

PRACE POGLĄDOWE

Alicja Bortkiewicz

BADANIA SKUTKÓW BIOLOGICZNYCH DZIAŁANIA PEM O CZĘSTOTLIWOŚCIACH EMITOWANYCH PRZEZ TELEFONY KOMÓRKOWE

A STUDY ON THE BIOLOGICAL EFFECTS OF EXPOSURE TO MOBILE-PHONE-FREQUENCY EMF

Z Zakładu Fizjologii Pracy i Ergonomii

Instytutu Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera w Łodzi

Kierownik Zakładu: prof. dr hab. med. T. Makowiec-Dąbrowska

STRESZCZENIE Wraz ze wzrostem liczby użytkowników telefonów komórkowych coraz większe zainteresowanie wywołuje wpływ emitowanych przez nie pól elektromagnetycznych (PEM) na organizmy żywe. Kwestionariuszowe badania dotyczące subiektywnych dolegliwości użytkowników telefonów komórkowych przeprowadzone w Szwecji, Norwegii, Anglii, Stanach Zjednoczonych, Nowej Zelandii i Australii wykazały, że najczęstszym obserwowanym przez nich objawem są bóle głowy, które bardziej nasilają się przy stosowaniu telefonów analogowych niż cyfrowych. Poza bólami głowy występowało zmęczenie i ogólne złe samopoczucie, bóle mięśniowe, nudności. Badania eksperymentalne u ludzi wskazują, że PEM emitowane przez telefony komórkowe mogą powodować okresowy wzrost ciśnienia tętniczego krwi i zmiany w aktywności elektrycznej mózgu, natomiast nie stwierdzono zmian wydzielania hormonów przysadki mózgowej: kortykotropiny (ACTH), tyreotropiny (TSH), hormonu wzrostu (GH), prolaktyny (PRL), hormonu luteinizującego (LH) i folikulotropowego (FSH) oraz melatoniny. W badaniach na zwierzętach wykazano, że ekspozycja na PEM o częstotliwości mikrofalowej aktywuje system endogennych opioidów w mózgu. Natomiast wyniki badań aktywności neuroprzekazników w mózgu nie dały jednoznacznych wyników, niektóre wykazały obniżenie aktywności acetylocholinesterazy, inne jej wzrost. Badania *in vitro* wskazują, że PEM nawet poniżej dopuszczalnych limitów higienicznych mogą powodować zmiany przepuszczalności bariery krew – mózg oraz zaburzenia aktywnego transportu jonów Na⁺, K⁺ i uwalniania jonów Ca⁺⁺ przez błony komórkowe.

Przeprowadzone dotychczas badania nie dały jednoznacznych wyników, wskazują jednak, że pola elektromagnetyczne o częstotliwościach mikrofalowych, w tym o częstotliwości emitowanej przez telefony komórkowe mogą powodować różnego rodzaju mierzalne efekty biologiczne. Istotne będzie wyjaśnienie, czy efekty te mogą mieć konsekwencje zdrowotne. Med. Pr. 2001; 52; 2; 101–106

SŁOWA KLUCZOWE: telefony komórkowe, skutki biologiczne, układ krążenia, układ nerwowy, pola elektromagnetyczne (PEM) wielkich częstotliwości (radiofale – RF i mikrofale – MW)

ABSTRACT Together with a growing number of cellular telephone users increases the interest in the effect of electromagnetic fields (EMF) emitted by them on live organisms. The surveys on subjective complaints of cellular telephone users carried out in Sweden, Norway, UK, USA, New Zealand and Australia showed that head ache is the major complain, and it is more pronounced with analogue than digital telephones. Apart from head ache, fatigue and general ill-being, muscular pains and nausea are reported. Human experimental studies reveal that EMF emitted by cellular telephones may be responsible for periodical increase in arterial blood pressure, changes in electric activity of the brain. However, no changes in secretion of cerebral pituitary hormones: adrenocorticotropic hormone (ACTH), thyroid stimulating hormone (TSH), growth hormone, prolactin (PRL), lactogenic hormone (LH), follicle-stimulating hormone (FSH) and melatonin. The animal experimental studies indicated that exposure to EMF of the microwave frequency activates the endogenous opioid system in the brain, while the studies of the brain neurotransmitter activity have not produced univocal results, some of them showed decline, others increase in acetylcholinesterase activity. *In vitro* studies reveal that EMF even below maximum permissible levels may induce changes in the blood-brain permeability barrier and disorders in active transport of Na⁺, K⁺ ions and release of Ca⁺⁺ ions by cellular membranes.

