

Marek Bąk¹

Marek Zmysłony²

WPŁYW POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO DORĘCZNYCH TELEFONÓW KOMÓRKOWYCH NA WYBRANE FUNKCJE OŚRODKOWEGO UKŁADU NERWOWEGO — PRZEGLĄD LITERATURY

EFFECTS OF ELECTROMAGNETIC FIELD FROM CELLULAR PHONES ON SELECTED CENTRAL NERVOUS SYSTEM FUNCTIONS: A LITERATURE REVIEW

¹ Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera, Łódź
Klinika Chorób Zawodowych i Toksykologii

² Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera, Łódź
Pracownia Zagrożeń Elektromagnetycznych

STRESZCZENIE

Wzrost emisji sztucznych pól elektromagnetycznych (PEM), określane niekiedy jako smog elektromagnetyczny, w opinii niektórych specjalistów powoduje wzrastające zagrożenie zdrowotne w populacji generalnej. Szczególne zagrożenie stwarzać mogą pola telefonii komórkowej, ze względu na bardzo dużą liczbę ich użytkowników i bliskość źródła emisji od głowy osoby korzystającej z telefonu. Niniejsza praca jest próbą usystematyzowania wyników obiektywnych badań mających na celu zdefiniowanie wpływu PEM telefonii komórkowej na funkcjonowanie struktur anatomicznych wchodzących w skład ośrodkowego układu nerwowego (OUN). Na podstawie przeglądu literatury stwierdzono, że krótka ekspozycja na PEM telefonii komórkowej, na jaką jest narażony użytkownik podczas typowej rozmowy telefonicznej, pozostaje bez wpływu na czynność ślimaka. Nie stwierdza się również wpływu PEM wykorzystywanych w telefonii komórkowej GSM na przewodzenie impulsów nerwowych od komórek słuchowych wewnętrznych do ośrodków słuchowych pnia mózgu. Wydaje się, że ekspozycja na PEM modyfikuje odpowiedź mózgu w sensie oczekiwanych bodźców, nie zwiększając trudności w ich rozróżnieniu. Przeprowadzanie eksperymentów z zastosowaniem metod pośrednich nie pozwala na jednoznaczny weryfikację oddziaływania PEM na wyższe funkcje poznawcze ze względu na złożoność anatomiczną i czynnościową OUN. Z tego też względu konieczne wydaje się opracowanie modelu oddziaływania PEM na struktury pobudliwe mózgu na poziomie komórkowym. Med. Pr. 2010;61(6):671–683

Słowa kluczowe: PEM, GSM, ABR, ERPs, P300, TEOAE, EEG

ABSTRACT

In the opinion of some experts, a growing emission of man-made electromagnetic fields (EMF), also known as electromagnetic smog, is a source of continuously increasing health hazards to the general population. Due to their large number and very close proximity to the user's head, mobile phones deserve special attention. This work is intended to give a systematic review of objective studies, assessing the effects of mobile phone EMF on the functions of the central nervous system (CNS) structures. Our review shows that short exposures to mobile phone EMF, experienced by telephone users during receiving calls, do not affect the cochlear function. Effects of GSM mobile phone EMF on the conduction of neural impulses from the inner ear neurons to the brainstem auditory centres have not been detected either. If Picton's principle, saying that P300 amplitude varies with the improbability of the targets and its latency varies with difficulty of discriminating the target stimulus from standard stimuli, is true, EMF changes the improbability of the targets without hindering their discrimination. Experiments with use of indirect methods do not enable unequivocal verification of EMF effects on the cognitive functions due to the CNS anatomical and functional complexity. Thus, it seems advisable to develop a model of EMF effects on the excitable brain structures at the cellular level. Med Pr 2010;61(6):671–683

Key words: EMF, GSM, ABR, ERPs, P300, TEOAE, EEG

Adres 1. autora: Klinika Chorób Zawodowych i Toksykologii, Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera, ul. św. Teresy 8, 91-348 Łódź; e-mail: bm@imp.lodz.pl
Nadesłano: 3 września 2010
Zatwierdzono: 7 października 2010

WSTĘP

Ostatnio następuje dynamiczny proces rozwoju łączności bezprzewodowej. Mimo że systemy łączności były znane przez II wojnę światową, dopiero ich upo-

wszechnienie jako telefonii komórkowej doprowadziło do znacznego podwyższenia poziomu pól i promieniowania elektromagnetycznego (PEM) w środowisku życia ludzi. Dodatkowo, nowoczesne systemy łączności bezprzewodowej (a zwłaszcza telefonia komórkowa)

wprowadzają do środowiska bytowania człowieka coraz to nowe częstotliwości PEM, które nigdy wcześniej w nim nie występowały. Według wielu specjalistów skutkuje to zwiększonym zagrożeniem zdrowia populacji generalnej.

Pierwsze systemy telefonii komórkowej (działające w oparciu o technikę analogową) opracowywano oddzielnie w różnych krajach. W 1979 r. uruchomiono japońską sieć INTT, w 1981 — skandynawską sieć NMT, a w 1983 — sieć AMPS w USA. Kolejne systemy oparto na cyfrowej emisji sygnału. Pierwszy był GSM (global system for mobile communications), którego pierwsza sieć powstała w Wielkiej Brytanii w 1992 roku, następny — uniwersalny system komunikacji ruchomej UMTS (UMTS — universal mobile telecommunications system). Systemy te biją kolejne rekordy popularności — w chwili obecnej liczba telefonów doręcznych przekracza już liczbę mieszkańców Ziemi. Nie można się więc dziwić, że wzrastają obawy związane z możliwością negatywnego wpływu PEM emitowanych przez nie na zdrowie użytkowników. Szczególnie wrażliwy na działanie PEM (ze względu na bliskość źródła emisji od głowy osoby korzystającej z telefonu) wydaje się być ośrodkowy układ nerwowy (OUN).

Generalnie wyróżnia się dwa typy oddziaływania PEM na organizmy żywe — mechanizmy termiczne i pozatermiczne. U podstaw mechanizmów termicznych leży lokalny wzrost temperatury pod wpływem narażenia na PEM. Potwierdzony on został zarówno w symulacjach matematycznych (1), jak i w badaniach doświadczalnych dla PEM z zakresu fal ultrakrótkich i mikrofal. Zdecydowanie mniej poznane są mechanizmy pozatermiczne oddziaływania PEM. Rozważany jest wpływ PEM z zakresu mikrofal na metabolizm mózgowy, poziom wewnątrzkomórkowego wapnia i poziom neurotransmiterów. Pola elektromagnetyczne mogą także powodować zmianę przenikalności bariery krew – płyn mózgowo-rdzeniowy, zmiany genotoksyczne oraz modyfikować wydzielanie neurohormonów (2).

Ośrodkowy układ nerwowy zawiera około 150 miliardów neuronów i wprost niewyobrażalną liczbę połączeń między nimi (3), więc jest bardzo trudny do badania. Współcześnie wśród dostępnych metod badań czynnościowych struktur znajdujących się w OUN należy wymienić: emisję otoakustyczną, elektroencefalografię, słuchowe potencjały wywołane i potencjały endogenne długiolatencyjne.

Jeśli efekt pozatermiczny PEM o częstotliwości stosowanej w telefonii komórkowej na OUN istnieje, to — biorąc pod uwagę małą odległość telefonu ko-

mórkowego od ucha oraz naturalną aktywację narządu słuchu w trakcie rozmowy telefonicznej — najprawdopodobniej powinien być on obserwowany na drodze przewodzenia bodźców elektrycznych we włóknach słuchowych. Wyniki dotychczasowych badań w tym zakresie są jednak rozbieżne.

EMISJA OTOAKUSTYCZNA

Badanie emisji otoakustycznych pozwala na bezpośrednią, obiektywną ocenę funkcji komórek słuchowych zewnętrznych narządu Cortiego, a pośrednio — włókien nerwowych efferentnych i afferentnych. Mimo różnic metodologicznych wyniki opublikowanych dotąd prac podejmujących ocenę wpływu PEM telefonii komórkowej na zapis emisji otoakustycznych są negatywne.

