30,31], w której efekty uboczne ekspozycji na LF-EMF – takie jak bóle, zawroty głowy, napady padaczkowe – obserwuje się w pojedynczych przypadkach, szczególnie u osób ze zmianami patologicznymi mózgu [30].

Stymulacja nerwów może mieć miejsce również w innych okolicach ciała, np. jako stymulacja nerwów krzyżowych, wynikiem której może być wypróżnienie, co wykazał Shafik [32] eksponując psy, będące w narcozie, na LF-EMF o indukcji magnetycznej 2,2 T.

Wpływ LF-EMF na aktywność elektryczną mózgu [14], procesy poznawcze, sen [19], nastrój [33] jest mało poznany [1,4]. Niektóre badania sugerują, iż LF-

EMF może zmieniać funkcjonowanie mózgu poprzez wpływ na receptory opioidowe [34].

W oku człowieka, wynikiem interakcji indukowanego pola elektrycznego z elektrycznie pobudliwymi komórkami siatkówki jest efekt, nazwany fosfenami magnetycznymi (*magnetic phosphenes*) [1]. Wywołanie tego efektu, który polega na widzeniu migającego światła, wymaga pól elektromagnetycznych o indukcji 15 mT dla częstotliwości 50/60 Hz lub stałych pól magnetycznych o indukcji $> 1\text{ T}$ [5,35].

Przypuszcza się, iż LF-EMF może szkodliwie działać na ośrodkowy układ nerwowy [5]. Występowanie chorób degeneracyjnych ośrodkowego układu nerwowego, w szczególności choroby Parkinsona i stwardnienia zanikowego bocznego, może mieć związek z ekspozycją na LF-EMF [36]. Przypuszczenie to wymaga dalszej weryfikacji naukowej tym bardziej, iż mechanizm tego szkodliwego oddziaływania nie jest poznany [1]. Są dowody naukowe, iż czynnikiem chroniącym mózg przed uszkodzeniem prowadzącym do choroby Alzheimera jest melatonina, która jest uznawana za wymiatacz wolnych rodników [1]. LF-EMF może obniżać poziom melatoniny [5,19,37,38]. Dla choroby Alzheimera natomiast czynnikiem ryzyka jest wysoki poziom amyloidu beta, a ekspozycja na LF-EMF może zwiększać ilość tej substancji w mózgu [36].

Część autorów reprezentuje zdanie całkowicie przeciwnie, wymieniając choroby degeneracyjne ośrodkowego układu nerwowego jako jedno z podstawowych wskazań do stosowania LF-EMF [39].

Obiektywne badania nie wykazują wpływu LF-EMF na produkcję hormonów u człowieka [1,4,40], choć przypuszcza się, iż LF-EMF (jak wyżej wspomniano) może obniżać poziom melatoniny [39].

Większość badań oceniających wpływ LF-EMF na układ immunologiczny człowieka nie wykazała zmian limfocytów B i T, cytokin, immunoglobulin, komórek NK [1].

Wyniki badań wpływu pól elektromagnetycznych na układ krążenia są zróżnicowane. W piśmiennictwie zgłasza się różne zmiany zachodzące w układzie sercowo-naczyniowym człowieka pod wpływem LF-EMF. Wyniki badań nie są jednak spójne [1]. Nie ma jednoznacznych dowodów naukowych, iż LF-EMF działa szkodliwie na układ krążenia [1,4]. LF-EMF nie wpływa na ciśnienie tętnicze człowieka [22,41], choć część badaczy twierdzi, iż LF-EMF może pobudzać angiogenezę i rozszerzać naczynia krwionośne [42]. Inni autorzy sugerują wpływ pola magnetycznego na układ krążenia poprzez bezpośrednie działanie na baroreceptory [38] lub poprzez układ nerwowy autonomiczny [22,40].

W związku ze wzrostem zainteresowania konsekwencjami ekspozycji człowieka na pole magnetyczne w trakcie diagnozowania metodą NMR, wykonano szereg badań wpływu stałego pola magnetycznego na układ krążenia [43]. Większość autorów łączy efekty działania na układ krążenia człowieka z silnymi stałymi polami magnetycznymi o indukcji $> 5 \text{ T}$ [5]. Wzbudzenie prądów może być przyczyną aktywacji pobudliwych elektrycznie tkanek serca [40].

