

*dr hab. n. med. ALICJA  
BORTKIEWICZ  
Instytut Medycyny Pracy  
im. prof. dr. med. Jerzego Nofera  
Zakład Fizjologii Pracy i Ergonomii  
91-348 Łódź  
ul. św. Teresy od Dzieciątka Jezus 8*

# Skutki zdrowotne działania pól elektromagnetycznych - przegląd badań

**Słowa kluczowe:** ekspozycja zawodowa na pola elektromagnetyczne, telefony komórkowe, choroba nowotworowa, nowotwory wewnątrzczaszkowe, badania epidemiologiczne.

**Key words:** occupational exposure to EMF, mobile phones, malignant disease, intracranial tumors, epidemiologic studies.

W badaniach dotyczących zawodowej ekspozycji na pola elektromagnetyczne radiofalowe i mikrofalowe opisano występowanie raka gruczołu piersiowego (u kobiet i mężczyzn), nowotworów mózgu oraz białaczek. Natomiast u użytkowników telefonów komórkowych stwierdzono istotny wzrost ryzyka nerwiaka nerwu słuchowego (3 ÷ 4-krotny) i 1,2 ÷ 5-pięciokrotny wzrost ryzyka glejaka w umiejscowieniu ispsilateralnym. Największe ryzyko wykazano u osób korzystających z telefonów mniej niż 10 lat.

## WPROWADZENIE

W związku z ciągłym rozwojem techniki obserwuje się szybki wzrost zastosowania urządzeń emitujących pola elektromagnetyczne o różnych częstotliwościach. Pola elektromagnetyczne w zakresie radio- i mikrofalowym (100 kHz ÷ 300 GHz) emitują m.in. nadajniki radiowe i telewizyjne oraz takie urządzenia powszechnego użytku, jak kuchenki mikrofalowe i telefony komórkowe. Pola elektromagnetyczne o częstotliwości 50 Hz występują wokół wszystkich urządzeń zasilanych prądem elektrycznym stosowanych w gospodarstwach domowych i w pracy zawodowej. Nowoczesne metody w medycynie, zarówno w diagnostyce, jak i terapii wykorzystują pola elektromagnetyczne w bardzo szerokim zakresie częstotliwości (od pól stałych do mikrofal).

Nieuchronną konsekwencją powszechnego wykorzystania pól elektromagnetycznych w technice, medycynie i życiu codziennym jest wzrost liczby osób ekspozowanych na ich działanie i coraz większe zainteresowanie problemem wpływu pól elektromagnetycznych na organizm człowieka oraz wynikającymi z tego ewentualnymi szkodliwymi skutkami zdrowotnymi.

## MECHANIZM DZIAŁANIA BIOLOGICZNEGO PÓL ELEKTROMAGNETYCZNYCH

Działanie biologiczne pól elektromagnetycznych zależy przede wszystkim od ich częstotliwości i wielkości. Przyjmuje się, że częstotliwość 100 kHz rozdziela różne mechanizmy działania biologicznego pól elektromagnetycznych. Poniżej 100 kHz głównym znanym mechanizmem jest stymulowanie tkanek pobudliwych (tkanki nerwowej i mięśniowej) przez wzbudzenie w nich prądów. Mechanizm działania słabych pól elektromagnetycznych o częstotliwości  $< 100$  kHz jest ciągle przedmiotem badań. Pola elektromagnetyczne z tego zakresu mogą powodować zmianę kształtu cząsteczek białek, wzrost stężenia wolnych rodników lub zmiany biochemiczne (np. aktywność enzymów czy przepuszczalność błony cytoplazmatycznej). Wraz ze wzrostem częstotliwości wzrasta pochłanianie energii przez tkanki, co powoduje ich ogrzewanie, podstawowym mechanizmem jest więc skutek termiczny. W zakresie wielkich częstotliwości (w.cz.) próg stymulacji błon pobudliwych wymaga pól o wartościach wyższych od tych, które są wymagane do osiągnięcia poziomu energii pochłoniętej powodującego skutek termiczny, czyli ogrzewanie tkanki. Przy dużych wartościach pól elektromagnetycznych o częstotliwości  $> 100$  kHz dominuje skutek termiczny. Jest on wynikiem zamiany energii pól elektromagnetycznych, która wniknęła w głąb ciała, w ciepło powodujące wzrost temperatury tkanek. Skutek ten jest dobrze udokumentowany i znane są jego konsekwencje biologiczne i zdrowotne. Stanowi podstawę do ustalenia limitów dopuszczalnych ekspozycji dla pól elektromagnetycznych wielkich częstotliwości. Przyjęta przez International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) koncepcja ochrony przed promieniowaniem w.cz. sprowadza się praktycznie wyłącznie do ograniczenia tego skutku i z tego względu jest często krytykowana, gdyż brak skutku termicznego nie jest jednoznaczny z brakiem skutków biologicznych.

Szczególnie dużo danych eksperymentalnych wskazujących na możliwość występowania skutku nietermicznego dotyczy ekspozycji na pola elektromagnetyczne w.cz. modulowanych amplitudowo z częstotliwościami z zakresu ELF ( $0 \div 300$  Hz, (Hylland 2000)). W większości postulowanych modeli mechanizmów oddziaływania takich pól elektromagnetycznych zakłada się rezonansowe pochłanianie energii elektromagnetycznej, które powodują zmiany biochemiczne w składnikach powierzchni błon komórkowych. Wynikiem tych zmian jest prawdopodobnie przechodzenie sygnałów przez błonę komórkową, co prowadzi do zmian wewnątrzkomórkowych (Juutilainen, de Seze 1998). Mechanizm działania słabych pól elektromagnetycznych o częstotliwości  $> 100$  kHz nie wynika ze wzrostu temperatury, a więc nie jest związany z mechanizmami termoregulacji, jest nieliniowy i w znacznym stopniu zależy od stanu czynnościowego organizmu, stąd trudność uzyskania powtarzalności wyników badań.

Z punktu widzenia ochrony zdrowia pracowników, najbardziej interesujące są badania skutków zdrowotnych działania pól elektromagnetycznych o wartościach, które nie wywołują skutku termicznego czy stymulacji błon pobudliwych, gdyż właśnie takie pola elektromagnetyczne występują w środowisku pracy. Jednak ocena skutków zdrowotnych działania takich pól elektromagnetycznych jest trudna, gdyż większość zaburzeń stanu zdrowia opisywanych u osób ekspozowanych na pola elektromagnetyczne występuje także w populacji generalnej. Aby móc wnioskować, że określone zmiany stanu zdrowia wynikają z ekspozycji na pola elektromagnetyczne należałoby przeprowadzić dokładną ocenę ekspozycji (zarówno aktualnej, jak i w przeszłości) oraz wyeliminować wpływ innych czynników środowiska pracy oraz środowiska komunalnego, które mogą wywoływać podobne do pól elektromagnetycznych skutki zdrowotne.