Aran i wsp. (4) oceniali wpływ PEM telefonii komórkowej o częstotliwości 900 MHz na narząd słuchu świnek morskich za pomocą emisji otoakustycznej produktów zniekształceń nieliniowych (distortion product otoacoustic emission — DPOAE). Mimo że zwierzęta były eksponowane w sposób przewlekły (1 godzina na dzień, 5 dni w tygodniu przez 2 miesiące), nie odnotowano istotnych statystycznie różnic zarówno między grupą zwierząt eksponowanych na PEM a grupą zwierząt nieeksponowanych (grupa kontrolna), jak i między grupą zwierząt poddanych symulowanej ekspozycji a poddanych rzeczywistej ekspozycji. Wcześniej podobne wyniki opublikowali Parazzini i wsp. (5), którzy badali wpływ PEM o częstotliwości 900 MHz systemu GSM na komórki słuchowe zewnętrzne szczurów.

Najkrótszy czas ekspozycji w badaniach nad wpływem PEM telefonii komórkowej na narząd słuchu z zastosowaniem emisji otoakustycznej został zastosowany przez Ozturan i wsp. (6). Badania wpływu PEM telefonii komórkowej u 30 ochotników poddanych 10-minutowej ekspozycji nie wykazały jakiegokolwiek wpływu PEM na stan ślimaka.

Z kolei Mora i wsp. (7) zbadali wpływ PEM telefonii komórkowej o częstotliwości pracy 935 MHz i 1800 MHz na 20 zdrowych ochotników za pomocą m.in. TEOAE (transiently evoked otoacoustic emission — emisja otoakustyczna wywołana trzaskiem). Autorzy założenia badawcze zrealizowali w trzech etapach: 30-minutowej ekspozycji na PEM bez przeprowadzania rozmów przez telefon, 30-minutowej ekspozycji na PEM z przeprowadzaniem rozmów przez telefon oraz 15-minutowej ekspozycji na PEM bez przeprowadzania rozmów. W dwóch pierwszych etapach bada-

nie TEOAE wykonano bezpośrednio po zakończeniu ekspozycji, natomiast w trzecim przypadku — w 0, 10, i 15. minucie ekspozycji. Uzyskane wyniki pomiarów porównano z wynikami badań przeprowadzonymi u tych samych ochotników przed ekspozycją.

Należy jednak zauważyć pewne niedociągnięcia eksperymentu prowadzonego przez Morę i wsp. Autorzy nie sprawdzili wpływu PEM telefonii komórkowej na aparaturę badawczą, zakładając *a priori*, że aparatura pomiarowa ma niezbędne zabezpieczenia. Wniosek ten w stosunku do aparatury badającej TEOAE nie jest słuszny. Wynika to z tego, że typowa aparatura pomiarowa do badań otoemisji nie ma zabezpieczeń przed indukowaniem się prądów w przewodach łączących sondy z przedwzmacniaczem, co skutecznie uniemożliwia przeprowadzenie badań TEOAE w trakcie ekspozycji na PEM. Ewidentnym błędem było umocowanie telefonu komórkowego za pomocą metalowego statywu, co bezpośrednio mogło wpływać na rozkład PEM, a tym samym zmieniać warunki ekspozycji (8).

Ułożenie i wsp. (9) zbadali wpływ PEM telefonii komórkowej o częstotliwości pracy 900 MHz i 1800 MHz na 30 zdrowych ochotników za pomocą TEOAE i audiometrii tonalnej. Badania te prowadzono zarówno przed ekspozycją na PEM (rzeczywistą i symulowaną), jak i bezpośrednio po niej. Autorzy stwierdzili brak wpływu PEM na zapis TEOAE. Takie same wyniki dało badanie przy pomocy audiometrii tonalnej. Do podobnych wniosków doszli Thimonier i wsp. (10), badając wpływ PEM o częstotliwości 935 MHz systemu GSM, m.in. na DPOAE u 20 ochotników obojga płci.

Nieco odmienne podejście do tego zagadnienia zaprezentowali Kerekhanjanarong i wsp. (11). Badali oni wpływ przewlekłej ekspozycji PEM telefonii komórkowej. Badania wykonywali za pomocą emisji otoakustycznej (także audiometrii tonalnej, tympanometrii i słuchowych potencjałów wywołanych) u ochotników, którzy byli użytkownikami telefonów komórkowych. Analizie statystycznej poddano wyniki ww. badań uzyskanych z ucha niedominującego w stosunku do dominującego. Za ucho dominujące uznano to, do którego z reguły przystawiana jest słuchawka telefonu komórkowego.

Grupa ochotników była pod tym względem niejednorodna: 57 osób podczas rozmów przykładała zwyczajowo telefon do ucha prawego, 41 — do ucha lewego. Autorzy jako ucho dominujące zdefiniowali więc ucho prawe. U ochotników, u których średni czas rozmowy telefonicznej wynosił 26 minut na dobę, analiza

statystyczna nie wykazała różnic. Z kolei u osób, które użytkowały telefon komórkowy powyżej 60 minut na dobę, analiza statystyczna wykazała pogorszenie słuchu w uchu dominującym w stosunku do niedominującego. Wy tłumaczenia tej sytuacji należy prawdopodobnie upatrywać w tym, że pogorszenie słuchu było spowodowane nie przez PEM, lecz zmęczenie słuchu związane z prowadzoną przez telefon komórkowy rozmową i oddziaływaniem fal akustycznych generowanych przez telefon komórkowy. Wpływ ten może być związany bezpośrednio z małą przestrzenią, w której rozpraszają się fale akustyczne oraz znaczną mocą akustyczną samych aparatów telefonicznych.

Bąk (12) przeprowadził ocenę wpływu ekspozycji na PEM na 54 ochotników. Analizę przeprowadzono na podstawie zapisu emisji otoakustycznej, który zarejestrowano przed ekspozycją na PEM i po niej. Badanie wykonano z zastosowaniem sprzętu firmy Otodynamics model ILO-96. W badaniu oceniano zbiorczą odpowiedź TEOAE oraz jej amplitudę w pasmach częstotliwości 1, 2, 3, 4, i 5 kHz. W badaniu kontralateralnej stymulacji do ucha lewego nadawano biały szum, podczas gdy TEOAE oznaczano w uchu prawym. Szum był generowany za pomocą tego samego urządzenia (ILO-96), a jego natężenie było o 35 dB wyższe od progu audiometrycznego słuchu dla szumu (dB SL).

W badaniu oceniano różnicę amplitudy emisji otoakustycznej bez kontralateralnej stymulacji i z nią, dla odpowiedzi zbiorczej i w pasmach częstotliwościowych jak wyżej. Analiza emisji otoakustycznej wywołanej trzaskiem wykazała, że amplituda TEOAE nie ulegała istotnej zmianie po narażeniu na PEM o częstotliwości 935 MHz — zarówno z kontralateralną stymulacją, jak i bez niej — w żadnej z ocenianych częstotliwości w paśmie 1–5 kHz ani dla odpowiedzi zbiorczej.

Dla odpowiedzi zbiorczej amplitudy TEOAE z kontralateralną stymulacją były mniejsze niż bez takiej stymulacji, ale nie różniły się między badaniem przed ekspozycją i po niej. Po narażeniu na PEM efekt supresyjny kontralateralnej stymulacji w odpowiedzi zbiorczej i dla 1 kHz był wyraźnie mniejszy niż przed narażeniem, jednak podobnie nie były to różnice istotnie statystyczne. Wyniki te sugerują brak istotnego wpływu PEM na narząd Cortiego, a także na odruch oliwkowo-ślimakowy.

Podsumowując, należy stwierdzić, że krótka ekspozycja na PEM telefonii komórkowej, na jaką jest narażony użytkownik podczas typowej rozmowy telefonicznej, pozostaje bez wpływu na czynność ślimaka.

CZYNNOŚĆ BIOELEKTRYCZNA MÓZGU

Jedną z funkcji OUN jest analizowanie docierających sygnałów. Obrazem tej czynności jest zapis elektroencefalograficzny (EEG). Pierwsze próby, które miały na celu wyjaśnienie wpływu PEM na OUN, bazowały na porównaniu zapisu EEG u ochotników eksponowanych na PEM z zapisem uzyskanym bez ekspozycji. W celu wykluczenia zakłócającego wpływu świadomości na wynik zapisu doświadczenia przeprowadzano w różnych fazach snu.

Jednym z pierwszych doświadczeń tego typu były badania Bise'a przeprowadzone w 1978 roku, które polegały na eksponowaniu zdrowych ochotników na PEM z zakresu 130–960 MHz w modulacji ciągłej (continuous wave — CW) oraz impulsowo modulowanej PEM o częstotliwości 8,5–9,6 GHz (13). Autor wykazał czasowe zmiany w morfologii fal i zmianę zachowań ochotników. Wyniki tego doświadczenia zostały zakwestionowane przez kolejnych badaczy jako nierealistyczne, ponieważ gęstość mocy użyta w doświadczeniu wynosiła 1 pW/cm² i była znacznie mniejsza niż w środowisku komunalnym.