IARC (*International Agency for Research on Cancer*) – Międzynarodowa Agencja Badań nad Nowotworami zakwalifikowała LF-EMF do grupy czynników o możliwym działaniu rakotwórczym (*possible human carcinogen*) [44]. Decyzję podjęto uwzględniając niepokojące zależności epidemiologiczne między częstszym występowaniem białaczek u dzieci a zwiększoną ekspozycją na LF-EMFs z linii przesyłowych prądu elektrycznego [1,3,4,5,10,45]. Pozostałe grupy czynników mogących wywołać chorobę nowotworową określone są jako: „prawdopodobnie rakotwórcze” (*probably carcinogenic to humans*) i „rakotwórcze” [44].

W większości przeprowadzonych badań genetycznych nie stwierdzono zmian materiału genetycznego pod wpływem LF-EMF [1]. Uważa się, iż pola elektromagnetyczne, zaliczane do promieniowania niejonizującego, nie stanowią wystarczającego źródła energii, aby uszkodzić bezpośrednio DNA [6], lecz mogą np. poprzez zmiany stężenia wolnych rodników wpływać negatywnie na naprawę DNA [4,19]. Szkodliwość działania LF-EMF rozpatruje się zarówno w kontekście efektów stochastycznych jak i niestochastycznych [1]. Dla efektów stochastycznych, czyli przypadkowych, nie istnieje dawka progowa promieniowania do wywołania zmian patologicznych, co określa skrót LNT (*linear-no-threshold*). Brak progu oznacza, że każdej dawce promieniowania, nawet bardzo małej towarzyszy zwiększenie prawdopodobieństwa indukcji zmian somatycznych i genetycznych. Dla skutków niestochastycznych istnieje dawka progowa promieniowania, po przekroczeniu której rozwija się choroba.

Kavet i współautorzy [1] zasugerowali, iż białaczka u dzieci eksponowanych na LF-EMF może powstawać w mechanizmie działania prądów indukowanych na szpik kostny. Badania genetyczne Ivancits i wsp. [46] wskazują na możliwość uszkodzenia DNA fibroblastów ludzkich, zależnego od dawki (w zakresie indukcji magnetycznej $35\text{--}1000 \mu\text{T}$) i czasu, w wyniku ekspozycji na LF-EMF o częstotliwości 50 Hz.

Z badań genetycznych Mairs i wsp. [47] wynika, że LF-EMF nie tylko uszkadza DNA, ale również może zwiększać mutagenność promieniowania jonizującego. Dotychczas nie wykazano związku pomiędzy negatywnym wpływem na rozrodczość ludzi a ekspozycją rodziców na LF-EMF [1].

LF-EMF nie jest bezpośrednio odczuwalne przez człowieka [22]. Przy silniejszym LF-EMF człowiek może jednak odczuwać działanie tego pola wynikające z indukowanych zmiennych ładunków elektrycznych w ciele, powodujących np. wibrację włosów. Badania wpływu LF-EMF o częstotliwości sieciowej 50/60 Hz wykazały, iż 10% dorosłych ochotników odczuwało LF-EMF o natężeniu pola elektrycznego $10\text{--}15 \text{ kV m}^{-1}$; natomiast 5% ochotników, LF-EMF o natężeniu $3\text{--}5 \text{ kV m}^{-1}$, czyli o natężeniach podobnych do tych jakie występują pod liniami wysokiego napięcia [48].

Przyjmuje się, iż LF-EMF nie ma wpływu na samopoczucie i komfort psychiczny człowieka. Istnieje jednak termin nadwrażliwości elektromagnetycznej (*electromagnetic hypersensitivity* – EHS) obejmujący objawy neurasteniczne i wegetatywne: zaburzenia koncentracji, snu, nadmierne zmęczenie, zawroty głowy, wymioty, kołatania serca, zaburzenia trawienne; niespecyficzne objawy dermatologiczne: zaczerwienienia, mrowienia, pieczenia; zmęczenie wzroku; wzmożona wrażliwość na bodźce chemiczne i inne [1,10]. Są to objawy przypominające chorobę lokomocyjną, spowodowane być może ruchami jonów lub ładunków elektrycznych w układzie endolimfatycznym ucha środkowego [5,41]. Inny zgłaszany objaw – uczucie metalicznego smaku – może być konsekwencją powstania prądów indukowanych w jamie ustnej i elektrolizy śliny. Wyżej wymienione objawy mogą występować również pod wpływem działania stałego pola magnetycznego o indukcji $> 2 \text{ T}$. Jeśli to możliwe, można zredukować te objawy poprzez zmniejszenie prędkości ruchu ciała człowieka w polu magnetycznym [5]. Badania obiektywne z podwójnie ślepą próbą nie uzasadniają stosowania rozpoznania EHS [1,4]. Wykazano, iż zarówno zdrowi ochotnicy jak i osoby zgłaszające objawy EHS nie byli w stanie odróżnić LF-EMF od ekspozycji pozorowanej (*placebo*) [1].