The studies carried out thus far have not produced clear-cut results, but they indicate that EMF of the microwave frequency, including the frequency emitted by cellular telephones may be responsible for various measurable biological effects. It is essential to find out whether these effects may affect human health. Med Pr 2001; 52; 2; 101–106

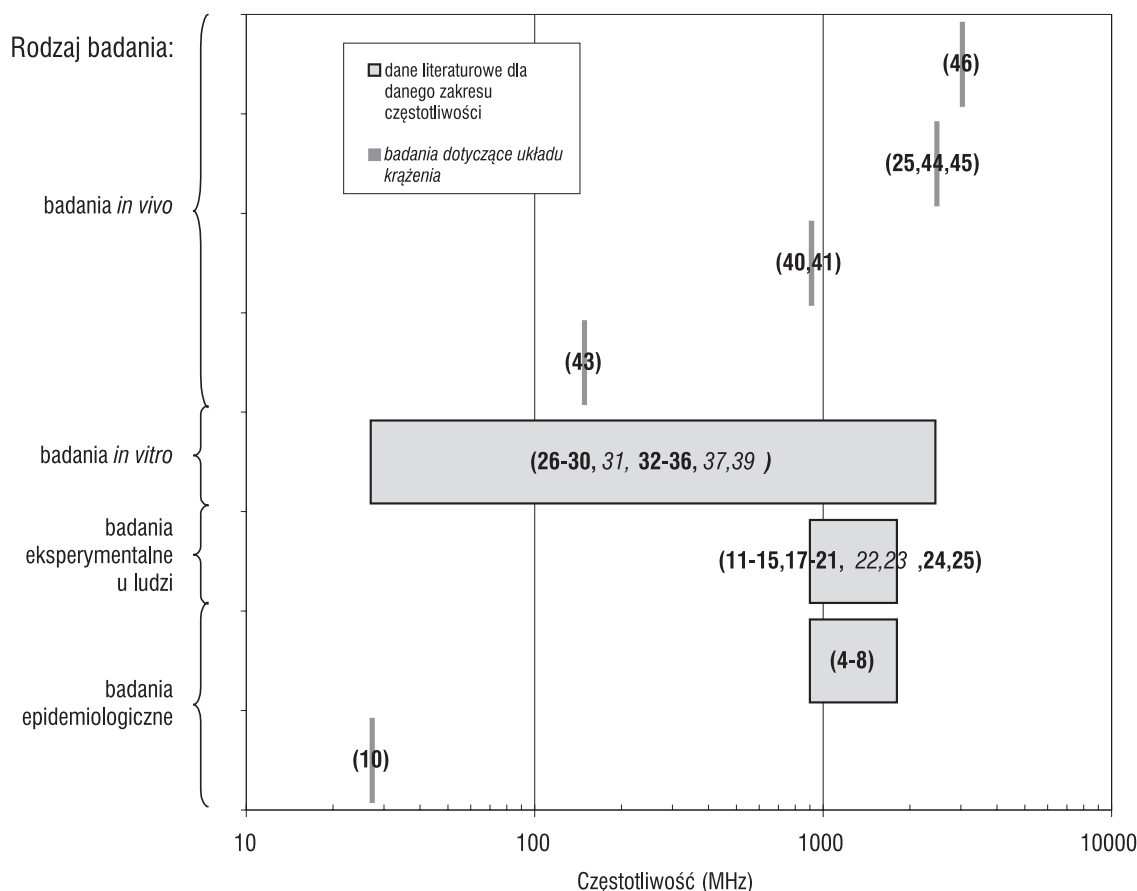
KEY WORDS: electromagnetic fields, cellular phone, biological effects, circulatory system, nervous system

WSTĘP

Wraz ze wzrostem liczby użytkowników telefonów komórkowych coraz większe zainteresowanie wywołuje wpływ emitowanych przez nie pól elektromagnetycznych (PEM) na organizm człowieka. Ewentualne szkodliwe skutki zdrowotne stosowania telefonów komórkowych budzą niepokój nie tylko samych użytkowników telefonów komórkowych i ich producentów, ale także organizacji rządowych i pozarządowych, odpowiadających za zdrowie społeczeństwa. Jakkolwiek telefony komórkowe powodują ekspozycję poniżej dopuszczalnych norm, to należy zwrócić uwagę na fakt, że normy te zostały opracowane na podstawie przewidywanych efektów termicznych i nie uwzględniają efektów nietermicznych. Obecnie podejmowane są liczne badania m. in. pod auspicjami

WHO, których celem jest wyjaśnienie ewentualnych skutków zdrowotnych wpływu słabych (nie wywołujących efektu termicznego) PEM wielkich częstotliwości (radiofale – RF i mikrofale – MW) czyli m. in. takich jakie są emitowane przez telefony komórkowe (450–1900 MHz) (1,2).

Przeglądu piśmiennictwa dotyczącego skutków zdrowotnych związanych z działaniem pól elektromagnetycznych (PEM) o częstotliwościach emitowanych przez telefony komórkowe dokonano na podstawie analizy danych z baz komputerowych: BENER Digest Update/EMF Database/EMF Health Report, Medline, ICNIRP i WHO Statement oraz An Expert Panel Report (Royal Society of Canada). Do niniejszego opracowania wybrano tylko prace dotyczące wpływu



Ryc. 1. Przegląd badań dotyczących skutków biologicznych działania PEM z zakresu VHF i UHF

takich PEM na stan zdrowia ze szczególnym uwzględnieniem układu krążenia i układu nerwowego oraz skutków biologicznych w obrębie komórek i tkanek tworzących te układy (ryc. 1). Analizą objęto wszystkie rodzaje badań od epidemiologicznych po badania *in vitro*.