Z kolei Ayoub i wsp. (14) przeprowadzili doświadczenie mające wykazać wpływ godzinnej ekspozycji na PEM systemu GSM o częstotliwości 900 MHz na zapis EEG u 26 ochotników obojga płci. Autorzy wykazali wzrost gęstości mocy dla fal alfa1 w grupie eksponowanej na PEM. Zjawisko to nie występowało w grupie poddanej symulowanej ekspozycji.

Borbely i wsp. (15) przeprowadzili eksperyment polegający na porównaniu zapisów EEG uzyskanych w dwóch grupach osób śpiących — grupie eksponowanej na PEM (o częstotliwości 900 MHz) i grupie kontrolnej. W zapisie EEG autorzy zaobserwowali wzrost wartości sygnału dla fazy NREM snu. Maksymalny wzrost występował w pasmach 10–11 Hz i 13,5–14 Hz.

Do podobnych wniosków doszli Huber i wsp. (16,17), którzy badali wpływ PEM (900 MHz) na zapis uzyskany u 16 ochotników w ciągu pierwszych 3 godzin snu. Nastąpił u nich wzrost wartości sygnału w widmie EEG podczas ekspozycji na PEM w fazie NREM snu. Maksymalne wzrosty wartości sygnału występowały w pasmach: 9,75–11,25 Hz i 12,5–13,25 Hz. Autorzy przeprowadzając ekspozycje za pomocą anteny umieszczonej po lewej bądź prawej stronie, wykazali występowanie podobnych zmian w zapisie EEG, bez względu na lokalizację anteny. Zaproponowali oni hipotezę, że zapisy sygnałów EEG w paśmie 12,75–14 Hz zależą od mechanizmu przełączającego fazy snu, który

prawdopodobnie znajduje się w strukturach podkorowych — wzgórzu.

Hipoteza ta jest sprzeczna z hipotezą Steriade'a i wsp. (18), którzy twierdzili, że ośrodki zlokalizowane w korze mózgu są ośrodkami autonomicznymi i same regulują fazy snu. Z kolei Roth i Achermann (19) wykazali, że w zapisie EEG uzyskanym podczas snu u 14 zdrowych praworęcznych ochotników, we wszystkich odprowadzeniach znad lewej półkuli, w fazie snu NREM dominował zapis w zakresie 11–15 Hz. W odprowadzeniach znad okolicy centralno-ciemieniowej podczas fazy NREM snu w paśmie 4–8 Hz dominował zapis uzyskany z prawej półkuli. Autorzy sugerują, że różnice w zapisie EEG po stronie prawej i lewej wynikają z anatomicznych i czynnościowych różnic mózgu.

Zmiany w zapisie EEG podczas ekspozycji na PEM opisane zostały również przez von Klitzinga (20), Reiser i wsp. (21) oraz Manna i Roschkego (22), jednak wyniki poszczególnych prac różniły się między sobą. Klitzing zaobserwował wzrost gęstości mocy fali alfa natychmiast po zakończeniu ekspozycji, natomiast Reiser i wsp. wzrost gęstości mocy dla fali alfa2 oraz fal beta1 i beta2 w ciągu 15 minut od ekspozycji. Co ciekawsze, zmiany te zostały zarejestrowane przez elektrody znajdujące się w okolicy potylicznej, natomiast nie było zmian w zapisie uzyskanym znad płatów czołowych. Prawdopodobnie związane to było z umiejscowieniem źródła pól w tych badaniach. Znajdowało się ono za głową ochotnika w odległości 40 cm w przypadku telefonu komórkowego i 3–5 cm w przypadku urządzenia do terapii polem elektromagnetycznym.

Wpływ PEM na fazy snu wykazali także Reite i wsp. (23), którzy badali wpływ PEM o częstotliwości 27,12 MHz modulowanego amplitudowo falą o częstotliwości 42,7 Hz. Wykazali oni skrócenie czasu, po którym u badanych występował sen i wzrost czasu trwania poszczególnych faz snu. Znacznie dłuższy czas ekspozycji zastosowali Mann i Roschke (22), eksponując ochotników na PEM przez 8 godzin snu. Ekspozycja taka powodowała skrócenie czasu trwania fazy REM snu oraz wzrost gęstości mocy we wszystkich pasmach częstotliwości. Ci sami autorzy przeprowadzili eksperyment mający na celu zbadanie wpływu PEM na zapis EEG u czuwających ochotników. W tym celu przebadali 34 ochotników płci męskiej metodą pojedynczej ślepej próby, dokonując zapisu EEG z zamkniętymi oczami z włączonym i wyłączonym telefonem. Nie zauważyli żadnych zmian w gęstości zapisu EEG (24).

Hietanen i wsp. (25) przeprowadzili eksperyment w grupach mężczyzn i kobiet. Jako źródło PEM zasto-

sowali 5 różnych modeli telefonów komórkowych pracujących w zakresie 900–1800 MHz. Zapis EEG został przeprowadzony podczas czuwania ochotnika, który w tym czasie miał zamknięte oczy. Każdy probant uczestniczył w sześciu 30-minutowych eksperymentach, z których jeden był przeprowadzony bez ekspozycji na PEM, natomiast w 5 pozostałych zawarta była jedna krótka ekspozycja (20-minutowa), poprzedzona i zakończona 5-minutowym okresem bez ekspozycji. Tylko w stosunku do jednego rodzaju telefonu komórkowego uzyskano statystycznie znaczące zmiany w zapisie EEG. Autorzy wysunęli wnioski, że uzyskane wyniki obrazują jedynie zmienność statystyczną, a nie są skutkiem ekspozycji na PEM.

Podsumowując wyniki badań wpływu PEM na zapis EEG, można stwierdzić, że w większości doświadczeń wykazano zmiany pod wpływem ekspozycji w trakcie snu i miały one charakter zmian wzorców odpowiedzi elektrofizjologicznej. Zapis EEG jest jednak obrazem złożonego procesu toczącego się w OUN i uwarunkowanego tak wieloma zmiennymi, że ocena efektu działania PEM jest bardzo trudna, zwłaszcza podczas czuwania. Można nawet zaryzykować stwierdzenie, że w chwili obecnej niemożliwa. Istotne jest więc kontynuowanie dalszych badań dla poszczególnych układów OUN, np. narządu słuchu.

SŁUCHOWE POTENCJAŁY WYWOŁANE Z PNIA MÓZGU

Kolejną metodą oceny OUN i procesów w nim zachodzących jest badanie przewodnictwa impulsów nerwowych z receptorów słuchu do ośrodków pnia z zastosowaniem słuchowych potencjałów wywołanych. W zapisie ABR (auditory brainstem responses — słuchowe potencjały wywołane z pnia mózgu) załamek I pochodzi ze zwoju spiralnego ślimaka, załamek III — z jądra ciała czworobocznego i jądra wstęgi bocznej znajdujących się w moście oraz jądra wzgórk dolnego w śródmózgowiu, a załamek V — z jądra ciała kolankowego przyśrodkowego. Odstęp I–III odpowiada obwodowemu przewodzeniu impulsów w nerwie, natomiast odstęp III–V przewodzeniu centralnemu.

W większości przeprowadzonych na świecie badań stwierdzono brak zmian w prędkości przewodzenia impulsów elektrycznych przez nerw ślimakowy i ośrodki podkorowe słuchu, które mogły być związane z narażeniem na pola telefonii komórkowej.

Thimonier i wsp. (10), Mora i wsp. (26) oraz Bąk i wsp. (27) badaniom poddali wpływ PEM syste-

mu GSM na przewodnictwo impulsów nerwowych wywołanych bodźcami akustycznymi w zapisie ABR. Choć różne były parametry ekspozycji (Thimonier i wsp.: 1-godzinna ekspozycja, Bąk i wsp.: 40-minutowa, Mora i wsp.: 15–30-minutowa) i natężenia bodźców wywołujących odpowiedź z pnia mózgu (Thimonier i wsp.: 80–90 dB HL, Bąk i wsp.: 85 nHL dB, Mora i wsp.: brak danych w publikacji), wyniki uzyskano spójne — brak wpływu PEM systemu GSM na przewodnictwo impulsów nerwowych.