W przypadku stałych pól magnetycznych nawet o bardzo dużej indukcji magnetycznej, uboczne efekty zdrowotne są rzadko obserwowane i opisywane [41,43].

Nie jest poznane za jakie efekty biologiczne odpowiada składowa elektryczna LF EMF oraz w jakim mechanizmie te efekty wywołuje [49]. Podstawowa różnica między przenikaniem przez ciało ludzkie zmiennych pól elektrycznych i magnetycznych polega na tym, iż pola elektryczne, które powstają wewnątrz ciała człowieka pod wpływem zmiennego pola elektrycznego są 4-7 rzędów wielkości ($10^{-4}\text{--}10^{-7}$) mniejsze od zewnętrznego pola elektrycznego [1]. Składowa elektryczna pola elektromagnetycznego, czyli zmienne pole elektryczne, nie wnika głęboko do ciała ludzkiego i jest pochłaniane głównie przez skórę, co wynika z dużej przewodności elektrycznej

(σ) tej tkanki [10]. Dla częstotliwości 50 Hz ciało jest dobrym przewodnikiem ze średnią przewodnością elektryczną $\sigma \approx 0,5$ S/m. Prądy powstają w tkankach proporcjonalnie do ich wartości przewodności elektrycznej σ . Dla kości przewodność elektryczna σ wynosi średnio 0,01 S/m, dla mięśni 0,6 S/m.

Ciało ludzkie w pozycji stojącej na podłożu i eksponowane na pola elektromagnetyczne od częstotliwości niskich do częstotliwości GSM (900 MHz) może być reprezentowane przez nieperfekcyjnie przewodzącą cylindryczną antenę. Maksymalne przepływy prądów w ciele człowieka mają miejsce, gdy człowiek stoi bosy na dobrze przewodzącym podłożu [50].

Podsumowanie

Wobec niewystarczającego poznania oddziaływań LF-EMF na człowieka istnieje sprzeczność poglądów dotyczących ekspozycji na LF-EMF. W fizykoterapii akcentuje się korzystne dla zdrowia skutki oddziaływania LF-EMF, natomiast wymienione we wstępie największe organizacje międzynarodowe zajmujące się tematyką pól magnetycznych i elektromagnetycznych, w tym WHO, zajmują się LF-EMF w kontekście szkodliwości oddziaływań.

Ekspozycja na LF-EMF powinna być zatem ostrożna, szczególnie u osobników młodych, u których potencjalna szkodliwość oddziaływania może być największa.