BADANIA EPIDEMIOLOGICZNE

Najbardziej przekonujących danych na temat skutków zdrowotnych działania PEM mogą dostarczyć badania epidemiologiczne. Dotychczasowe badania ukierunkowane były głównie na ocenę ryzyka występowania różnych rodzajów nowotworów w zależności od ekspozycji na PEM. Przegląd wyników tych badań prowadzi do wniosku, że nie ma jednoznacznych dowodów istnienia zwiększonego ryzyka onkogenego związanego z ekspozycją na PEM o częstotliwościach mikro- i radiofalowej (3). Należy jednak zauważyć, że badania te miały charakter retrospektywny, a w związku z tym ocena poziomu ekspozycji i eliminacja czynników zakłócających były utrudnione (3). Poza tym rozwój chorób nowotworowych jest często procesem długotrwałym, a problem powszechnego stosowania telefonów komórkowych pojawił się dopiero kilka lat temu. Z tego względu ocena rze-

czywistego wpływu ekspozycji na powstanie i rozwój różnego rodzaju nowotworów nie jest jeszcze możliwa.

Dotychczas niewiele jest badań epidemiologicznych dotyczących nienowotworowych skutków zdrowotnych działania PEM radio- i mikrofalowych. Kwestionariuszowe badania dotyczące subiektywnych dolegliwości użytkowników telefonów komórkowych przeprowadzone w Szwecji, Norwegii, Anglii, Stanach Zjednoczonych, Nowej Zelandii i Australii wykazały, że najczęstszym obserwowanym przez nich objawem są bóle głowy (4,5,6). Występują one częściej przy stosowaniu telefonów analogowych niż cyfrowych (6). Badanie przeprowadzone w Australii wykazało, że bóle głowy (w tym także migrena i klastrerowy ból głowy) pojawiały się podczas lub krótko po zakończeniu rozmowy i często nasilały się w ciągu dnia. U ok. 50% badanych ustępowały one w okresie ok. 1 godz. po zakończeniu rozmowy, a u pozostałych dopiero wieczorem lub następnego dnia (7). Pierwsze dane na temat bólów głowy wywołanych ekspozycją na PEM o częstotliwościach mikro- i radiofalowych pojawiły się już 30 lat temu, ale wówczas ekspozycja na PEM o takich częstotliwościach nie była powszechna (4).

Poza bólami głowy osoby korzystające z telefonów komórkowych zgłaszały uczucie zmęczenia i ogólnie złe samopoczucie.

cie, bóle mięśniowe, nudności, zaburzenia termoregulacji (8,9).

Badanie ankietowe ukierunkowane na dolegliwości układu krążenia przeprowadzone wśród 3000 fizykoterapeutów wykazało, że choroby serca występują statystycznie częściej u osób eksponowanych na PEM mikro- i krótkofalowe (10).

BADANIA EKSPERYMENTALNE U LUDZI

W przypadku telefonów komórkowych, które emitują PEM w okolicy głowy, szczególne zainteresowanie budzi wpływ tych PEM na funkcjonowanie centralnego układu nerwowego. Poza tym, podobnie jak dla PEM o innych częstotliwościach, istnieje teoretyczna możliwość zakłócenia jego funkcji na skutek generowania w nim impulsów elektrycznych przez zewnętrzne pola elektryczne i magnetyczne. Z tego względu większość badań eksperymentalnych dotyczyła oceny reakcji układu nerwowego. Wyniki tych badań nie są jednoznaczne. Mann i Roschke obserwowali skrócenie fazy REM snu podczas 8-godzinnej, nocnej ekspozycji na PEM emitowane przez telefon komórkowy ($0,5 \text{ W/m}^2$) przy zachowanym okresie latencji snu i ogólnym czasie snu, natomiast Wagner i wsp. nie stwierdzili żadnych efektów przy niższym poziomie ekspozycji ($0,2 \text{ W/m}^2$) (11,12). Badania EEG podczas czuwania również nie dały jednoznacznych wyników. Niektóre nie wykazywały żadnych, związanych z ekspozycją zmian w aktywności mózgu (13,14,15). Jednak badania Klitzinga wykazały, że natychmiast po zakończeniu 15 min ekspozycji na PEM emitowane przez telefon komórkowy następowały zmiany fali alfa w EEG (16). Natomiast Reiser stwierdził zwiększenie fali beta 1 i delta po upływie 15 min od zakończenia ekspozycji (15). Analiza potencjałów wywołanych podczas wykonywania testów wzrokowych (VMT), rejestrowanych w warunkach ekspozycji na modulowane PEM o częstotliwości 916,5 MHz i w warunkach kontrolnych wykazała, że podczas ekspozycji występuje obniżenie amplitudy potencjałów wywołanych, które było wyraźniej zaznaczone dla półkuli prawej (telefon komórkowy umieszczony był podczas eksperymentu z lewej strony głowy). Nie stwierdzono natomiast różnic w wynikach wykonania testów w obu sytuacjach (17).