Do podobnych wniosków doszli Urbani i wsp. (28) oraz Hładky i wsp. (29), którzy badali wpływ PEM systemu telefonii komórkowej GSM na przewodnictwo impulsów nerwowych uzyskanych podczas wykonywania wzrokowych potencjałów wywołanych. Do tego zagadnienia powrócili Kwon i wsp. (30), także wykazując brak wpływu PEM na zapis ABR. Dodatkowo, Muller i Hotz (31) przeprowadzili badanie wpływu statycznego PEM generowanego przez urządzenie do obrazowania rezonansem magnetycznym na ABR, otrzymując podobne wnioski.

Jedyną znaną nam publikacją, w której autorzy sugerowali istnienie wpływu PEM na czysty proces przewodnictwa w strukturach nerwowych, jest praca Kelleny'ego i wsp. (32). Doświadczeniem objęto 10 zdrowych osób (średnia wieku: $29,3 \pm 8$ lat) eksponowanych na PEM systemu GSM przez 15 minut po prawej stronie głowy. Autorzy wykazali różnicę istotną statystycznie w latencji fali V, spowodowaną wydłużeniem jej wartości po stronie eksponowanej. Poszukując wyjaśnienia tego zjawiska, przeprowadzili badanie audiometryczne w szerokim paśmie częstotliwościowym (150 Hz–10 kHz) przed badaniem ABR i bezpośrednio po nim. Wykazali podwyższenie progu słuchu występujące po stronie eksponowanej na PEM na poziomie 20 dB w zakresie częstotliwości 2–10 kHz po ekspozycji na PEM.

Na podstawie wyników autorzy sugerują, że zmiany w latencji fali V są wynikiem wzrostu lokalnej temperatury w narządzie Cortiego i/lub przesunięcia jonów przez błonę komórkową, jednak nie precyzują lokalizacji anatomicznej tego zjawiska. Praca ta ma jednak poważne uchybienia metodologiczne. Autorzy nie określili sprzętu, na jakim dokonywali pomiarów ABR, z czym wiąże się kwestia zabezpieczeń przed uśrednianiem artefaktów podczas przeprowadzania badania w trakcie ekspozycji. Nie sprecyzowano też metodyki, jaką zastosowano podczas eksperymentu. Autorzy stwierdzili tylko, że zapis ABR był dokonany przy użyciu bliżej nieokreślonej

procedury autokontroli. Liczebność grupy ochotników była niewielka (10 osób) z asymetrycznym podziałem w podgrupach płci (3 kobiety, 7 mężczyzn). W późniejszym badaniu, ci sami autorzy nie byli w stanie potwierdzić dodatnich wyników eksperymentów (33).

Wydaje się, że przyczyną błędnych interpretacji (nie do końca sprawdzonych wyników) mogą być ww. niedoskonałości metodologiczne. Co więcej, autorzy pracy, choć wzięli pod uwagę możliwość powstania fałszywych wyników na skutek wystąpienia odruchu kontralateralnego przy stymulacji obuusznej, nie podjęli działań zmierzających do wyjaśnienia tej sytuacji. Występowanie lokalnego wzrostu temperatury dla SAR związanego z ekspozycją na PEM pochodzącego ze standardowego telefonu komórkowego jest wątpliwe, ponieważ limity mocy urządzeń nadawczych ustalane są w oparciu o wytyczne ICNIRP, a te z kolei bazują na wartościach SAR uznanych za bezpieczne, tj. nietermiczne (34).

Podsumowując, należy stwierdzić, że zarówno negatywne wyniki badań własnych, jak i wszystkich prawidłowo metodologicznie wykonanych prac oceniających zapis ABR, wydają się przesądzać o braku wpływu PEM wykorzystywanych w telefonii komórkowej GSM na przewodzenie impulsów nerwowych od komórek słuchowych wewnętrznych do ośrodków słuchowych pnia mózgu.

POTENCJAŁY ENDOGENNE DŁUGOLATENCYJNE — FALA P300

Istotnym elementem badań nad wpływem PEM na OUN było przeprowadzenie doświadczeń, w których trakcie ochotnicy wykonywali testy angażujące wyższe funkcje poznawcze. Eulitz i wsp. (35) przy pomocy słuchowego testu dyskryminacji dźwięków przeprowadzonego u 13 zdrowych mężczyzn ekspozowanych na PEM systemu GSM, stwierdzili, że PEM może modyfikować odpowiedź z mózgu, która powstaje w trakcie wykonywania testu dyskryminacji dwóch bodźców.

Nieco inne podejście przedstawili Freude i wsp. (36), którzy badali wpływ PEM systemu GSM na potencjały wolne mózgu u 16 zdrowych, praworęcznych mężczyzn podczas wykonywania testu VMT (Visual Monitor Task). Ekspozycja występowała jednostronnie, w okolicy lewego ucha. Autorzy wykazali związany z ekspozycją na PEM znaczący statystycznie spadek woltażu potencjałów wolnych z okolicy skroniowo-ciemieniowo-potylicznej.

W kolejnych badaniach (37) ci sami autorzy oceniali wpływ PEM systemu GSM na potencjały wolne, przeprowadzając je jednak w dwóch etapach rozdzielonych okresem 6 miesięcy. W drugim etapie eksperymentu oprócz testu VMT przeprowadzono dodatkowo: test prostego ruchu palca w celu wyodrębnienia z odpowiedzi BP (bereitschaftspotential — potencjał gotowości) oraz test dwóch bodźców w celu określenia potencjałów poprzedzających aktywność ruchową (CNV — contingent negative variation — fala oczekiwania).

W pierwszym etapie autorzy wykazali znaczący statystycznie spadek wartości potencjałów wolnych podczas ekspozycji na PEM, jednak w drugim (po 6 miesiącach) w żadnym z ww. testów (BP ani CNV) nie potwierdzono wpływu PEM na czynność bioelektryczną mózgu. Uzyskane rezultaty sugerują, że PEM może wpływać na niektóre procesy przetwarzania informacji przez mózg, natomiast nie wpływa na podejmowane zamiary, dobre samopoczucie lub zdrowie.

Do podobnych wniosków doszli Krause i wsp. (38), którzy przeprowadzili eksperyment polegający na poddaniu 16 ochotników ekspozycji PEM po prawej stronie głowy z równoległym wykonywaniem słownego testu dyskryminacji. Ekspozycja na PEM powodowała znaczący statystycznie wzrost gęstości zapisu w paśmie 8–10 Hz EEG. Sugeruje to, że PEM nie powodują powstania izolowanych zmian w zapisie EEG, lecz modyfikują wzorzec elektryczny mózgu powstający podczas wykonywania zadań pamięciowych.

Rozwinięciem tej pracy jest publikacja (39) opisująca przeprowadzony eksperyment wzrokowego obciążenia pamięci (visual working memory task) z udziałem 24 ochotników podczas ekspozycji na PEM systemu GSM. Autorzy wysuwają wniosek, że PEM moduluje odpowiedzi uzyskiwane w zapisie EEG w paśmie 8 Hz, obrazujące czynność neuronów podczas procesów poznawczych. Niestety, ta sama grupa badaczy nie była w stanie potwierdzić swoich wyników, kiedy zastosowano metodę podwójnie ślepej próby. W przeciwieństwie do prac wcześniejszych nie znaleziono istotnych statystycznie różnic w poszczególnych pasmach częstotliwości składających się na widmo EEG (4–6 Hz, 6–8 Hz, 8–10 Hz, 10–12 Hz).

Traktując jednak warunki ekspozycji jako zmienne zależne (ekspozycja, zadanie, czas wykonywania zadania i miejsce zapisu EEG — półkula mózgu), ujawniono istotne różnice statystyczne w zapisie EEG, niestwierdzone w pracach poprzednich. Autorzy zauważyli, że ekspozycja na PEM spowodowała istotny statystycznie wzrost liczby nieprawidłowych odpowiedzi, czego nie

wykazano przy poprzedniej analizie wyników. Wcześniej zauważono jedynie spadek czasu reakcji podczas wykonywania testów w trakcie ekspozycji na PEM. Jedynym parametrem, który podlegał tym samym zmianom podczas ekspozycji na PEM w obu pracach, było zmniejszenie amplitudy fal theta EEG (4–6 Hz).

Podobne wyniki uzyskali Bąk i wsp. (40), wykazując spadek woltażu fali P300 podczas ekspozycji na PEM. Uzyskane wyniki sugerują, że obserwowane różnice nie są wynikiem zmienności statystycznej danych, lecz prawdopodobnie dużej zmienności statystycznej w zapisie EEG u każdego z probantów tworzących grupę badaną (41).