Piśmiennictwo / References

1. Extremely low frequency fields. Environmental Health Criteria 238. WHO 2007.
2. ICNIRP Statement. ICNIRP statement related to the use of security and similar devices utilizing electromagnetic fields. Health Phys 2004, 87, 2: 187-196.
3. IARC finds limited evidence that residential magnetic fields increase risk of childhood leukaemia. IARC 2001, 136.
4. Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR). Possible effects of electromagnetic fields on human health. European Commission 2007. Adres internetowy działu dotyczącego pól elektromagnetycznych: http://ec.europa.eu/health/ph_determinants/environment/EMF/emf_en.htm
5. The Independent Advisory Group on Non-ionising Radiation. Static magnetic Fields. Documents of the Health Protection Agency, May 2008.
6. ICNIRP Standing Committee on Epidemiology: Ahlbom A, Cardis E, Green A, Linet M, Savitz D, Swerdlow A. Review of the epidemiologic literature on EMF and health. Envir Health Persp 2001, 109, suppl. 6: 911-933.
7. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania tych poziomów. Dz.U. nr 192, poz. 1883.
8. Gryz K, Karpowicz J. Źródła pól elektromagnetycznych – monitory ekranowe. Bezp Pr 2002, 4: 13-17.
9. ICNIRP Statement. ICNIRP statement related to the use of security and similar devices utilizing electromagnetic fields. Health Phys 2004, 87, 2: 187-196.
10. Otto M, von Mühlendall K. Electromagnetic fields (EMF): Do they play a role in children's environmental health (CEH)? Int J Hyg Environ Health 2007, 210: 635-644.
11. ICNIRP Statement. ICNIRP Statement on EMF-emitting new technologies. Health Phys 2008, 94, 4: 376-392.
12. Macklis RM. Magnetic healing, quackery, and the debate about the health effects of electromagnetic fields. Ann Intern Med 1993, 118, 5: 376-383.
13. Binh VN, Savin AV. Effects of weak magnetic fields on biological systems: physical aspects. Physics Uspek 2003, 46, 3: 259-291.
14. Marino A, Nilsen E, Chesson A. Effect of low-frequency magnetic fields on brain electrical activity in human subjects. Clin Neurophysiol 2004, 115: 1195-1201.
15. Vladimirovskii BM, Temur'yants NA. Nuclear magnetic resonance in the geomagnetic field – the possible mechanism of action of weak electromagnetic fields on biological and physiochemical systems. Biophys 1996, 41, 4: 939-942.
16. Ingłot-Siemaszkó M, Szwajczak E. Porównanie wartości pola magnetycznego w środowisku naturalnym oraz w pomieszczeniach intensywnej terapii – fizyczne aspekty zagadnienia. [w:] Bioelektromagnetyzm – teoria i praktyka. Krawczyk A, Zyss T. CIOP – PIW, Warszawa 2006: 37-52.
17. Dimitrova S. Different geomagnetic indices as an indicator for geo-effective solar storms and human physiological state. J Atmos Solar Terr Phys 2008, 70: 420-427.
18. Zmysłony M. Działanie biologiczne i skutki zdrowotne pól elektromagnetycznych w aspekcie wymagań raportów o oddziaływaniu przedsięwzięć na środowisko. Med Pr 2007, 58, 1: 27-36.
19. Mann K, Röschke J. Sleep under exposure to high-frequency electromagnetic fields. Sleep Med Rev 2004, 8: 95-107.
20. Cagni E, Remondini D, Mesirca P, Castellani GC, Verondini E, Bersani F. Effects of exogenous electromagnetic fields on a simplified ion channel model. J Biol Phys 2007, 33: 183-194.
21. Cotter A, Shiflett S, Kuo D. Complementary and Alternative Medicine. [w:] Physical Medicine and Rehabilitation – principles and practice. DeLisa J, Gans B, Walsh N. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia 2005: 475.
22. Grote V, Lackner H, Kelz C, Trapp M, Aichinger F, Puff H, Moser M. Short-term effects of pulsed electromagnetic fields after physical exercise are dependent on autonomic tone before exposure. Eur J Appl Physiol 2007, 101: 495-502.
23. Ay S, Evcik D. The effects of pulsed electromagnetic fields in the treatment of knee osteoarthritis: a randomized, placebo-controlled trial. Rheumatol Int 2009, 29: 663-666.
24. Selvam R, Ganesan K, Raju N, Gangadharan AC, Monohar BM, Puvanakrishnan R. Low frequency and low intensity pulsed electromagnetic field exerts its anti-inflammatory effect through restoration of plasma membrane calcium ATPase activity. Life Sci 2007, 80: 2403-2410.