Badania przewodnictwa nerwu łokciowego i nerwu twarzowego nie wykazały istotnych zaburzeń w czasie i po ekspozycji na PEM emitowane przez telefon komórkowy 900 MHz (18).

W odróżnieniu do zmian elektrofizjologicznych mózgu stwierdzanych podczas ekspozycji na PEM emitowane przez telefony komórkowe, badania neurohormonów nie wykazały istotnych zmian związanych z ekspozycją. Badania hormonów przysadki mózgowej: kortykotropiny (ACTH), tyreotropiny (TSH), hormonu wzrostu (GH), prolaktyny (PRL), hormonu luteinizującego (LH) i folikulotropowego (FSH) u osób eksponowanych przez 4 tygodnie na PEM emitowane przez telefony komórkowe przez 2 godz. dziennie, 5 dni w tygodniu nie wykazały istotnych zmian ich poziomu. Za-

notowano jedynie spadek stężenia TSH, które utrzymywało się w granicach normy) (19). Podczas następnego eksperymentu o takim samym protokole, badano rytm dobowy wydzielania melatoniny i nie stwierdzono istotnych zmian (20). Także Mann i wsp. nie stwierdzili zmian poziomu melatoniny w badaniu eksperymentalnym prowadzonym u osób eksponowanych na niskie, podobne do emitowanych przez telefony komórkowe, poziomy ($0,2 \text{ W/m}^2$) PEM o częstotliwości 900 MHz (21).

Istotne z punktu widzenia oceny skutków zdrowotnych PEM emitowanych przez telefony komórkowe jest badanie Braune i wsp., którzy stwierdzili wzrost ciśnienia tętniczego krwi podczas 35 min ekspozycji na PEM o częstotliwości 900 MHz (22). Autorzy nie podali jakie były wartości ciśnienia po zakończeniu ekspozycji. Wydaje się, że jest to duży brak tego badania, gdyż Thuroczy i wsp. stwierdzili istotny spadek ciśnienia skurczowego krwi po ekspozycji na PEM emitowane przez telefon komórkowy (900 MHz) dwukrotnie przez 7,5 min z 10 min przerwą (23).

Dane na temat subiektywnych dolegliwości, podawanych przez użytkowników telefonów komórkowych, a także wyniki badań eksperymentalnych u ludzi wskazują na konieczność poszukiwania zmian na poziomie molekularnym, komórkowym i tkankowym, które stanowią podłoże obserwowanych zaburzeń funkcjonalnych (24). Badania takie prowadzone na wielu poziomach, od badań *in vitro* na komórkach człowieka i zwierząt, poprzez badania *in vivo* na zwierzętach, mogą przyczynić się również do wyjaśnienia mechanizmu działania PEM emitowanego przez telefony komórkowe (25).

BADANIA IN VITRO

Potwierdzenie wpływu PEM mikrofalowych na tkanki i komórki układu nerwowego i mięśnia sercowego uzyskano w badaniach eksperymentalnych *in vitro*. Większość z nich dotyczyła aktywnego transportu jonów Na^+ , K^+ oraz uwalniania jonów Ca^{++} przez błony komórkowe, które to procesy mają wpływ na pobudliwość tkanek, gdyż od nich m. in. zależy mechanizm uwalniania neurotransmiterów. Z większości badań wynika, że pod wpływem pól elektromagnetycznych o częstotliwości mikrofalowej (zarówno ciągłych jak i modulowanych) następuje wzrost uwalniania jonów wapnia z komórek nerwowych *in vitro* (26,27,28). Somosi i wsp. stwierdzili zmiany rozmieszczenia jonów wapnia w ultrastrukturach kory mózgowej, utrzymujące się godzinę po ekspozycji (29). Są jednak także doniesienia o braku jakichkolwiek efektów (30,31). Z porównania poszczególnych badań, w których stosowane były bardzo różne rodzaje ekspozycji, wynika, że efekt był ściśle zależny od rodzaju pola (stałe czy modulowane) i częstotliwości. Badania eksperymentalne dotyczące aktywnego transportu jonów sodu i potasu prowadzone dla PEM w szerokim zakresie SAR ($0,2\text{--}200 \text{ W/kg}$) i częstotliwości 27 MHz – 10 GHz wykazały, że mimo braku zmian temperatury, transport tych jo-

nów przez błony komórkowe był zakłócony (32). Obserwano też, zależne od ekspozycji, zaburzenia działania pompy jonowej (K⁺, Na⁺, ATP-aza) w błonie komórkowej erytrocytów. Mechanizm opisanych zmian nie jest znany (33). Ostatnio rozważany jest udział wolnych rodników w mechanizmie zmian przepuszczalności błony komórkowej pod wpływem PEM mikrofalowych (34).