Krause i wsp. (42) powrócili do tego zagadnienia, przeprowadzając doświadczenie przy udziale 15 dzieci w wieku 10–14 lat, poddanych ekspozycji na PEM systemu GSM. Probandci wykonywali zadania polegające na przetwarzaniu informacji, wymagające skupienia uwagi i angażujące pamięć. Autorzy analizowali desynchronizację (ERD — event-related desynchronisation) i synchronizację (ERS — event-related synchronisation) zapisu EEG w paśmie 4–8 Hz związane z wydarzeniami poznawczymi. Okazało się, że ekspozycja na PEM statystycznie istotnie zmieniała stosunek odpowiedzi ERD/ERS w paśmie 4–8 Hz. Podobnie jednak jak w poprzednich pracach zauważono, że zmiany są trudne do interpretacji.

Wyniki opublikowanych dotąd prac dotyczących wpływu PEM na zapis fali P300 nie są jednak jednoznaczne. Badania przeprowadzone przez Hamblin i wsp. (43) bazowały na określeniu wpływu PEM na OUN za pomocą analizy parametrów potencjałów związanych z wydarzeniami poznawczymi oraz czasu reakcji przed ekspozycją i w jej trakcie. Autorzy stwierdzili, że ekspozycja na PEM powodowała u 12 zdrowych ochotników spadek amplitudy i latencji załamka N100 oraz wzrost latencji fali P300. Do podobnych wniosków doszli Maby i wsp. (44), którzy wykazali, że ekspozycja na PEM powoduje zmniejszenie amplitudy oraz skrócenie latencji załamka N100.

Obie grupy badaczy powróciły do tego zagadnienia celem weryfikacji uzyskanych wcześniej rezultatów. Hamblin i wsp. (45) przeprowadzili ponowne badania wpływu PEM na potencjały związane z wydarzeniami poznawczymi oraz czasem reakcji na dużej grupie ochotników (120) osób, w przedziale wiekowym średnio 31 ± 13 lat. Autorzy wykazali brak wpływu PEM zarówno na słuchowe, jak i wzrokowe potencjały związane z wydarzeniami poznawczymi, choć zauważyli nieistotną statystycznie tendencję do wzrostu czasu

reakcji podczas ekspozycji. Ewidentne różnice między wynikami w swoich pracach uzasadnili zbyt małą populacją grupy w poprzednich badaniach oraz brakiem podwójnie ślepej próby. W konkluzji stwierdzili, że potencjały związane z wydarzeniami poznawczymi nie mogą być związane z efektami wywołanymi przez PEM na OUN, mogą jedynie służyć do wyjaśnienia tego związku.

Maby i wsp. (46) również powrócili do swojej wcześniejszej pracy i poddali jej wyniki weryfikacji w ponownym eksperymencie, w którym eksponowali 9 zdrowych ochotników i 6 pacjentów cierpiących na padaczkę. Zakwalifikowanie osób chorych wynikało z założenia, że chorzy na padaczkę są bardziej podatni na działanie PEM. Źródłem ekspozycji był telefon systemu GSM umieszczony po stronie prawej z możliwością regulacji emisji sygnału (w doświadczeniu ograniczono go do 0,25 W). Probandci mieli rozróżniać dźwięki (500 i 1000 Hz) podawane losowo (250 razy każdy). Analizę zapisu słuchowych potencjałów wywołanych przeprowadzono w następujących pasmach częstotliwości: 50; 83,3; 133,4; 150 i 216,7 Hz. Już na wstępie okazało się, że u osób chorych na padaczkę występuje wydłużenie latencji załamka N100 i w związku z tym wyniki uzyskane od tych dwóch grup probantów są całkowicie nieporównywalne.

Doświadczenie zaplanowano więc w nieco odmienny sposób. W grupie osób zdrowych składało się ono z 4 sesji: I sesja bez ekspozycji na PEM, II sesja z ekspozycją na PEM o najniższej wartości, III sesja podczas ekspozycji na PEM o maksymalnej mocy, IV sesja podobna do drugiej. Sesje były przeprowadzane w odstępach kilkudniowych. Z kolei w grupie osób chorych na padaczkę przeprowadzono tylko dwie sesje: jedną z ekspozycją i drugą bez ekspozycji.

Uzyskano znaczące statystycznie różnice wyników badań, chociaż autorzy wskazują, że niekoniecznie wynikają one z ekspozycji na PEM. Maby i wsp. (47) powrócili do tego zagadnienia, przeprowadzając ponownie eksperyment z udziałem takiej samej grupy badanej i oceniając amplitudę oraz latencję załamek N1 i P2 poddanych ekspozycji na PEM systemu GSM. Stwierdzili, że ekspozycja na PEM powodowała wzrost amplitudy załamka P2 u probantów zdefiniowanych jako zdrowi, podczas gdy u pacjentów chorujących na padaczkę występował wzrost latencji załamka N1 po stronie przeciwnej do ekspozycji.

Charalabos i wsp. (48) przeprowadzili ekspozycję na PEM systemu GSM po prawej stronie głowy u 19 ochotników, którzy podczas doświadczenia do-

konywali rozróżnienia i wykonywali liczenie w pamięci bodźców akustycznych (500 i 3000 Hz). Badania wykonane zostały dwukrotnie (z ekspozycją na PEM i bez niej) w odstępach dwutygodniowych. Do analizy użyto komponentu P50 wchodzącego w skład potencjałów związanych z wydarzeniami poznawczymi. Wykazano, że ekspozycja na PEM powoduje wzrost amplitudy komponentu P50 wywołanego przez bodziec o niskiej częstotliwości (500 Hz), natomiast obniża amplitudę tego samego komponentu powstającego w wyniku stymulacji bodźcem o wysokiej częstotliwości (3000 Hz).

Nieco odmienne doświadczenie, mające na celu weryfikację wpływu PEM na ściśle określone regiony mózgu, przeprowadzili Eliyahu i wsp. (49). Poddali oni 36 ochotników ekspozycji na PEM, kolejno: po stronie prawej głowy, po stronie lewej oraz bez ekspozycji. Ochotnicy w każdym z tych warunków wykonywali cztery testy, które pozwalały na zbadanie regionów aktualnie poddawanych ekspozycji. Eksperyment składał się z dwóch godzinnych sesji z 5-minutową przerwą. Analizowano czas reakcji oraz dokładność udzielanych odpowiedzi. Autorzy wykazali, że w przypadku ekspozycji na PEM po lewej stronie głowy znacznie wydłużał się czas odpowiedzi sygnalizowany lewą ręką.

Z kolei Tsiafakis i wsp. (50) wykazali istotnie statystyczne różnice podczas ekspozycji na PEM w zakresie fali P300 uzyskane w podgrupach kobiet i mężczyzn. Osiągnęli to poprzez ekspozycję 19 ochotników (10 kobiet i 9 mężczyzn) na PEM systemu GSM podczas wykonywania słuchowego testu Wechslera dwukrotnie (z ekspozycją i bez niej), z 2-tygodniowym okresem przerwy. Test ten polega na podawaniu ochotnikowi dwóch rodzajów dźwięków o tym samym natężeniu, ale różniących się częstotliwością (w tym przypadku zastosowano dźwięki o częstotliwości 500 i 3000 Hz).

Omówione powyżej doświadczenia były przeprowadzone za pomocą różnego rodzaju ekspozycji, generowanej przez różne typy urządzeń, i różnych procedur badawczych. Kuster i wsp. (51) podjęli próbę ujednoczenia i określenia warunków, jakie musi spełniać eksperyment badający wpływ PEM na organizm ludzki. Niestety, ich rozważania, chociaż słuszne, są czysto teoretyczne. Większość z wyżej opisanych prac badawczych nie spełniła wszystkich zamieszczonych w tej pracy postulatów.

Kolejnym zarzutem w stosunku do prac stwierdzających istnienie wpływu PEM na czynność OUN jest zbyt mała liczba probantów uczestniczących w do-

świadczeniu. Mając te spostrzeżenia na uwadze, jak i wyniki wcześniejszych badań, Koivisto i wsp. (52) wykazali wpływ PEM systemu telefonii komórkowej GSM na czas reakcji (w grupie eksponowanej na PEM znacznie się skrócił). Z kolei Russo i wsp. (53) przeprowadzili eksperyment przy udziale 168 ochotników eksponowanych w systemie podwójnej ślepej próby na PEM systemu GSM oraz fali ciągłej. Do zbadania wpływu PEM na OUN zastosowano testy badające wyższe funkcje poznawcze. Wykazano brak wpływu na nie obu rodzajów PEM. Do tego zagadnienia powrócili Cinel i wsp. (54), przeprowadzając ponowną weryfikację wpływu PEM systemu GSM na wyższe funkcje poznawcze u 160 ochotników. Rezultaty badań były podobne — brak wpływu PEM.