## SKUTKI BIOLOGICZNE OCENIANE NA PODSTAWIE WYNIKÓW BADAŃ *IN VITRO* I *IN VIVO*

Badania dotyczące skutków biologicznych pól elektromagnetycznych o różnych częstotliwościach trwają od dziesięcioleci, ale obecnie szczególne zainteresowanie budzą wyniki dotyczące pól elektromagnetycznych o częstotliwościach radio- i mikrofalowych, gdyż jest to zakres częstotliwości telefonów komórkowych. Przydatność wyników wcześniejszych badań dotyczących częstotliwości mikro- i radiofalowej do oceny skutków zdrowotnych związanych z korzystaniem z telefonów komórkowych jest ograniczona ze względu na różny charakter ekspozycji; przy dotychczas badanych urządzeniach emitujących pola elektromagnetyczne o częstotliwości z tego zakresu (anteny TV i radary) dotyczyła ona całego ciała, a w przypadku telefonów komórkowych ekspozycja dotyczy przede wszystkim głowy. Z tego względu szczególnie dużo uwagi poświęca się badaniu wpływu pól elektromagnetycznych na struktury i funkcje mózgu. Są to zarówno badania przeprowadzane w warunkach *in vitro*, badania eksperymentalne na zwierzętach, jak i badania eksperymentalne, którym poddaje się ludzi, badania kliniczne i epidemiologiczne.

Badania w warunkach *in vitro* i *in vivo* na zwierzętach dotyczyły różnych rodzajów komórek i tkanek pochodzących od różnych gatunków zwierząt, a warunki ekspozycji były nieporównywalne pod względem rodzaju i czasu trwania eksperymentu oraz parametrów pól elektromagnetycznych, które nie zawsze obejmowały dokładnie te częstotliwości, jakie są emitowane przez telefony komórkowe, ale mieściły się w zakresie, dla którego domniemany mechanizm działania biologicznego pól elektromagnetycznych jest podobny. Z badań tych wynika, że pola elektromagnetyczne o częstotliwościach radio- i mikrofalowych powodują różnego rodzaju mierzalne skutki biologiczne:

- zaburzenia transportu jonów wapnia ( $Ca^{++}$ ), potasu ( $K^{+}$ ) i sodu ( $Na^{+}$ ), (Liu i in. 1990; Dutta i in. 1989)
- zaburzenia przepuszczalności bariery krew-mózg (Salford i in. 2003)
- zmiany aktywności systemu cholinergicznego (Dutta i in. 1992)
- wzrost stężenia noradrenaliny (Inaba i in. 1992).

Wyników tych badań nie można jednak wykorzystać bezpośrednio do przewidywania skutków zdrowotnych, gdyż nie wszystkie obserwowane w warunkach *in vitro* zmiany wywołują zaburzenia funkcjonalne organizmu. Większość jest likwidowana dzięki mechanizmom naprawczym. A nawet jeśli dochodzi do zaburzeń funkcjonalnych na poziomie tkankowym, często nie wywołują one zmian patologicznych, gdyż mieszczą się w zakresie możliwości adaptacyjnych organizmu.

Jednak teoretycznie, zaburzenia stwierdzone w badaniach *in vivo* i *in vitro* mogą być przyczyną zmian czynnościowych obserwowanych w badaniach u ludzi. Zaburzenia w transporcie jonów przez błony komórkowe mogą być przyczyną zmian w zapisie EEG, zmiany aktywności systemu cholinergicznego mogą powodować zakłócenia funkcji poznawczych, a wzrost przepuszczalności bariery krew-mózg może być jedną z przyczyn bólów głowy (Frey 1998). Kłopoty ze snem zgłaszane przez użytkowników telefonów komórkowych mogą być skutkiem obniżenia poziomu melatoniny, a wzrost stężenia noradrenaliny może wpłynąć na wzrost ciśnienia tętniczego krwi (Braune i in. 1998). Potwierdzenia tych hipotez poszukuje się m.in. w badaniach eksperymentalnych, przeprowadzanych u ludzi.

## BADANIA EKSPERYMENTALNE LUDZI

Badania eksperymentalne pozwalają obserwować bezpośrednie zmiany zachodzące w organizmie pod wpływem pól elektromagnetycznych. Mają one dużą wartość ze względu na możliwość kontrolowania warunków eksperymentu, precyzyjnej oceny wielkości ekspozycji i reakcji fizjologicznych, ale nie pozwalają jednak śledzić ewentualnych, oddalonych skutków ekspozycji. Poza tym czas trwania ekspozycji jest zwykle krótki i z tego względu trudno uzyskane skutki porównywać z długotrwałą ekspozycją zawodową lub środowiskową. Także ograniczona zwykle liczba osób eksponowanych podczas eksperymentu utrudnia wyeliminowanie indywidualnych różnic i czynników zakłócających, a przez to prawidłową interpretację uzyskanych wyników.

W przypadku telefonów komórkowych, które emitują pola elektromagnetyczne w okolicy głowy, a więc mózgu, szczególne zainteresowanie budzi wpływ tych pól na funkcjonowanie centralnego układu nerwowego. Poza tym, podobnie jak dla pól elektromagnetycznych o innych częstotliwościach, istnieje teoretyczna możliwość zakłócenia funkcji mózgu na skutek generowania w nim impulsów elektrycznych przez zewnętrzne pola elektryczne i magnetyczne. Z tego względu większość badań eksperymentalnych dotyczy oceny reakcji układu nerwowego. Wyniki tych badań nie są jednak jednoznaczne. *Roschke* i *Mann* obserwowali skrócenie fazy REM snu podczas 8-godzinnej, nocnej ekspozycji na pola elektromagnetyczne emitowane przez telefon komórkowy ( $0,5 \text{ W/m}^2$  ( $13,7 \text{ V/m}$ )) przy zachowanym okresie latencji snu i ogólnym czasie snu, natomiast *Wagner* i in. nie stwierdzili żadnych skutków przy niższym poziomie ekspozycji ( $0,2 \text{ W/m}^2$  ( $8,7 \text{ V/m}$ )), (*Roschke, Mann* 1997; *Wagner* i in. 1998).

Badania EEG podczas czuwania również nie dały jednoznacznych wyników. Niektóre nie wykazywały żadnych zmian w aktywności mózgu związanych z ekspozycją (*Roschke, Mann* 1997; *Hietanen* i in. 1997). Jednak na podstawie wyników badań *Klitzinga* (1995) wykazano, że natychmiast po zakończeniu 15-minutowej ekspozycji na pola elektromagnetyczne emitowane przez telefon komórkowy następowały zmiany fali alfa w zapisie EEG. Natomiast *Reiser* (1995) stwierdził zwiększenie fali beta-1 i delta po upływie 15 min od zakończenia ekspozycji. Analiza wzrokowych potencjałów wywołanych (VMT) rejestrowanych w warunkach ekspozycji na modulowane pola elektromagnetyczne 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 był podczas eksperymentu umieszczony z lewej strony głowy). Nie stwierdzono natomiast różnic w wynikach wykonania testów w obu sytuacjach (*Freude* i in. 2000). Szczegółową analizę dotychczasowych badań na temat wpływu pól elektromagnetycznych radiofalowych na centralny układ nerwowy przeprowadzili *Hossmann* i *Hermann* (2003).

Badania przewodnictwa nerwu łokciowego i nerwu twarzowego nie wykazały istotnych zaburzeń w czasie i po ekspozycji na pola elektromagnetyczne emitowane przez telefon komórkowy 900 MHz (*Anderson* i in. 1997).