Istotnym elementem funkcjonowania centralnego układu nerwowego jest bariera krew-mózg, która działa jak swoisty filtr, warunkujący przenikanie różnych substancji (m. in. leków) z krwi do mózgu. W związku z tym badania wpływu pól elektromagnetycznych, w tym PEM, emitowanych przez telefony komórkowe, na przepuszczalność bariery krew-mózg mogą mieć szczególne znaczenie. Wyniki tych badań nie są jednoznaczne. Wcześniejsze badania sugerowały, że wzrost przepuszczalności bariery krew-mózg związany był ze wzrostem temperatury mózgu pod wpływem PEM. Efekt był istotnie zależny od parametrów ekspozycji (częstotliwości PEM i wartości SAR), a także rodzaju substancji dla której była badana przepuszczalność (mannitol, insulina, dekstran, albuminy) (35,36). Z ostatnich badań Salforda i wsp. przeprowadzonych na szczurach eksponowanych na PEM 915-MHz, SAR 0,0016 W/kg wynika, że nawet przy bardzo niskim poziomie ekspozycji, który nie może wywoływać efektu termicznego, występuje istotny wzrost przepuszczalności bariery krew-mózg dla albumin (36). Dotychczasowe badania wskazują, że nawet dla wartości SAR poniżej dopuszczalnych limitów higienicznych mogą występować zmiany przepuszczalności błony komórkowej.

Istotny problem stanowi wyjaśnienie, czy zaburzenia przepuszczalności błony komórkowej w różnych rodzajach komórek obserwowane *in vitro* mają wpływ na funkcjonowanie tkanek i narządów. W tym celu przeprowadzono wiele doświadczeń na komórkach nerwowych, mięśnia sercowego i izolowanym sercu. Schwartz i Mealing nie zaobserwowali zwiększonego uwalniania jonów wapnia ani zmian kurczliwości w izolowanym fragmencie przedsionka serca żaby po 32 min ekspozycji na ciągłe lub modulowane amplitudowo (0,5 Hz lub 16 Hz) PEM o częstotliwości 1 GHz (3,2 mW/kg – 1,6 W/kg) (31). Ekspozycja na modulowane PEM mikrofalowe 2,45 GHz (10 ms, współczynnik wypełnienia impulsu – 1/1000, 16 Hz, SAR 0,003, 2,6 W/kg) przez 2 godz. nie zmieniały czasu przewodzenia impulsów elektrycznych w sercu żaby (37). W badaniach Pakhamova nie wykazano również zmiany częstości ani amplitudy skurczów izolowanego przedsionka serca żaby podczas ekspozycji na mikrofałe 915 MHz, SAR 10–20 W/kg. Natomiast po dodaniu do roztworu 1 mM kofeiny, zaobserwowano wzrost obu tych parametrów pod wpływem PEM (38). Badania Seamana i DeHaana wykazały, że trwająca 190 s ekspozycja na ciągłe PEM o częstotliwości 2,45 GHz (SAR >46 W/kg) oraz na PEM o impulsie prostokątnym (12–43,5 W/kg, współczynnik wypełnienia impulsu 50%) powodowała zwiększenie częstości spontanicznych skurczów zagregowanych komórek serca zarodków kurzych przy jednoczesnym wzroście

temperatury. Ekspozycja na PEM ciągłe (1,2–12,2 W/kg) wywoływała także zwiększenie częstości spontanicznych skurczów zagregowanych komórek serca zarodków kurzych, przy braku efektu termicznego, natomiast ekspozycja na PEM modulowane impulsowo (10,9 ms współczynnik wypełnienia impulsu 11%, SAR 8,4–12,2 W/kg) wywoływała efekt odwrotny (39).

Wyniki omówionych badań wskazują na możliwość wpływu mikrofal na tkanki pobudliwe. Badania są jednak fragmentaryczne, dotyczą różnych rodzajów komórek i tkanek pochodzących od różnych gatunków zwierząt, a warunki ekspozycji są nieporównywalne pod względem rodzaju i czasu trwania eksperymentu oraz parametrów PEM. Badania te nie zawsze dotyczyły dokładnie tych częstotliwości jakie są emitowane przez telefony komórkowe, ale obejmowały zakres, dla którego domniemany mechanizm działania biologicznego PEM jest podobny. Wyników tych badań nie można jednak wykorzystać bezpośrednio do przewidywania skutków zdrowotnych (2).

BADANIA *IN VIVO* NA ZWIERZĘTACH

Podobnie jak u ludzi, również na zwierzętach prowadzi się wiele badań dotyczących działania biologicznego PEM o częstotliwościach radio- i mikrofalowych. Dotychczasowe badania na zwierzętach, podobnie jak u ludzi, nie potwierdziły wpływu PEM o częstotliwości mikrofalowej na poziom i rytm dobowy wydzielania melatoniny, która poza podstawową rolę regulatora rytmów dobowych wielu funkcji fizjologicznych, ma znaczenie w zapobieganiu procesom starzenia się i procesom nowotworowym. Badania prowadzone na szczurach i myszach podczas ekspozycji na bardzo słabe PEM (SAR 0,06–0,6 W/kg) o częstotliwości 900 MHz przez 6 godz. nie wykazały wpływu na wydzielanie melatoniny (40). Podobnie 17 miesięczna ekspozycja myszy i szczurów na PEM o częstotliwości 900 MHz, stałe (SAR 1,5 W/kg) i modulowane (SAR 0,35 W/kg) przez 1,5 godz. dziennie przez 5 dni w tygodniu, nie spowodowała zmian poziomu metabolitów melatoniny (6-OHMS) w moczu (41).