W kolejnych eksperymentach rozwijano pomysł modyfikowania odpowiedzi mózgu przez PEM podczas zadań pozwalających na oznaczenie potencjałów wywołanych ERPs. Preece i wsp. (55) przeprowadzili doświadczenie, eksponując 36 ochotników w dość szerokim przedziale wiekowym (20–60 lat) na PEM systemu GSM oraz systemu analogowego (915 MHz) — źródło PEM znajdowało się po stronie lewej głowy. Do grupy zakwalifikowano zarówno osoby prawo-, jak i leworęczne. Ekspozycja trwała około 25–30 minut i była przeprowadzona podczas wykonywania przez probantów testów związanych z wydarzeniami poznawczymi (ERPs). Jedyną istotnie statystycznie znaczącą różnicą było skrócenie czasu reakcji, ale tylko w stosunku do ekspozycji na sygnał analogowy.

Ciekawą pracę przedstawił Jech i wsp. (56). Grupą badaną były w niej osoby cierpiące na zaburzenia pod postacią napadowego snu i katalepsję. Ekspozycja na PEM systemu GSM dotyczyła prawej strony czaszki, trwała około 45 minut i była przeprowadzona z zastosowaniem podwójnie ślepej próby. Pacjenci (17 osób) uczestniczyli w dwóch eksperymentach: analizie EEG bez i z PEM oraz w doświadczeniu mającym za cel wyodrębnienie potencjałów związanych z wydarzeniami poznawczymi (ERPs) podczas ekspozycji na PEM. Autorzy dokonali tego poprzez system bodźców wzrokowych podzielonych na dwie grupy — często i rzadko się pojawiających. Proband miał za zadanie zasygnalizować poprzez naciśnięcie klawisza pojawienie się bodźca rzadko występującego.

Wykazano, że nie występują żadne zmiany w zapisie EEG po ekspozycji na PEM, jednak wystąpiło skrócenie czasu reakcji. Doświadczenie to pokazuje, że PEM może powodować zmniejszenie patologicznej nadmiernej senności i polepszyć wykonywanie mono-

tonnych testów związanych z wydarzeniami poznawczymi wymagających długotrwałej uwagi i czujności. Należy zatem mieć na uwadze potencjalny wpływ PEM telefonii komórkowej na OUN u osób z zaburzeniami centralnymi.

Dalsze badania nad tymi zagadnieniami zostały przeprowadzone u zdrowych osób i potwierdziły uzyskane wcześniej rezultaty. Koivisto i wsp. (57) wykazali, że PEM powoduje poprawę procesów związanych z wyższymi funkcjami poznawczymi mózgu, co przejawiało się szybszym rozwiązywaniem testów intelektualnych opartych na spostrzegawczości.

Do podobnych wniosków doszli Lee i wsp. (58) badający wpływ przewlekłej ekspozycji na PEM u 158 nastolatków, z których wyodrębniono grupę 37 zdefiniowanych jako użytkowników telefonów komórkowych. W grupie tej stwierdzono istotny wzrost szybkości procesów myślowych w stosunku do grupy nienarażonej.

Przeciwnych wyników dostarczyła praca Besseta i wsp. (59), którzy przeprowadzili eksperyment w systemie podwójnie ślepej próby z udziałem 55 ochotników, z których część (28 osób) była eksponowana na PEM przez 2 godziny dziennie, przez 5 dni w tygodniu, przez 4 tygodnie. Grupę kontrolną stanowiło 28 osób. Analizę wpływu PEM na funkcje poznawcze przeprowadzono za pomocą czterech testów — przetwarzania danych wzrokowych, zdolności skupienia uwagi, zdolności zapamiętywania i testu zdolności manualnych. Badanie przeprowadzono po zakończeniu okresu ekspozycji probantów. W żadnym z wymienionych testów nie występowały istotnie statystyczne różnice między grupą eksponowaną na PEM a grupą kontrolną.

Kolejni badacze potwierdzili jednak wpływ PEM telefonii komórkowej na poprawę procesów myślowych. W 2002 roku Edelstyn i wsp. (60) przeprowadzili doświadczenie z udziałem 38 zdrowych ochotników eksponowanych na PEM o częstotliwości 900 MHz, którzy zostali poddani ekspozycji podczas rozwiązywania 6 testów ukierunkowanych na skupienie uwagi, co było kontrolowane badaniem szybkości reakcji. Badacze wykazali znaczące statystycznie różnice po 5 minutach ekspozycji w dwóch rodzajach testów — teście stopnia skupienia uwagi i teście prędkości podczas serijnego odejmowania.

Koivisto i wsp. (61) podeszli to tego zagadnienia w odmienny sposób, badając, czy ekspozycja na PEM powoduje wystąpienie jakichś subiektywnych doznań, które na zasadzie niespecyficznego stresu mogłyby wpływać na procesy myślowe. Wykazali oni, że

ekspozycja na PEM przez 30–60 minut nie wywołuje jakichkolwiek objawów bądź subiektywnych odczuć u ochotników. Obserwowane zmiany w procesach myślowych podczas eksperymentów nie wynikają więc z subiektywnych doznań probantów, lecz są wynikiem bezpośredniego wpływu PEM na czynność bioelektryczną mózgu.

Do podobnych rezultatów doszli Hietanen i wsp. (62) badający zależność występowania objawów nadwrażliwości na PEM związanych z użytkowaniem telefonów, oraz Yuasa i wsp. (63) badający wpływ 30-minutowej ekspozycji na PEM systemu GSM na somatosensoryczne potencjały związane z wydarzeniami poznawczymi. Kontynuację tej pracy jest doświadczenie przeprowadzone przez Wilen i wsp. (64), którzy badali wpływ PEM telefonów komórkowych systemu GSM zarówno na funkcje poznawcze, jak i reakcje fizjologiczne. Wilen i wsp. wykazali, że ekspozycja na PEM nie wpływa na funkcje fizjologiczne organizmu, lecz jedynie na czas reakcji.

Do tych zagadnień powrócił współpracownik Koivisto (i współautor jego prac) – Haarala, który ze współpracownikami powtórnie przeprowadził badania w dwóch niezależnych laboratoriach (w Szwecji i Finlandii), bazując na tych samych 6 testach (i dodatkowo 3 nowych) (65,66). Badacze wykazali, że żaden z zastosowanych testów nie potwierdził wpływu PEM na funkcje poznawcze. Jako powód tak ewidentnych różnic w wynikach Haarala zasugerował wpływ PEM na aparaturę pomiarową i brak stabilności parametrów emisji PEM telefonów komórkowych. Nie był jednak w stanie podać mechanizmów ewentualnego oddziaływania, a wiadomo, że aparatura pomiarowa służąca do rejestracji fal mózgowych ma mechanizmy zabezpieczające ją przed uśrednianiem artefaktów powstałych w wyniku oddziaływania PEM w trakcie badania. Z kolei telefony komórkowe jako urządzenia nadawcze muszą spełniać ściśle określone kryteria, w tym kryterium stabilności pracy pod względem generowanej częstotliwości.

Wyniki tych prac pozostają w sprzeczności z badaniem Lee i wsp. (67), którzy badali wpływ PEM telefonii komórkowej u 78 ochotników na wykonywanie testów wymagających skupienia uwagi. W konkluzji autorzy stwierdzają, że nie tylko ekspozycja, ale również czas jej trwania modyfikują wyższe funkcje OUN, wzmacniając zdolność skupienia uwagi. Z kolei Smythe i wsp. (68) badali wpływ PEM na pamięć u 62 ochotników, wykazując, że ekspozycja wzmacnia wyższe funkcje poznawcze, ale tylko w grupie mężczyzn. Na tej podstawie

autorzy zasugerowali istnienie zmienności osobniczej (ze względu na płeć) warunkującej uzyskiwane wyniki podczas ekspozycji na PEM.

Również badania przeprowadzone w ciągu ostatnich lat nie przyniosły rozstrzygnięcia tego problemu. Nie wykazano w nich wpływu PEM telefonu komórkowego na żaden z parametrów zapisu ERPs. Należy jednak zauważyć, że autorzy publikacji podkreślają zbyt małą czułość zastosowanych testów w stosunku do subtelnych zmian powstających w wyniku ekspozycji na PEM telefonów komórkowych (69,70).