Badania neurohormonów, w odróżnieniu do zmian elektrofizjologicznych mózgu stwierdzanych podczas ekspozycji na pola elektromagnetyczne emitowane przez telefony komórkowe, 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 pola elektromagnetyczne emitowane przez telefony komórkowe 2 h dziennie i w ciągu 5 dni w tygodniu nie wykazały istot-

nych zmian. Zanotowano jedynie spadek stężenia TSH, które utrzymywało się w granicach normy (*de Seze* i in. 1998). Badania rytmu dobowego wydzielania melatoniny u osób eksponowanych na pola elektromagnetyczne emitowane przez telefony komórkowe (900 i 1800 MHz) przez 4 tygodnie, 5 razy w tygodniu przez 2 h dziennie nie wykazały istotnych zaburzeń rytmu dobowego wydzielania melatoniny (*de Seze* i in. 1999). *Mann* i in. (1998) nie stwierdzili zmian poziomu melatoniny w badaniu eksperymentalnym prowadzonym u osób eksponowanych na niskie poziomy ( $0,2 \text{ W/m}^2$  ( $8,7 \text{ V/m}$ )) pól elektromagnetycznych o częstotliwości 900 MHz. Także na podstawie wyników badań *Radona* (2001) przeprowadzonych u 8 mężczyzn eksponowanych na pola elektromagnetyczne emitowane przez telefony komórkowe (900 i 217 Hz) podczas 10 sesji trwających 4 h i 10 sesji kontrolnych nie wykazano istotnych zmian stężenia melatoniny w ślinie. Jednak w badaniach własnych (*Bortkiewicz* i in. 2002) stwierdzono, że po ekspozycji 1-godzinnej na pola elektromagnetyczne emitowane przez telefon komórkowy (900 MHz) stężenie siarczanu 6-hydroksytomelatoniny jest mniejsze w porównaniu z dniem bez ekspozycji. Podobnie *Jarupat* i in. (2003) stwierdzili istotne zmniejszenie stężenia melatoniny w ślinie po ekspozycji na pola elektromagnetyczne 900 i 1900 MHz w porównaniu z warunkami kontrolnymi. *Burch* i in. (2002) przeprowadzili badania w dwóch grupach mężczyzn, pracowników zawodów elektrycznych o różnej ekspozycji na pola elektromagnetyczne 50 Hz i stwierdzili, że u pracowników korzystających z telefonu komórkowego  $> 25 \text{ min/dzień}$  i o wyższym poziomie ekspozycji na pola elektromagnetyczne 50 Hz istotnie obniżony był w moczu poziom 6-hydroksymelatoniny w nocy.

Istotne z punktu widzenia oceny skutków zdrowotnych pól elektromagnetycznych emitowanych przez telefony komórkowe są wyniki badania *Braune* i in. (1998), którzy stwierdzili wzrost ciśnienia tętniczego krwi podczas 35-minutowej ekspozycji na pola elektromagnetyczne o częstotliwości 900 MHz. Autorzy nie podali, jakie były wartości ciśnienia po zakończeniu ekspozycji. Wydaje się, że jest to duży mankament tego badania, gdyż *Thuroczy* i in. (1997) stwierdzili istotny spadek ciśnienia skurczowego krwi po ekspozycji na pola elektromagnetyczne emitowane przez telefon komórkowy (900 MHz) dwukrotnie przez 7,5 min z 10-minutową przerwą. W kolejnym swoim badaniu *Braune* i in. (2002) eksponowali 40 osób (20 mężczyzn i 20 kobiet) na pola elektromagnetyczne o częstotliwości 900 MHz,  $2 \text{ W}$  ( $27,5 \text{ V/m}$ ), modulowane 217 Hz, przez 50 min, w pozycji leżącej (20 min), stojącej (10 min) i ponownie leżącej (20 min) oraz w takich samych warunkach przeprowadzono badania bez ekspozycji. Analizowano ciśnienie tętnicze, częstość skurczów serca oraz poziom adrenaliny, noradrenaliny i kortyzolu. Stwierdzono wzrost ciśnienia tętniczego podczas kolejnych etapów eksperymentu, ale autorzy uważali, że nie był on zależny od ekspozycji na pola elektromagnetyczne.

Z eksperymentalnych badań własnych dotyczących wpływu telefonów komórkowych na funkcjonowanie układu krążenia, regulację neurovegetatywną oraz temperaturę wewnętrzną wynika, że krótkotrwała ekspozycja na pola elektromagnetyczne emitowane przez telefon komórkowy powodowała zmiany ciśnienia tętniczego krwi zależne od rodzaju ekspozycji (ekspozycja przerywana: 4 razy 15 min, z przerwami 15 min lub ekspozycja ciągła, 1-godzinna). Zaobserwowane zmiany występowały nie tylko podczas ekspozycji i zaraz po jej zakończeniu, lecz także w nocy po ekspozycji (*Bortkiewicz* i in. 2000). Wyniki tego badania pozwalają stwierdzić, że jeśli jednorazowa ekspozycja wywiera określone mierzalne skutki, to codzienna, przewlekła ekspozycja może wywierać bardziej nasilone, niekorzystne skutki zdrowotne.

Wyniki omówionych badań eksperymentalnych są niejednoznaczne, często sprzeczne, ich interpretacja jest trudna, gdyż:

- stosowano różne protokoły badań i układy ekspozycyjne (czas trwania ekspozycji, wielkość ekspozycji i rodzaj pól elektromagnetycznych: ciągle, impulsowe i modulowane amplitudowo) badano różne funkcje i stosowano różne metody oceny reakcji organizmu na ekspozycję. Na podstawie wyników badań eksperymentalnych u ludzi wykazano, że bez względu na ograniczenia metodologiczne, niektóre opisywane zaburzenia (np. w zapisie EEG) mogą stanowić wy tłumaczenie podawanych przez użytkowników telefonów komórkowych subiektywnych dolegliwości (np. zaburzeń snu). Bezsporne jednak udowodnienie tych zależności wymaga dalszych badań.

## BADANIA EPIDEMIOLOGICZNE

Uważa się, że najbardziej przekonujących danych na temat skutków zdrowotnych działania pól elektromagnetycznych mogą dostarczyć badania epidemiologiczne. Przeglądu piśmiennictwa dotyczącego tego problemu dokonano na podstawie analizy danych z baz komputerowych: PubMed, BENER Digest Update/EMF Database/, EMF Health Report, Medline, ICNIRP i WHO Statement, Royal Society of Canada Expert Panel Report oraz EU Scientific Committee on Toxicity, Ecotoxicity and the Environment. Do tego przeglądu wybrano prace najnowsze, głównie z lat 2000-2007, dotyczące przede wszystkim związku między ekspozycją na pola elektromagnetyczne emitowane przez telefony komórkowe, ale także ekspozycji zawodowej na pola elektromagnetyczne radio- i mikrofalowe, występowania nowotworów oraz badania subiektywnych dolegliwości u użytkowników telefonów komórkowych.

Badania epidemiologiczne były najczęściej prowadzone wg trzech modeli:

- badania przekrojowe (kohortowe)
- prospektywne (*follow up*)
- badanie przypadków (*case-control*).