25. Palmer SJ, Rycroft MJ, Cermack M. Solar and geomagnetic activity, extremely low frequency magnetic and electric fields and human health at the Earth's surface. *Surv Geophys* 2006, 27: 557-595.
26. Ravera S, Repaci E, Morelli A, Pepe I, Botter R, Beruto D. Electromagnetic field of extremely low frequency decreased adenylate kinase activity in retinal rod outer segment membranes. *Bioelectrochem* 2004, 63: 317-320.
27. Ivancsits S, Diem E, Jahn O, Rüdiger HW. Intermittent extremely low frequency electromagnetic fields cause DNA damage in a dose-dependent way. *Int Arch Occup Environ Health* 2003, 76: 431-436.
28. Giordano N, Battisti E, Geraci S, Fortunato M, Santacroce C, Rigato M, Gennari L, Gennari C. Effect of electromagnetic fields on bone mineral density and biochemical markers of bone turnover in osteoporosis: A single-blind, randomized pilot study. *Curr Ther Res* 2001, 62, 3: 187-193.
29. Zyss T. Bezpieczeństwo stosowania magnetoterapii przy stymulacji magnetycznej w okolicach głowy. *Fizjoter* 1997, 5,1: 28-31.
30. Gilbert D, Garvey M, Bansal A, Lipps T, Zhang J, Wassermann E. Should transcranial magnetic stimulation research in children be considered minimal risk? *Clin Neurophysiol* 2004, 115: 1730-1739.
31. Zangen A, Roth Y, Voller B, Hallett M. Transcranial magnetic stimulation of deep brain regions: evidence for efficacy of the H-coil. *Clin Neurophysiol* 2005, 116: 775-779.
32. Shafik A. Effect of magnetic stimulation on the contractile activity of the rectum in the dog. *Eur Surg Res* 1998, 30: 268-272.
33. Mitsutake G, Otsuka K, Oinuma S. Does exposure to an artificial ULF magnetic field affect blood pressure, heart rate variability and mood? *Biomed Pharmacother* 2004, 58: 520-527.
34. Shupak N, Prato F, Thomas A. Human exposure to a specific pulsed magnetic field: effects on thermal sensory and pain thresholds. *Neurosci Lett* 2004, 363: 157-162.
35. ICNIRP Statement. Medical magnetic resonance (MR) procedures: protection of patients. *Health Phys* 2004, 87, 2: 197-216.
36. Hardell L, Sage C. Biological effects from electromagnetic field exposure and public exposure standards. *Biomed Pharmacother* 2008, 62: 104-109.
37. Voustantiounk A, Kaufmann H. Magnetic fields and the central nervous system. *Clin Neurophysiol* 2000, 111: 1934-1935.
38. Petrucci N. Exposure of the critically ill patients to extremely low-frequency electromagnetic fields in the intensive care environment. *Intensive Care Med* 1999, 25: 847-851.
39. Czernicki J, Woldańska-Okońska M, Karasek M. Wpływ leczniczego stosowania pola magnetycznego niskiej częstotliwości na wydzielanie melatoniny u pacjentów z zespołami bólowymi kręgosłupa. *Fizjoter* 1998, 6, 3: 3-5.
40. Jeong J, Kim J, Lee B, Min Y, Kim D, Ryu J, Soh K, Seo K, Sohn U. Influence of exposure to electromagnetic field on the cardiovascular system. *Auton Autacoid Pharmacol* 2005, 25: 17-23.
41. Formica D, Silvestri S. Biological effects of exposure to magnetic resonance imaging: an overview. *Biomed Eng OnLine* 2004, 3,11: 1-12.
42. Smith T, Wong-Gibbons D, Maultsby J. Microcirculatory effects of pulsed electromagnetic fields. *J Orthopaed Res* 2004, 22: 80-84.
43. ICNIRP Statement. Medical magnetic resonance (MR) procedures: protection of patients. *Health Phys* 2004, 87, 2: 197-216.
44. Boyle P, Autier P, Bartelink H i wsp. Promieniowanie jonizujące i niejonizujące. Europejski kodeks walki z rakiem. Zatoński W (red). *Med Prakt* 2007: 59-63.
45. Li CY, Sung FC, Chen FL, Lee PC, Silva M, Mezei G. Extremely-low-frequency magnetic field exposure of children at schools near high voltage transmission lines. *Scie Total Environ* 2007, 376: 151-159.
46. Ivancsits S, Diem E, Jahn O, Rüdiger HW. Intermittent extremely low frequency electromagnetic fields cause DNA damage in a dose-dependent way. *Int Arch Occup Environ Health* 2003, 76: 431-436.
47. Mairs R, Hughes K, Fitzsimmons S, Prise KM, Livingstone A, Wilson L, Baig N, Clark AM, Timpson A, Patel G, Folkard M, Angerson WJ, Boyd M. Microsatellite analysis for determination of the mutagenicity of extremely low-frequency electromagnetic fields and ionising radiation in vitro. *Mutat Res* 2007, 626: 34-41.
48. Saunders RD, Sienkiewicz ZJ, Kowalczyk CI. Biological effects of electromagnetic fields and radiation. *J Radiol Prot* 1991, 11, 1: 27-42.
49. Thamsborg G, Florescu A, Oturai A. Treatment of knee osteoarthritis with pulsed electromagnetic fields: a randomized, double-blind, placebo controlled study. *Osteoarthritis Cartilage* 2005, 13: 575-581.
50. Poljak D, Tham C, Kovac N. The assessment of human exposure to low frequency and high frequency electromagnetic fields using the boundary element analysis. *Eng Anal Bound Elem* 2003, 27: 999-1007.