Wyjaśnienie wpływu ekspozycji na PEM telefonii komórkowej na OUN za pomocą fali P300 jest bardzo trudne, co podkreślają wszyscy badacze. Przyjmując jako prawdziwe stwierdzenie Pictona (71) — mówiące, że wielkość amplitudy fali P300 zmienia się w zależności od prawdopodobieństwa występowania bodźca (oczekiwanego przez mózg), a jej latencja jest funkcją trudności w rozróżniania bodźców — należałoby stwierdzić, że ekspozycja na PEM modyfikuje odpowiedź mózgu w sensie oczekiwanych bodźców, nie zwiększając trudności w ich rozróżnieniu.

PODSUMOWANIE

Przegląd literatury pozwala stwierdzić, że krótka ekspozycja na PEM telefonii komórkowej, na jaką jest narażony użytkownik podczas typowej rozmowy telefonicznej, pozostaje bez wpływu na czynność ślimaka. Nie stwierdza się również wpływu PEM wykorzystywanych w telefonii komórkowej GSM na przewodzenie impulsów nerwowych od komórek słuchowych wewnętrznych do ośrodków słuchowych pnia mózgu. Wydaje się, że ekspozycja na PEM modyfikuje odpowiedź mózgu w sensie oczekiwanych bodźców, nie zwiększając trudności w ich rozróżnieniu. Przeprowadzanie eksperymentów z zastosowaniem metod pośrednich nie pozwala na jednoznaczną weryfikację oddziaływania PEM na wyższe funkcje poznawcze ze względu na złożoność anatomiczną i czynnościową OUN. Analiza wyników badań wpływu PEM na tkanki pobudliwe nie dała jednoznacznej odpowiedzi, dlatego wskazane jest przeprowadzenie badań na poziomie komórkowym.

PIŚMIENNICTWO

1. Dimbrylow P., Mann S.: SAR calculations in an anatomically realistic model of the head for mobile communication transceivers at 900 MHz and 1,8 GHz. *Phys. Med. Biol.* 1994;39:1537–1553
2. World Health Organization. *Electromagnetic Fields (300 Hz to 300 GHz). Environmental Health Criteria 137.* WHO, Genewa 1993
3. Gołąb B.: *Anatomia czynnościowa ośrodkowego układu nerwowego.* Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 1990, ss. 7–15
4. Aran J., Carrere N., Chalan Y., Dulou P., Larrieu S., Lettenneur L. i wsp.: Effects of exposure of the ear to GSM microwaves: *in vitro* and *in vivo* experimental studies. *Int. J. Audiol.* 2004;43:545–554
5. Parazzini M., Marino C., Galloni P., Pisticelli M., Tognola G., Grandori F., Ravazzani P.: Study of the influence of GSM mobile phones on the inner auditory system of rats. 2nd International Workshop on Biological Effects of Electromagnetic Fields, 7–11 października 2002, Rhodes, Grecja, ss. 427–432
6. Ozturan O., Erdem T., Miman M., Kolcioglu M., Oncel S.: Effects of the electromagnetic field of mobile telephones on hearing. *Acta Otolaryngol.* 2002;122:289–293
7. Mora R., Crippa B., Mora F., Dellepiane M.: A study of the effects of cellular telephone microwave radiation on the auditory system in healthy men. *Ear Nose Throat J.* 2006;85:160–163
8. Anderson V., Joyner K.: Specific absorption rate levels measured in phantom head exposed to radio frequency transmissions from analog hand-held mobile phones. *Bioelectromagnetics* 1995;16:60–69
9. Uloziene I., Uloza V., Gradauskiene E., Saferis V.: Assessment of potential effects of the electromagnetic fields of mobile phones on hearing. *BMC Public Health* 2005;5:39–48
10. Thimonier C., Chabert R., Ayoub M., de Seze R.: No effects in humans of mobile microwaves emitted by GSM mobile telephones on the auditory brainstem responses and auditory distortion products. Second World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine. 8–13 czerwca 1997, Bolonia, Włochy. Bolonia 1997, ss. 273–274
11. Kerekhanjanarong V., Supiyaphun P., Naratricoorn J., Laungpitacchumpon P.: The effect of mobile phone to audiologic system. *J. Med. Assoc. Thai.* 2005;88:231–234
12. Bąk M.: Ocena wpływu pola elektromagnetycznego telefonii komórkowej systemu GSM na drogę słuchową. Praca doktorska. Instytut Medycyny Pracy, Łódź 2008
13. Bise W.: Low power radio-frequency and microwave effects on human electroencephalogram and behavior. *Physiol. Chem. Phys.* 1978;10:387–398
14. Ayoub J., de Seze R., Sebban C., Miro L.: Effects of mobile phones on EEG in humans. 4th EBEC Congress. 19–21 listopada 1998, Zagrzeb, Chorwacja. 1998, s. 19–21

15. Borbely A., Huber R., Graf T., Fuchs B., Gallman E., Achermann P.: Pulse high-cy electromagnetic fields affects human sleep electroencephalogram. *Neurosci. Lett.* 1999;275:207–210
16. Huber R., Graf T., Cote K., Wittman L., Gallmann E., Matter D. i wsp.: Exposure to pulsed high-frequency electromagnetic field during waking affects human sleep EEG. *Neuroreport* 2000;11:3321–3325
17. Huber R., Schuderer J., Graf T., Jutz K., Borbely A., Kuster N. i wsp.: Radio frequency electromagnetic field exposure in humans: estimation of SAR in the brain, effects on sleep and heart rate. *Bioelectromagnetics* 2003;24:262–276
18. Steriade M., Numez A., Amzica F.: Intracellular analysis of relations between the slow neocortical oscillation and the other sleep rhythms of the electroencephalogram. *J. Neurosci.* 1993;13:3266–3283
19. Roth C., Achermann P.: Frequency and state specific hemispheric asymmetries in the human sleep EEG. *Neurosci. Lett.* 1999;271:139–142
20. Von Klitzing I.: Low Frequency pulsed electromagnetic fields influence EEG of man. *Phys. Med.* 1995;11:77–80
21. Reiser H., Dimpfel W., Schober F.: The influence of electromagnetic fields on human brain activity. *Eur. J. Med. Res.* 1995;1:27–32
22. Mann K., Roschke J.: Effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on human sleep. *Neuropsychobiology* 1996;33:41–47
23. Reite M., Higgs L., Lebet J., Barbault A.: Sleep inducing effect of low energy emission therapy. *Bioelectromagnetics* 1994;15:67–75
24. Roschke J., Mann K.: No short-term effects of digital mobile radio telephone on the awake human electroencephalogram. *Bioelectromagnetics* 1997;18:172–176
25. Hietanen M., Kovala T., Hamalainen A.: Human brain activity during exposure to radiofrequency fields emitted by cellular phones. *Scand. J. Work Environ. Health* 2000;26:87–92
26. Mora R., Crippa B., Mora F., Dellepiane M.: A study of the effects of cellular telephone microwave radiation on the auditory system in healthy men. *Ear Nose Throat J.* 2006;85:160–163
27. Bąk M., Sliwiska-Kowalska M., Zmyslony M., Dudarewicz A.: No effects of acute exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on brainstem auditory potentials in young volunteers. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health* 2003;16:201–208
28. Urban P., Lukas E., Roth Z.: Does acute exposure to the electromagnetic field emitted by a mobil phone influence visual evoked potentials 1998. *Cent. Eur. J. Health* 1998;4:288–290
29. Hladky A., Musil J., Urban P., Blazkova V.: Acute effects of using a mobile phone of CNS functions. *Cent. Eur. J. Public Health* 1999;7:165–167
30. Kwon M., Jaaskelainen S., Toivo T., Hamalainen H.: No effects of mobile phone electromagnetic field on auditory brainstem response. *Bioelectromagnetics* 2010;31:48–55
31. Muller S., Hotz M.: Human brainstem auditory evoked potentials (BAEP) before and after examinations. *Magn. Reson. Med.* 1990;16:476–480
32. Kellenyi L., Thuroczy G., Faludy B., Lenard L.: Effects of mobile GSM radiotelephone exposure on the auditory brainstem response (ABR). *Neurobiology* 1999;7:79–81
33. Stefanics G., Kellenyi L., Molnar F., Kubinyi G., Thuroczy G., Hernandi I.: Short GSM mobile phone exposure does not alter human auditory brainstem response. *BMC Public Health* 2007;12:325–342
34. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Phys.* 1988;74(4):494–522
35. Eulitz C., Ullsperger P., Freude G., Elbert T.: Mobile phones modulate response patterns of human brain activity. *Neuroreport* 1998;9:3229–3232
36. Freude G., Ullsperger P., Eggert S., Ruppe I.: Effects of microwaves emitted by cellular phones on human slow brain potentials. *Bioelectromagnetics* 1998;19:384–387
37. 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
38. Krause C., Sillanmaki L., Koivisto M., Haggqvist A., Saarela C., Revonsuo A. i wsp.: Effects of electromagnetic field emitted by cellular phones on the EEG during a memory task. *Cognit. Neurosci.* 2000;11:761–764
39. Krause C., Sillanmaki L., Koivisto M., Haggqvist A., Saarela C., Revonsuo A. i wsp.: Effects of electromagnetic fields emitted by cellular phones on the electroencephalogram during visual working memory task. *Int. J. Radiat. Biol.* 2000;76:1659–1667
40. Bąk M., Dudarewicz A., Zmyslony M., Śliwińska-Kowalska M.: Effects of GSM signals during exposure to event related potentials (ERPs). *Int. J. Occup. Med. Environ. Health* 2010;23(2):191–199
41. Krause C., Haarala C., Sillanmaki L., Koivisto M., Alanco K., Revonsuo A. i wsp.: Effects of electromagnetic field emitted by cellular phones on the EEG during an auditory memory task: A double blind replication study. *Bioelectromagnetics* 2004;25:33–40
42. Krause C., Bjornberg C., Pesonen M., Hulten A., Liesivuori T., Koivisto M. i wsp.: Mobile phone effects on chil-