### Zawodowa ekspozycja na pola elektromagnetyczne radiofalowe i mikrofalowe a występowanie nowotworów

W badaniach dotyczących zawodowej ekspozycji na pola elektromagnetyczne radio- i mikrofalowe (np.: wojskowi, elektrycy, pracownicy radiokomunikacji, pracownicy medyczni i operatorzy zgrzewarek) opisano przede wszystkim występowanie raka gruczołu piersiowego (u kobiet i mężczyzn) oraz guzów mózgu i białaczek. Ich wyniki nie są jednak jednoznaczne. Niektóre wyniki wcześniejszych badań wskazują na wzrost ryzyka nowotworu u osób zawodowo ekspozowanych na pola elektromagnetyczne radio- i mikrofalowe. *Pearce* i in. (1989) w badaniach typu *case-control* (badanie przypadków) u pracowników serwisów radio-telewizyjnych w Nowej Zelandii stwierdzili zwiększone ryzyko białaczki (OR = 7,9, CI\* = 2,2 ÷ 28,1). Także *Tynes* i in. (1996) stwierdzili wzrost ryzyka białaczki (OR = 2,8; CI = 1,3 ÷ 5,4) u przedstawicieli różnych zawodów ekspozowanych na pola elektromagnetyczne radiofalowe. *Szmigielski* i in.

---

\* CI, *confidence interval* – 95-procentowy przedział ufności.

(1996) w badaniach dużej grupy pracowników wojska (ogółem 128000, w tym 3700 eksponowanych) wykazali również u osób eksponowanych wzrost ryzyka białaczki (OR = 7,7) oraz guza mózgu (OR = 1,9; CI = 1,1 ÷ 3,5). Natomiast *Garland* i in. (1990) w badaniach pracowników marynarki wojennej USA nie stwierdzili, podobnie jak *Muhm* (1992), istotnego wzrostu ryzyka białaczki (OR = 1; CI = 0,4 ÷ 2,5).

*Thomas* i in. (1987) przeprowadzili analizę przyczyn zgonów (na podstawie wywiadów z rodzinami) i stwierdzili zwiększone ryzyko guzów mózgu (OR = 1,6; CI = 1,1 ÷ 2,4), podobnie *Grayson* (1996) wśród personelu wojskowego (OR = 1,4; CI = 1,0 ÷ 1,9).

*Tynes* i in. (1996) wykazali podwyższone ryzyko powstania raka gruczołu piersiowego u kobiet pracujących na stanowisku operatora radia i telegrafu w Norwegii (OR = 1,5; CI = 1, 1 ÷ 2,0). Podobne wyniki uzyskali *Cantor* i in. (1995) u mężczyzn, pracowników radiokomunikacji, u których ryzyko zgonu z powodu raka gruczołu piersiowego wynosiło 2,8 (CI = 1,3 ÷ 5,4).

Natomiast *Goldsmith* i in. (1995) oraz *Lagorio* (1997) nie wykazali zwiększonego ryzyka raka gruczołu piersiowego u osób eksponowanych.

W pojedynczych badaniach stwierdzono zwiększone ryzyko nowotworu jądra (OR = 3,1; CI – brak danych) w badaniu typu *case-control* u osób podających w wywiadzie ekspozycję na pola elektromagnetyczne mikro-lub radiofalowe (*Hayes* i in. 1990) oraz czerniaka oka (*Holly* i in. 1996).

Także najnowsze badania nie przyniosły rozstrzygających wyników. *Morgan* i in. (2000) objęli badaniem kohortę pracowników US Motorola (195 775 osób) badaniem prospektywnym (10 lat). Na wszystkich 9724 stanowiskach pracy oszacowano ekspozycję i zaklasyfikowano jako zerową, małą, średnią lub dużą. Standaryzowany wskaźnik ryzyka zgonu (SMR) był liczony w odniesieniu do ryzyka nowotworu w populacji generalnej, a także w klasach różniących się poziomem ekspozycji. Nie stwierdzono istotnego wzrostu ryzyka nowotworu w populacji pracowników Motorola w stosunku do populacji generalnej ani w grupie o dużej ekspozycji w porównaniu z grupami o małej ekspozycji. Autorzy badań jednak stwierdzili, że okres obserwacji mógł być zbyt krótki dla ujawnienia się wielu rodzajów nowotworów, poza tym szacunkowa ocena ekspozycji była mało wiarygodna.

*Groves* i in. (2002) przeprowadzili badanie prospektywne kohorty personelu marynarki wojennej USA eksponowanej na pole elektromagnetyczne emitowane przez radary podczas wojny koreańskiej (20 000 osób) oraz grupy liczącej 20 000 osób z małym prawdopodobieństwem ekspozycji. Osoby eksponowane pracujące z radarami były również eksponowane na pola elektromagnetyczne 60 Hz. Stwierdzono, że wśród pracowników eksponowanych na najwyższe poziomy pól elektromagnetycznych ryzyko zgonu z powodu białaczki (leukemia) było większe w porównaniu z osobami nieeksponowanymi (OR = 1,5; CI = 1,0 ÷ 2,2). Największe ryzyko zgonu z powodu białaczki było w grupie techników elektroników (OR = 2,6). W grupie eksponowanej stwierdzono też zwiększone ryzyko raka płuc i innych nowotworów dróg oddechowych. Autorzy podkreślali, że nie dysponowali danymi o aktualnej ekspozycji na pola elektromagnetyczne ani o innych czynnikach, które mogły wpływać na ryzyko nowotworu (m.in. palenie tytoniu). W tym samym badaniu *Groves* i in. (2002) nie stwierdzili wzrostu ryzyka zgonu z powodu nowotworu jądra (SMR = 0,6; CI = 0,2 ÷ 1,4).

*Stang* i in. (2002) stwierdzili wzrost ryzyka czerniaka oka u osób podających w wywiadzie zawodową ekspozycję na pola elektromagnetyczne radiofalowe w okresie co najmniej 6 miesięcy przez kilka godzin dziennie (OR = 3,3; CI = 1,2 ÷ 9,2). Nie wykazano jednak związku zachorowania z ekspozycją na promieniowanie radaru. *Kliukiene* i

in. (2003) przeprowadzili w latach 1961-2002 badanie prospektywne w grupie kobiet pracujących w radiokomunikacji i przy obsłudze telegrafu, eksponowanych na pola elektromagnetyczne: 405 kHz; 5 MHz i 50 Hz. Stwierdzono, że ryzyko raka gruczołu piersiowego było u nich większe (OR = 1,30; CI = 1,05 ÷ 1,58) w porównaniu z kobietami z populacji generalnej Norwegii. Gdy podzielono grupę badaną w zależności od wieku (< 50 lat i ≥ 50 lat), to stwierdzono, że u kobiet młodszych ryzyko wynosiło OR = 1,78 ( $p = 0,03$ ), a w grupie wiekowej powyżej 50 lat OR = 2,37 ( $p = 0,03$ ). Autorzy badań uznali jednak, że jest zbyt mało danych, by rozstrzygnąć o związku przyczynowo-skutkowym między ryzykiem nowotworu gruczołu piersiowego a ekspozycją na pola elektromagnetyczne radiofalowe. Szczegółową analizę badań epidemiologicznych przeprowadzili m.in. *Elwood* (2003) i *Kundi* (2004).

Ze względu na fakt, że w żadnym z dotychczasowych badań nie dokonywano pomiarów wielkości ekspozycji, którą szacowano jedynie na podstawie klasyfikacji zawodu, a w niektórych badaniach na podstawie informacji pochodzących od rodzin osób zmarłych, dlatego nie można wykazać bezspornie związku przyczynowo-skutkowego między zawodową ekspozycją na pola elektromagnetyczne a ryzykiem zachorowania na nowotwory.