Wiele uwagi poświęcono badaniu wpływu PEM na uwalnianie i aktywność neuroprzebieżników w mózgu. Wyniki tych badań są niejednoznaczne: niektóre np. podają obniżenie aktywności acetylocholinesterazy podczas ekspozycji świń morskich na modulowane impulsowo PEM 3000 MHz, 25 W/m² (42), inne jej wzrost w komórkach nerwiaka niedojrzałego eksponowanych na modulowane amplitudowo PEM, 147 MHz, 0,1 W/kg (43) lub spadek stężenia acetylocholinoliny w mózgu myszy eksponowanych na pojedyncze impulsy PEM 2450 MHz (44). Millar i wsp. nie wykazali żadnych zmian aktywności acetylocholinoliny u ryb eksponowanych na impulsowe PEM o częstotliwości 2,45 GHz, 4,29 W/kg (45). Badania Lai i wsp. wykazały, że ekspozycja myszy na słabe, modulowane PEM (2,45 GHz, SAR 0,6 W/kg) powoduje zależny od czasu trwania ekspozycji wzrost (ekspozycja 20 min) lub spadek (ekspozycja 45 min) aktywności układu

cholinergicznego w mózgu. Z innych badań tych samych autorów wynika, że słabe PEM o częstotliwości mikrofalowej mogą modyfikować reakcję organizmu na różne substancje psychoaktywne, w niektórych przypadkach nasilają efekt (np. zwiększają hipotermię po apomorfynie), a w innych redukcją (np. zmniejszają hipotermię po amfetaminie). Dalsze doświadczenia udowodniły, że ekspozycja na takie PEM aktywuje system endogennych opioidów w mózgu, co może zakłócać reakcję na niektóre leki. Badania te wskazują również, że parametry ekspozycji (PEM ciągle lub modulowane, czas ekspozycji, rozkład pochłanianej energii) istotnie wpływają na rodzaj obserwowanych zmian (25).

Badania wpływu PEM o częstotliwościach mikrofalowych na poziom amin katecholowych nie doprowadziły również do jednoznacznych wniosków, niektóre wykazały wzrost aktywności noradrenaliny w podwzgórzu podczas ekspozycji szczurów na PEM 2375 MHz, 50 W/m², inne spadek aktywności podczas ekspozycji na PEM 2450 MHz, 100 W/m² (46).

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone dotychczas badania wskazują, że pola elektromagnetyczne o częstotliwościach mikrofalowych w tym o częstotliwości emitowanej przez telefony komórkowe powodują różnego rodzaju mierzalne efekty biologiczne. Istotnym problemem jest wyjaśnienie, czy efekty te mogą mieć konsekwencje zdrowotne, czy mogą wywołać chorobę lub pogorszyć przebieg już istniejących schorzeń. Ważne jest też sprawdzenie, czy zmiany te stanowią zagrożenie dla zdrowia w rozumieniu nie tylko powstania choroby, ale także utraty komfortu fizycznego czy psychicznego. Wymaga to jednak wieloletniej obserwacji osób ekspozowanych. Wiele opisanych w związku z ekspozycją zmian biochemicznych i czynnościowych może mieć znaczenie w patogenezie różnych schorzeń, np. wzrost przepuszczalności bariery krew-mózg, czy zmiany aktywacji układu endogennych opioidów mogą leżeć u podłoża opisywanych przez użytkowników telefonów komórkowych bólów głowy (4). Z drugiej strony bóle głowy mogą być wywołane tak wieloma czynnikami, że ich związku z PEM nie można jeszcze uznać za udowodniony. Podobne zastrzeżenia dotyczą wszystkich innych obserwacji, zwłaszcza tych uzyskanych w badaniach na zwierzętach, gdyż nie można ekstrapolować wyników badań na zwierzętach bezpośrednio na ludzi. Nie można też na razie ocenić konsekwencji zdrowotnych tych efektów. Wymaga to dalszych badań, które muszą wyjaśnić, czy efekty poszczególnych ekspozycji się sumują, czy zmiany wywołane ekspozycją są odwracalne i ustępują po okresie wypoczynku, czy też mają charakter stały, powodując np. indukację nowotworów.

W chwili obecnej, zgodnie z oficjalnymi raportami międzynarodowych organizacji i grup roboczych zajmujących się ochroną przed promieniowaniem niejonizującym (m. in. Komisja Ochrony przed Promieniowaniem Niejonizującym-ICNIRP), opracowanymi na podstawie badań naukowych

przewodzonych w wielu krajach, nie można jednoznacznie ocenić ryzyka zdrowotnego związanego z użytkowaniem telefonów komórkowych (1).