- dren's event-related oscillatory EEG during an auditory memory task. *Int. J. Radiat. Biol.* 2006;82:443–450
43. Hamblin D., Wood A., Croft R., Stough C.: Examining the effects of electromagnetic fields emitted by GSM mobile phones on human even-related potentials and performance during an auditory task. *Clin. Neurophysiol.* 2004;115:171–178
44. Maby E., Le Bouquin Jeanes R., Liegeois-Chauvel C., Gourevitch B., Faucon G.: Analysis of auditory evoked potential parameters in the presence of radiofrequency fields using a support vector machines method. *Med. Biol. Eng. Comput.* 2004;42:562–568
45. Hamblin D., Croft R., Wood A., Stough C., Spong J.: The sensivity of human even-related potentials and reaction time to mobile phone emitted electromagnetic fields. *Bioelectromagnetic* 2006;27:265–273
46. Maby E., Jeanes R., Faucon G., Liegeois-Chauvel C., de Seze R.: Effects of GSM signals on auditory evoked responses. *Bioelectromagnetics* 2005;26:341–350
47. Maby E., Jeanes R., Faucon G.: Scalp localization of human auditory cortical activity modified by GSM electromagnetic fields. *Int. J. Biol.* 2006;82:465–472
48. Charalabos C., Papagorgiou C., Nanou E., Tsiafakis V., Kapareliotis E., Kontoangelos K. i wsp.: Acute mobile phone effects on pre-attentive operation. *Neurosci. Lett.* 2006;397:99–103
49. Eliyahu I., Luria R., Hareuveny R., Margaliot M., Meiran N., Shani G.: Effects of radiofrequency radiation emitted by cellular telephones on the cognitive functions in humans. *Bioelectromagnetics* 2006;27:119–126
50. Tsiafakis V., Kapareliotis E., Nanou E., Fakis A., Papageorgiou C., Rabavilas A. i wsp.: A Loreta comparison of the P300 component of male and female subjects with and without exposure to a 900 MHz simulated mobile phone signal. 3rd International Workshop — Biological Effects of EMFs. 4–8 października 2004, Kos, Grecja. *Kos* 2004, ss. 737–746
51. Kuster N., Schuderer J., Christ A., Futter P., Ebert S.: Guidance for exposure design of human studies addressing health risk evaluations of mobile phones. *Bioelectromagnetics* 2004;25:524–529
52. Koivisto M., Krause C., Revonsuo A., Laine M., Hamalainen H.: The effects of electromagnetic filed emitted by GSM phones on working memory. *Cognit. Neurosci.* 2000;11:1641–1643
53. Russo R., Fox E., Cinel C., Boldini A., Defeyter M., Mirshekar-Syahkal D. i wsp.: Does acute exposure to mobile phones affect human attention. *Bioelectromagnetics* 2006;27:215–220
54. Cinel C., Boldini A., Fox E., Russo R.: Does the use mobile phones affect human short-term memory or attention? *Appl. Cognit. Psychol.* 2008;22:1113–1125
55. Preece A., Davies-Smith A., Wesnes K., Butler S., Lim E., Varey A.: Effects of 915 MHz simulated mobile phone signal on cognitive function in man. *Int. J. Radiat. Biol* 1999;75:447–456
56. Jech R., Sonka K., Ruzlicka E., Nebuzelsky A., Bohm J., Juklickova M. i wsp.: Electromagnetic field of mobile phones affects visual even related potential in patients with narcolepsy. *Bioelectromagnetics* 2001;22:519–528
57. Koivisto M., Revonsuo A., Krause C., Haarala C., Sillanmaki L., Laine M. i wsp.: Effects of 902 MHz electromagnetic field emitted by cellular telephones on response times in humans. *Neuroreport* 2000;11(2):413–415
58. Lee T., Ho S., Tsang L., Yang S., Li L., Chan C.: Effects on human attention of exposure to electromagnetic field emitted by mobile phones. *Neuroreport* 2001;12(4):729–731
59. Besset A., Espa F., Dauvilliers Y., Billiard M., de Seze R.: No effect on cognitive function from daily mobile phone use. *Bioelectromagnetics* 2005;26:102–108
60. Edelstyn N., Oldershaw A.: The acute effects of exposure to the electromagnetic fields emitted by mobile phones on human attention. *Neuroreport* 2002;13:119–121
61. Koivisto M., Haarala C., Krause C., Revonsuo A., Laine M., Hamalainen H.: GSM phone signal does not produce subjective symptoms. *Bioelectromagnetics* 2001;22:212–215
62. Hietanen M., Hamalainen A., Husman T.: Hypersensitivity symptoms associated with exposure to cellular telephones: no causal link. *Bioelectromagnetics* 2002;23:264–270
63. Yuasa K., Arai N., Okabe S., Tarusawa Y., Nojima T., Hanajima R. i wsp.: Effects of thirty minutes mobile phone use on the human sensory cortex. *Clin. Neurophysiol.* 2006;117:900–905
64. Wilen J., Johansson A., Kalezic N., Lyskov E., Sandstrom M.: Physiological tests and provocation of subjects with mobile phone related symptoms. *Bioelectromagnetics* 2006;27:204–214
65. Haarala C., Bjornberg L., Ek M., Laine M., Revonsuo A., Koivisto M. i wsp.: Effect of a 902 MHz electromagnetic field emitted by mobile phones on human cognitive function: a replication study. *Bioelectromagnetics* 2003;24:283–288
66. Haarala C., Ek M., Bjornberg L., Laine M., Revonsuo A., Koivisto M. i wsp.: Effect of a 902 MHz electromagnetic field emitted by mobile phones on human cognitive function: a replication study. *Bioelectromagnetics* 2004;25:452–456

67. Lee C., Lam P., Yee L., Chan C.: The effect of the duration of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on human attention. *Cognit. Neurosci. Neuropsychol.* 2003;14:1361–1364
68. Smythe J., Costall B.: Mobile phone use facilitates memory male, but not female, subjects. *Cognit. Neurosci. Neuropsychol.* 2003;14:243–246
69. Kwon M.S., Kujala T., Huotilainen M., Shestakova A., Näätänen R., Hämäläinen H.: Preattentive auditory information processing under exposure to the 902 MHz GSM mobile phone electromagnetic field: A mismatch negativity (MMN) study. *Bioelectromagnetics* 2009;30(3):241–248
70. Kwon M.S., Huotilainen M., Shestakova A., Kujala T., Näätänen R., Hämäläinen H.: No effects of mobile phone use on cortical auditory change-detection in children: An ERP study. *Bioelectromagnetics* 2010;31:191–199
71. Picton W.: The P300 wave of the human event-related potential. *J. Clin. Neurophysiol.* 1992;9(4):456–479