### **Ekspozycja na pola elektromagnetyczne emitowane przez telefony komórkowe a nowotwory w obrębie głowy**

Jednym z najbardziej niepokojących opinii publiczną skutków zdrowotnych podejrzewanych o związek z używaniem telefonów komórkowych są nowotwory w obrębie głowy, dlatego w wielu państwach są podejmowane liczne badania, których celem jest wyjaśnienie ewentualnego związku przyczynowo-skutkowego między tymi nowotworami a polami elektromagnetycznymi emitowanymi przez telefony komórkowe (*Stewart* 2000; *Repacholi* 1998; *ICNIRP* 1996).

Badania dotyczące związku między korzystaniem z telefonu komórkowego a występowaniem nowotworów w obrębie głowy obejmowały: glejaka (*glioma*), oponiaka (*meningioma*), raka ślinianki, nerwiaka nerwu słuchowego (*acoustic neurinoma*), nerwiaka nerwu przedsionkowo-ślimakowego (*vestibular schwannoma*), nerwiaka nerwu twarzowego oraz czerniaka oka (*uveal melanoma*).

Analiza wyników badań epidemiologicznych wykazała, że prawie połowa z nich potwierdza występowanie związku przyczynowo-skutkowego między używaniem telefonu komórkowego a zdiagnozowanymi nowotworami w obrębie głowy.

### ***Wyniki badań, które nie potwierdziły wpływu telefonów komórkowych na zdrowie***

*Rothman* i in. (1996) analizowali umieralność z powodu nowotworów w kohorcie 255 868 użytkowników telefonów komórkowych w latach 1994-1995 w USA. W tym okresie zanotowano 604 zgony w grupie użytkowników telefonów komórkowych. Ryzyko zgonu z powodu wszystkich rodzajów nowotworów było w grupie użytkowników telefonów komórkowych podobne jak wśród pozostałych osób. W kolejnych badaniach ci sami autorzy porównali w tej samej kohorcie ryzyko zgonu w zależności od rodzaju używanego telefonu (telefon komórkowy z wbudowaną anteną, głównie analogowy) vs. telefony przenośne (w samochodach) z anteną umieszczoną daleko od głowy. W badaniach nie wykazano związku między rodzajem telefonu komórkowego a ryzykiem zgo-



nu z powodu nowotworu mózgu (Rothman i in. 1999; Dreyer i in. 1999). Wykazano, że ryzyko zgonu z powodu nowotworów mózgu było mniejsze niż w populacji generalnej (OR = 0,86).

Wadą tych badań był krótki okres obserwacji, mała liczba zgonów oraz brak danych o rodzaju używanego telefonu dla 58% analizowanych przypadków.

Johansen i in. (2001; 2004) przeprowadzili obserwację narodowej kohorty abonentów telefonii komórkowej w Danii składającej się z 723 421 osób i korzystających z następujących telefonów: NMT450, NMT 900 i GSM 900. Z tej grupy w analizie uwzględniono 420 095 osób. Badanie miało charakter prospektywny, a obserwacja trwała od 1982 r. W całej kohorcie zaobserwowano 3391 przypadków nowotworów (wszystkie rodzaje, w tym 154 guzy mózgu). W stosunku do populacji referencyjnej Danii standaryzowany wskaźnik przypadków nowotworów (SIR) dla mężczyzn wynosił 0,86 (CI = 0,86 ÷ 0,92) i 1,03 dla kobiet. Wadą tych badań była jednak mała liczba analizowanych przypadków, brak danych o rodzaju używanego telefonu, młody wiek osób badanych i krótki okres obserwacji (dla 92 przypadków był to okres nie dłuższy niż 5 lat).

Schutz i in. (2006) przeprowadzili badanie prospektywne wśród użytkowników telefonów komórkowych w Danii, którzy zaabonowali pierwszy telefon komórkowy w latach 1982-1995 (420 095 osób). U użytkowników telefonów nie stwierdzono wzrostu ryzyka nowotworów mózgu (SIR = 0,95), nerwiaka nerwu słuchowego (SIR = 0,73), raka ślinianek (SIR = 0,66), czerniaka oka (SIR = 0,96) i białaczki (SIR = 1) w porównaniu z populacją generalną. Nie stwierdzono również wzrostu ryzyka zachorowania wraz z czasem używania telefonu.

Inny rodzaj badania przeprowadzili Muscat i in. (2000; 2006). Było to badanie typu *case-control*, w którym analizowano łącznie 891 osób, w tym 469 osób hospitalizowanych z powodu pierwotnego nowotworu mózgu w 5 szpitalach w USA oraz 422 osoby hospitalizowane z innych przyczyn. U wszystkich badanych przeprowadzono ankietę dotyczącą korzystania z telefonu komórkowego. Stwierdzono, że tylko 14% osób z nowotworami było użytkownikami telefonu komórkowego, a czas posiadania telefonu wynosił około 3 lat. Nie wykazano istotnego wzrostu ryzyka nowotworu w związku z faktem używania telefonu (OR = 0,8; CI = 0,6 ÷ 1,2), czasem trwania i częstotliwością prowadzenia rozmów. Jednak przy tak ograniczonej liczbie osób korzystających z telefonów komórkowych i tak krótkim okresie ekspozycji wynik ten jest mało wiarygodny.

Badanie typu *case-control* przeprowadzili także Warren i in. (2003), analizując ryzyko występowania nowotworu nerwu twarzowego i nerwiaka nerwu słuchowego jako rezultat używania telefonu komórkowego. Nie wykazali oni wzrostu ryzyka tych nowotworów związanego z używaniem telefonu komórkowego.

Inskip i in. (1999; 2001) przeprowadzili badanie typu *case-control* w szpitalach trzech dużych miast USA wśród 782 pacjentów, w tym 489 z histologicznie potwierdzonym rozpoznaniem glejaka, 197 z rozpoznaniem oponiakiem i 96 z nerwiakiem nerwu słuchowego. Do badań włączono 799 osób hospitalizowanych z innych przyczyn i stanowiących grupę kontrolną. Nie stwierdzono wzrostu ryzyka nowotworów wraz z wydłużaniem się okresu posiadania telefonu komórkowego, czy częstotliwością jego używania. Wywiad dotyczący korzystania z telefonu komórkowego przeprowadzono jednak tylko u 12% chorych z nowotworami i u 3% osób z grupy kontrolnej. Tak mała liczba osób badanych zmniejsza znacznie wiarygodność wyników.

Christensen i in. (2004) w badaniu typu *case-control* przeprowadzonym w Danii w latach 2000-2002 stwierdzili 106 przypadków nerwiaka nerwu słuchowego i do każdego przypadku dobrali losowo dwie osoby z grupy kontrolnej, które nie różniły się pod względem wieku i płci. Informacje o używaniu telefonów uzyskiwano na podstawie wywiadu z osobą badaną. Oszacowane ryzyko względne nerwiaka nerwu słuchowego wynosiło 0,90 (CI = 0,51 ÷ 1,57). Nie zaobserwowano zależności wystąpienia choroby ani od okresu używania telefonu, ani od rodzaju telefonu komórkowego.