PIŚMIENNICTWO

1. ICNIRP: Health issues related to the use of hand-held radiotelephones and base transmitters. *Health Physics* 1996, 70, 587–593.
2. Repacholi M.H.: Low level exposure to radiofrequency electromagnetic fields. *Health effects and research needs. Bioelectromagnetics* 1998, 19, 1–19.
3. Moulder J.E., Erdreich L.S., Malyapa R.S., Mwrriitt J., Picard W.E., Vijayalaxmi: Cell Phones and Cancer: What is the evidence for a connection? *Review. Radiat. Res.* 1999, 151, 513–531.
4. Frey A.: Headaches from cellular Telephones: Are they real and what are the implication. *Environ. Health Perspect.* 1998, 106, 101–103.
5. Royal Society of Canada: A review of the potential health risks of radio-frequency fields from wireless telecommunication devices. Ottawa, Ont., Royal Society of Canada. Canada, 1999.
6. Mild K.H.: Use of mobile phones and subjective disorders. A Swedish-Norwegian epidemiological study. Background and development of questionnaire. Tampa, Bioelectromagnetic Society, czerwiec 1998.
7. Hocking B.: Preliminary report: Symptoms associated with mobile phone use. *Occup. Med.* 1998, 48, 357–360.
8. Lundgren K.: GSM phones-no more symptoms than NMT. *Working Life, Research and Development News, Newsletter* 3, 1998.
9. Hamburger S., Logue J.N., Silverman P.M.: Occupational exposure to non-ionizing radiation and an association with heart disease: An exploratory study. *J. Chron. Dis.* 1983, 36, 11, 791–802.
10. Oftedal G., Wilen J., Sandstrom M., Mild K.H.: Symptoms experienced in connection with mobile phone: *Occup. Med.* 2000, 50, 4, 237–245.
11. Mann K., Roschke J.: Effects of pulsed high frequency electromagnetic fields on human sleep. *Neuropsychobiology* 1996, 33, 41–47.
12. Wagner P., Roschke J., Mann K., Hiller W., Frank C.: Human sleep under the influence of pulsed radiofrequency electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics* 1998, 19, 199–202.
13. Roschke J., Mann K.: No short-term effects of digital mobile radio telephone on the awake human electroencephalogram. *Bioelectromagnetics* 1997, 18, 172–176.
14. Hietanen M., Kovala T., Hamalainen, Velin R., von Nandelstadh P.: EEG activity of the human brain during exposure to cellular phones. W: F. Bersani, red. *Electricity and Magnetism in Biology and Medicine.* New York, Kluwer Academic/Plenum Publisher, 1997.
15. Reiser H.P., Dimpfel W., Schober F.J.: The influence of electromagnetic fields on human brain activity. *Eur. J. Med. Res.* 1995, 1, 27–32.
16. Kiltzing I.: Low-frequency pulsed electromagnetic fields influence EEG in man. *Phys. Med.* 1995, 11, 77–80.
17. Freude G., Ullsperger P., Eggert S., Ruppe I.: Microwaves emitted by cellular telephones affect human slow brain potentials. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2000, 81, 18–27.
18. Anderson V., Davidson L., Joyner K.H., Wood A.W., Macdonell R., Curatolo J.: Nerve conduction velocity and mobile phones. W: F. Bersani, red. *Electricity and Magnetism in Biology and Medicine.* New York, Kluwer Academic/Plenum Publisher, 1997.