Lönn i in. (2005) w ramach badań INTERPHONE przeprowadzili również badanie typu *case-control* w wybranym do badań regionie Szwecji (Stockholm i okolice). W latach 2000-2002 stwierdzono wśród 3,7 mln osób w wieku 30 ÷ 69 lat, 499 przypadków *glioma* i 320 przypadków *meningioma*. Grupa kontrolna była wylosowana z populacji osób zdrowych zamieszkujących w tych samych rejonach i dobranych pod względem wieku. W ocenie ekspozycji uwzględniano: sumaryczny czas rozmów, liczbę prowadzonych rozmów, lata korzystania z telefonu i rodzaj telefonu (analogowy czy cyfrowy). Nie stwierdzono podwyższonego ryzyka nowotworów typu *glioma* i *meningioma* (odpowiednio OR = 0,8; CI = 0,6 ÷ 1,0 i OR = 0,9; CI = 0,5 ÷ 0,9), wśród osób regularnie korzystających z telefonu komórkowego w porównaniu z osobami korzystającymi z niego rzadko lub z osobami wcale z niego niekorzystającymi. Nie zaobserwowano też wzrostu ryzyka zachorowania w zależności od czasu posiadania telefonu (> 10 lat) ani intensywności korzystania z niego. Nie stwierdzono także zależności umiejscowienia nowotworu od strony, przy której zwykle jest trzymany telefon (*ipsilateralne, kontralateralne*).

Podobne wyniki uzyskali Takebayashi i in (2006) w badaniu INTERPHONE przeprowadzonym w Japonii. Było to również badanie typu *case-control* przeprowadzone w latach 2000-2004. Objęto nim 101 osób z nerwiakiem nerwu słuchowego w wieku 30 ÷ 69 lat oraz 192 osoby z grupy kontrolnej dobrane pod względem wieku, płci, stanu cywilnego i regionu zamieszkania. Nie stwierdzono wzrostu ryzyka nerwiaka w zależności od czasu posiadania telefonu komórkowego (< 4 lat, 4 ÷ 8 lat, > 8 lat) ani od intensywności korzystania z niego (godziny/dzień).

Zupełnie inny charakter miało badanie Röösl i in. (2007). Analizowano w nim trendy umieralności z powodu nowotworów w obrębie głowy w populacji Szwajcarii w latach 1989-2002, w 15-letnich grupach wiekowych (0 ÷ 14, 15 ÷ 29, 30 ÷ 44, 45 ÷ 59, 60 ÷ 74 i > 74) oraz trendy korzystania z telefonów komórkowych. Stwierdzono nieistotnie podwyższone ryzyko zgonu z powodu wszystkich rodzajów nowotworów w obrębie głowy w grupie mężczyzn w wieku > 60 lat (OR = 1,2; CI = 0,0 ÷ 2,4) i w wieku > 75 lat (OR = 1,9; CI = 0,1 ÷ 3,7) oraz istotny wzrost zgonu w grupie kobiet > 75 lat (OR = 3,6; CI = 1,9 ÷ 5,3). Nie stwierdzono wzrostu ryzyka zgonu w innych grupach wiekowych, pomimo wzrostu liczby użytkowników telefonów komórkowych. Z tego względu autorzy tych badań nie stwierdzili związku przyczynowo-skutkowego między ryzykiem zachorowania na nowotwór a korzystaniem z telefonu komórkowego.

### **Wyniki badań, które potwierdziły wpływ telefonów komórkowych na zdrowie**

Muscat i in. (2000) w omawianym już kliniczno-kontrolnym badaniu, przeprowadzonym w latach 1994-1998 w pięciu akademickich centrach medycznych w USA wykazały, że ryzyko względne powstania nerwiaka nerwu słuchowego u użytkowników analogowych telefonów komórkowych było dwukrotnie większe w porównaniu z osobami niekorzystającymi z telefonu. W badaniu tym nie wykazano istotnego wzrostu ryzyka dla guzów mózgu.

Stang i in. (2001) w ramach badań kontrolno-klinicznych przebadali 118 osób z czerniakiem naczyniówki oka i 475 osób z grupy kontrolnej. Ekspozycję na pola elektromagnetyczne emitowane przez telefon komórkowy szacowali na podstawie wywiadu: brak ekspozycji (grupa O), ekspozycja prawdopodobna (grupa I) i ekspozycja prawie pewna (grupa II). Autorzy stwierdzili zwiększone ryzyko nowotworu w grupie I (OR = 3; CI = 1,4 ÷ 6,3) i w grupie II (OR = 4,2; CI = 1,2 ÷ 14,5) w porównaniu z grupą kontrolną bez ekspozycji.

Hardell i in. opublikowali w latach 1999-2004 wyniki badania typu *case-control* i kohortowego, których celem była oceny ryzyka powstania nowotworów w obrębie głowy (guzów mózgu, nerwiaków osłonkowych nerwu przedsionkowo-ślimakowego i raka ślinianek). Badaniem objęto łącznie 1617 osób obu płci w wieku 20 ÷ 80 lat. Do każdego przypadku dobrano odpowiednią pod względem wieku, płci i regionu zamieszkania jedną osobę z grupy kontrolnej ze szwedzkiego rejestru ludności. Narażenie oceniano na podstawie kwestionariusza, zawierającego pytania dotyczące czasu posiadania telefonu (ponad 1 rok, ponad 5 lat, ponad 10 lat) i rodzaju telefonu (analogowy, cyfrowy czy bezprzewodowy).

U użytkowników telefonów komórkowych stwierdzono:

- istotny wzrost ryzyka guza mózgu (OR = 1,3; CI = 1,04 ÷ 1,6), dla ipsilateralnego umiejscowienia guza zarówno w przypadku korzystania z telefonów analogowych (OR = 1,7; CI = 1,1 ÷ 2,7), jak i telefonów cyfrowych (OR = 1,5; CI = 1,1 ÷ 2,3)
- istotny wzrost ryzyka nerwiaka nerwu słuchowego (*acoustic neuroma*) w porównaniu do osób nieużywających telefonu (OR = 4,4; CI = 2,1 ÷ 9,2) w przypadku korzystania z telefonu analogowego
- istotny wzrost ryzyka nerwiaka osłonkowego nerwu przedsionkowo-ślimakowego (*vestibular schwannoma*) u osób korzystających z telefonu analogowego (OR = 3,45; CI = 1,77 ÷ 6,76).

Hardell i in. (2005) w tej samej grupie pacjentów przeprowadzili analizę w zależności od miejsca zamieszkania badanych z podziałem na obszar wiejski i miejski. Stwierdzono brak istotnych różnic między mieszkańcami obszarów miejskich i wiejskich pod względem intensywności korzystania z telefonów oraz brak istotnych różnic między mieszkańcami obszarów miejskich i wiejskich w zakresie ryzyka związanego z korzystaniem z telefonów analogowych. Wykazano natomiast istotny wzrost ryzyka guza mózgu u osób z obszarów wiejskich korzystających z telefonów cyfrowych ponad 5 lat (OR = 3,2; CI = 1,2 ÷ 8,4) w porównaniu z użytkownikami w miastach. Autorzy wnioskują, że na obszarach wiejskich, w związku z większymi odległościami od stacji telefonii komórkowej telefony muszą pracować z większą mocą, co może być przyczyną ich większej szkodliwości.

Auvinen i in. (2002) przeprowadzili kontrolno-kliniczne badania na podstawie danych z Fińskiego Rejestru Raka z 1996 r., a grupę kontrolną wybrano z Centralnego Rejestru Ludności Finlandii. Informacje o rodzaju używanego telefonu (analogowy albo cyfrowy) oraz datę rozpoczęcia i zakończenia używania telefonu uzyskano z listy abonentów dwóch sieci telefonii komórkowej w Finlandii w 1996 r. Wyłączono z analizy użytkowników analogowych aparatów pracujących na częstotliwości 450 MHz. Gdy w analizie brano pod uwagę wszystkie guzy mózgu, stwierdzono, że u użytkowników analogowych telefonów komórkowych ryzyko choroby nowotworowej jest istotnie większe

(OR = 1,6; CI = 1,1 ÷ 2,3) niż u osób niekorzystających z telefonów komórkowych. Zależności takiej nie wykazano w przypadku użytkowników telefonów cyfrowych. Analiza ryzyka występowania poszczególnych rodzajów nowotworów w obrębie głowy wykazała, że tylko ryzyko glejaków było istotnie większe u użytkowników analogowych telefonów komórkowych (OR = 2,1; CI = 1,3 ÷ 3,4). Jednak dane z list abonentów sieci komórkowych nie dostarczają informacji na temat rzeczywistego czasu korzystania z telefonu komórkowego, gdyż sam fakt posiadania telefonu nie jest jednoznaczny z jego użytkowaniem.

Lönn i in. (2004) zidentyfikowali wszystkie przypadki nerwiaka nerwu słuchowego zdiagnozowane w okresie 1999-2002 w określonych obszarach Szwecji. Grupę kontrolną z populacji generalnej tych obszarów dobrano losowo po stratyfikacji ze względu na wiek, płeć i obszar zamieszkania. Informacje o używaniu telefonu komórkowego i innych narażeniach środowiskowych uzyskano dla 148 (93%) osób z nerwiakiem i 604 przypadków stanowiących grupę kontrolną (72%). Grupa kontrolna składała się z osób, które podały, że z telefonu komórkowego korzystają rzadko lub nigdy z niego nie korzystają. Użytkowników telefonów, ze względu na okres korzystania z telefonu komórkowego, podzielono na trzy grupy (poniżej 5 lat, 5 ÷ 9 lat i ponad 10 lat). Nie stwierdzono istotnych różnic ryzyka występowania nerwiaka nerwu słuchowego w zależności od czasu użytkowania telefonu komórkowego. Gdy analizowano ryzyko nerwiaka umiejscowionego *ipsilateralnie* w stosunku do położenia telefonu (z tej samej strony głowy, z której zwykle trzymany był telefon podczas rozmowy), stwierdzono istotny wzrost ryzyka nerwiaka u osób korzystających z telefonu komórkowego ponad 10 lat (OR = 3,1; CI = 1,2 ÷ 8,4). Takiej zależności nie stwierdzono dla narażenia kontralateralnego.

Hepworth i in. (2006) przeprowadzili badanie typu *case-control*, w którym uwzględniono pacjentów z oddziałów szpitalnych w wieku 18 – 69 lat, a także wykorzystano dane z rejestru raka Wielkiej Brytanii w okresie 1.12. 2000 – 9.02. 2004. Grupę kontrolną stanowiły osoby dobrane losowo z list lekarzy ogólnych (pierwszego kontaktu) z uwzględnieniem wieku, płci i obszaru zamieszkiwania. Stwierdzono istotny wzrost ryzyka glejaka w położeniu *ipsilateralnym* (OR = 1,24; CI = 1,02 ÷ 1,52) u osób korzystających regularnie z telefonu komórkowego. Nie stwierdzono jednak wzrostu ryzyka guzów mózgu wraz z wydłużaniem się okresu używania telefonu komórkowego czy częstotliwością jego używania.

W ramach badań INTERPHONE Study Group w Niemczech przeprowadzono w latach 2000-2003 badania, którym poddano 366 pacjentów z glejakiem mózgu i 381 pacjentów z oponiakiem oraz 1494 osób z grupy kontrolnej dobranej pod względem płci, wieku i regionu zamieszkania. Stwierdzono wzrost ryzyka glejaka u osób korzystających z telefonu komórkowego ponad 10 lat (OR = 2,2; CI = 0,94 ÷ 5,11). Nie wykazano natomiast wzrostu ryzyka oponiaka (Schutz i in. 2006).

Lahkola i in. w 2006 r. opublikowali wyniki meta-analizy, do której wybrano wyniki 12 badań dotyczących nowotworów w obrębie głowy (łącznie przeanalizowano 2780 przypadków). Nie stwierdzono wzrostu ryzyka zachorowania na nowotwory w obrębie głowy związanego z korzystaniem z telefonu komórkowego ani także wszystkich innych nowotworów wewnątrzczaszkowych analizowanych łącznie (OR = 0,98; CI = 0,83 ÷ 1,16), ani dla glejaka (OR = 0,96; CI = 0,78 ÷ 1,18), ani oponiaka (OR = 0,87; CI = 0,72 ÷ 1,05). Także ryzyko nerwiaka nerwu słuchowego było podobne jak u osób korzystających z telefonu komórkowego okazjonalnie OR = 1,07; CI = 0,89 ÷ 1,30.

Meta-analiza jest uznawana za bardzo dobrą metodę, która służy obiektywnej ocenie ryzyka na podstawie wyników wielu badań epidemiologicznych. Jednak na wy-

nik meta-analizy w znacznym stopniu wpływa sam dobór badań. Muszą one spełniać kryteria dotyczące poprawności metodologicznej, ale wśród nich mogą być również takie, które potwierdzają i takie, które zaprzeczają testowanej hipotezie. *Lakhola* i in. wybrali badanie wskazujące na wzrost ryzyka nerwiaka nerwu słuchowego związanego z korzystaniem z telefonu komórkowego i 11 badań zaprzeczających wzrostowi ryzyka nowotworów w obrębie głowy u użytkowników telefonów komórkowych. Tak więc, sam dobór badań może być przyczyną uzyskanego określonego wyniku meta-analizy.

*Hardell* i in. (2007) przeanalizowali wyniki badania kohortowego i 13 badań przypadków (*case-control*), które obejmowały osoby korzystające z telefonów komórkowych ponad 10 lat.

W trzech badaniach wykazano 3 ÷ 4-krotny wzrost ryzyka nerwiaka nerwu słuchowego, w 5 badaniach wzrost ryzyka guzów mózgu, a największe ryzyko stwierdzono dla glejaka o umiejscowieniu ipsilateralnym (OR = 5,4; CI = 3,0 ÷ 5,6), dla osób korzystających z telefonów > 10 lat.

Dotychczasowe badania epidemiologiczne nie przyniosły rozstrzygających wyników na temat związku przyczynowo-skutkowego między występowaniem nowotworów w obrębie głowy a korzystaniem z telefonu komórkowego, jednak ich interpretacja ma pewne ograniczenia:

- wątpliwości budzi przede wszystkim fakt, że ocena ryzyka w przypadku wielu nowotworów wymaga czasem kilkudziesięciu lat obserwacji, a w niektórych badaniach analizowano ryzyko u osób użytkujących telefon przez rok
- drugim poważnym utrudnieniem jest fakt, że nowotwory w obrębie głowy występują w populacji generalnej bardzo rzadko, dlatego trudno zebrać odpowiednią liczbę przypadków. Najwięcej zastrzeżeń budzi jednak ocena ekspozycji, która była najczęściej niewystarczająca, a w wielu badaniach kohortowych ograniczona do stwierdzenia posiadania abonamentu telefonicznego (informacje od operatorów), w innych badaniach oceniano ekspozycję na podstawie stwierdzenia „stosowanie telefonu prawdopodobne lub pewne”.