19. De Seze R., Fabro-Peray P., Miro L.: GSM radiocellular telephones do not disturb the secretion of antipituitary hormones in humans. *Bioelectromagnetics* 1998, 19, 271–278.
20. De Seze R., Ayoub J., Peray P., Miro L., Toutou Y.: Evaluation in humans of the effects of radiocellular telephones on circadian patterns of melatonin secretion, a chronobiological rhythm marker. *J. Pineal Res.* 1999, 27, 237–242.
21. Mann K., Wagner P., Brunn G., Hassan F., Hiemke C., Roschke J.: Effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on the neuroendocrine system. *Neuroendocrinology* 1998, 67, 139–144.
22. Braune S., Wracklage C., Raczek J., Lucking C.H.: Resting blood pressure increase during exposure to a radio-frequency electromagnetic field. *Lancet*, 1998, 351, 1857–1858.
23. Thuroczy G., Kubinyi G., Sinay H., Bakos J., Sipos K., Lenart A. i wsp.: Human electrophysiological studies on the influence of RF exposure emitted by GSM cellular phones. W: F. Bersani, red. *Electricity and Magnetism in Biology and Medicine*. New York, Kluwer Academic/Plenum Publisher, 1997.
24. Adair E.R., Hartman S.K., Berglund L.G., Mack G.W.: Physiological and perceptual responses of human volunteers during whole-body RF exposure at 450 MHz. *Second World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine* 1997, J5, s. 143.
25. Lai H.: Research on the neurological effects of nonionizing radiation at the University of Washington. *Bioelectromagnetics* 1992, 13, 513–526.
26. Navakatikian M.A., Tomashevskaya L.A.: Biological effects of electric and magnetic fields. Sources and mechanisms (Tom 1). London, Academic Press, 1994.
27. Blackman C.F., Benane S.G., Elliot D.J., House D.E., Pollock M.M.: Influence of electromagnetic field on the efflux of calcium ions from brain tissue *in vitro*: A three model analysis consistent with the frequency response up to 510 Hz. *Bioelectromagnetics* 1988, 9, 215–227.
28. Dutta S.K., Ghosh B., Blackman C.F.: Radiofrequency radiation induced calcium ion efflux enhancement from human and other neuroblastoma cells in culture, *Bioelectromagnetics* 1989, 10, 197–202.
29. Somosy Z., Kittel A., Thuroczy G.: Ultrastructural distribution of calcium after ELF modulated microwave and GSM modulated RF irradiation in the temporal cortex of rat brain. *Second World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine*, 1997, G10, s. 125.
30. Merritt J.H., Shelton W.W., Chamness A.F.: Attempts to alter Ca⁺⁺ binding to brain tissue with pulse-modulated microwave energy. *Bioelectromagnetics* 1982, 3, 475–478.
31. Schwartz J.L., Mealing G.A.R.: Calcium ion movement and contractility in atrial strips of frog heart are not affected by low frequency, modulated 1 GHz electromagnetic radiation. *Bioelectromagnetics* 1993, 14, 521–533.
32. Cleary S.F.: Effects of radio-frequency radiation on mammalian cells and biomolecules *in vitro*. W: M. Blank, red. *Electromagnetic fields: biological interaction and mechanisms*. Washington, American Chemical Society, 1995, ss. 467–477.
33. Liu D.S., Astumian R.D., Tsong T.Y.: Activation of Na and K pumping modes of Na, K-ATPase by an oscillating electric field. *J. Biol. Chem.* 1990, 265, 7260–7267.
34. Phelan A.M., Lange D.G., Kues H.A., Luty G.A.: Modification of membrane fluidity in melanin containing cells by low level microwave radiation. *Bioelectromagnetics* 1992, 13, 131–146.
35. Fritze K., Sommer G., Schmitz B., Mies G., Hossmann K.A., Kiessling M. i wsp.: Effect of global system for mobile communication (GSM) microwave exposure on blood-brain permeability in rat. *Acta Neuropathol* 1997, 94, 465–470.
36. Salford L.G., Brun A., Stureson K., Eberhard J.L., Person B.R.: Permeability of the blood-brain barrier induced by 915 MHz electromagnetic radiation, continuous wave and modulated at 8,16,50,200 Hz. *Microsc. Res. Tech.* 1994, 27, 535–542.
37. Yes K.C., Chou C.K., Guy A.W.: Character of the effect of microwave on conduction velocity of frog ventricular muscle. *Bioelectromagnetics* 1995, 15, 555–561.
38. Pakhamov A.G., Dubrovick B.V., Degtyariev I.G., Pronkevich A.N.: Microwave influence on the isolated heart function. II: combined effect of radiation and some drugs. *Bioelectromagnetics* 1995, 16, 250–254.
39. Seaman R.L., de Haan R.L.: Inter beat intervals of cardiac cell aggregates during exposure to 2.45 GHz CW, pulsed and square wave modulated microwaves. *Bioelectromagnetics* 1993, 14, 41–55.
40. Vollrath L., Spessert T., Kratzsch M., Keiner M., Hollmann H.: No short-term effects of high-frequency electromagnetic fields on the mammalian pineal gland. *Bioelectromagnetics* 1997, 18, 376–387.
41. Heikkinen P., Kumlin T., Laitinen J., Komulainen H., Juutilainen J.: Nocturnal secretion of 6-hydroxymelatonin sulfate in mice exposed to 900 MHz radiofrequency radiation or 50 Hz magnetic fields. W: F. Bersani, red. *Electricity and Magnetism in Biology and Medicine*. New York, Kluwer Academic/Plenum Publisher, 1997.
42. Barański S., Arber S.L., Lin J.C.: Histological and histochemical effects of microwave irradiation on the central nervous system on rabbits and guinea pigs. *Am. J. Physiol. Med.* 1972, 51, 182–190.
43. Dutta S.K., Ghosh B., Blackman C.F.: Dose dependence of acetylcholinesterase activity in neuroblastoma cells exposed to modulated radio-frequency electromagnetic radiation. *Bioelectromagnetics* 1992, 13, 317–322.
44. Modak A.T., Stavinoha W.B., dean U.P.: Effect of short electromagnetic pulses on brain acetylcholine content and spontaneous motor activity in mice. *Bioelectromagnetics* 1981, 2, 89–92.
45. Millar D.B., Christopher J.P., Hunter J., Yeandle S.S.: The effect of exposure of acetylcholinesterase to 2450 MHz microwave radiation. *Bioelectromagnetics* 1984, 5, 165–172.
46. Inaba R., Shisido K., Okada A., Moroji T.: Effects of whole body microwave exposure on the rat brain contents of biogenic amines. *Eur. Appl. Physiol.* 1992, 65, 124–128.

Adres autorki: Św. Teresy 8, 90-950 Łódź

Nadesłano: 6.02.2001

Zatwierdzono: 12.03.2001