W badaniach typu *case-control* ocenę ekspozycji przeprowadzano na podstawie ankiety wśród hospitalizowanych pacjentów, często będących w bardzo ciężkim stanie, w krótkim czasie po zabiegu operacyjnym. Jak podawali autorzy badań, pacjenci często odmawiali odpowiedzi albo nie pamiętali szczegółów związanych z używaniem telefonu komórkowego, a w wielu przypadkach zgon nastąpił zanim można było przeprowadzić ankietę. Z tego względu informacje zebrano od bardzo małego odsetka badanych.

Także analizowanie związku występowania nowotworów u użytkowników telefonów analogowych i cyfrowych jest obarczone błędem, gdyż większość osób z długim stażem początkowo używała telefonu analogowego, a później cyfrowego (nie wiadomo czy i kiedy telefon analogowy został zastąpiony telefonem cyfrowym). Dlatego wykazywane w niektórych badaniach zwiększone ryzyko nowotworów u użytkowników telefonów analogowych może być raczej pochodną długiego okresu użytkowania telefonu niż jego rodzaju.

## INNE SKUTKI ZDROWOTNE DZIAŁANIA PÓL ELEKTROMAGNETYCZNYCH RADIOFALOWYCH I MIKROFALOWYCH

Dotychczas przeprowadzono niewiele badań epidemiologicznych dotyczących nienowotworowych skutków zdrowotnych działania pól elektromagnetycznych 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 (*Oftedal* i in. 2000; *Sandström* i in. 2001; *Lundgren* 1998; *Hocking* 1998). Badanie przeprowadzone w Australii wykazało, że bóle głowy (w tym także migrena i klasterowy ból głowy) pojawiały się podczas lub krótko po zakończeniu rozmowy i często nasilały się w ciągu dnia. U około 50% badanych ustępowały one w okresie około 1 h po zakończeniu rozmowy, a u pozostałych dopiero wieczorem lub następnego dnia (*Hocking* 1998).

W Szwecji i Norwegii (*Oftedal* i in. 2000) przeprowadzono ankietę u 17 000 osób zawodowo korzystających z telefonu komórkowego (12000 w Szwecji i 5000 w Norwegii). W Norwegii 31%, a w Szwecji 13% badanych podawało występowanie przynajmniej 1 symptomu. W Norwegii najczęściej zgłaszano uczucie ciepła w okolicy ucha (45%), ból głowy (11%), pieczenie skóry (11%), zawroty głowy (8,1%) uczucie zmęczenia (7,7%). W Szwecji najczęściej zgłaszano uczucie ciepła w okolicy ucha (16,5%), pieczenie skóry (3,2%), ból głowy (2,5%) i uczucie dyskomfortu (2,2%). Nie stwierdzono istotnego wzrostu ryzyka dolegliwości u osób, które rozmawiały mniej niż 4 razy dziennie i łącznie, krócej niż 15 min. Dla pozostałych osób istotny wzrost ryzyka dotyczył: zawrotów głowy (Norwegia – OR = 3,5; Szwecja – OR = 1,5). Porównanie wyników między Szwecją a Norwegią wykazało znaczne różnice: bóle głowy – Norwegia OR = 4,1; Szwecja OR = 2,6, zmęczenie – Norwegia OR = 1,8; Szwecja OR = 2,2, zaburzenia koncentracja uwagi – Norwegia OR = 1,6; Szwecja OR = 2,2) i zaburzenia pamięci – Norwegia OR = 1,4; Szwecja OR = 1,5. W badaniach własnych (600 osób) wykazano także istotny wzrost ryzyka dolegliwości u osób, które korzystały z telefonu komórkowego ponad 30 min (ból głowy OR = 18,8, zaburzenia koncentracji uwagi – OR = 2,2, zaburzenia pamięci świeżej – OR=3,1), (*Szykowska* i in. 2005). Pierwsze dane na temat bólów głowy wywołanych ekspozycją na pola elektromagnetyczne o częstotliwościach mikro- i radiofalowych pojawiły się już 30 lat temu, ale wówczas ekspozycja na pola elektromagnetyczne o takich częstotliwościach nie była powszechna (*Frey* 1998).

Badanie ankietowe ukierunkowane na dolegliwości układu krążenia przeprowadzone wśród 3000 fizykoterapeutów wykazało, że choroby serca występują statystycznie częściej u osób eksponowanych na pola elektromagnetyczne mikro- i krótkofalowe (*Hamburger* i in. 1983).

Istotne z punktu widzenia medycyny pracy były też wyniki badań wypadków drogowych w kontekście korzystania z telefonu komórkowego. Wykazano, że kierowcy mieli trudność dostosowania szybkości samochodu do sytuacji na drodze utrzymując się również po zakończeniu rozmowy (*Brookhuis* i in. 1991; *Alm Nilsson* 1995; *Haigney* 2000). *Violanti* i *Marschall* (1996) stwierdzili – w badaniach 100 losowo wybranych kierowców, którzy mieli w ciągu ostatnich 12 miesięcy wypadek drogowy i 100 „geograficznie” dobranych kierowców bezwypadkowych – że po wyeliminowaniu czynników zakłócających (np. staż jako kierowca) istotnie częściej wypadkom ulegali kierowcy, którzy w ciągu miesiąca rozmawiali ponad 50 min. Brak jednak informacji,

jaki procent rozmów był prowadzony w samochodzie. Z omówionych badań nie wynika czy wpływ na ryzyko wypadków miało działanie pól elektromagnetycznych emitowane przez telefon komórkowy, czy inne czynniki związane z rozmową, ale wydaje się, że należałoby podjąć badania, aby ten problem wyjaśnić.

### ZAWODOWA EKSPOZYCJA NA POLA ELEKTROMAGNETYCZNE RADIOFALOWE I MIKROFALOWE. BADANIA KLINICZNE

W najnowszym piśmiennictwie można znaleźć tylko pojedyncze informacje o badaniach klinicznych dotyczących pracowników ekspozowanych na pola elektromagnetyczne radio-i mikrofalowe. *Bortkiewicz* i in. prowadzili takie badania wśród: pracowników średniofalowych obiektów nadawczych (RON) ekspozowanych na pola elektromagnetyczne o częstotliwości około 1 MHz, pracowników radioservisów (R-S), którzy przy naprawie sprzętu radiowo-telewizyjnego byli ekspozowani na pola elektromagnetyczne o częstotliwości około 160 MHz, pracowników wieloprogramowych obiektów nadawczych (RTCN), w których występowała ekspozycja na pola elektromagnetyczne zakresu VHF (30 ÷ 300 MHz) i UHF (0,3 ÷ 3 GHz), a także pracowników Stacji Linii Radiowych (SLR) nieekspozowanych na pola elektromagnetyczne. Łącznie badaniami objęto 225 mężczyzn. U wszystkich badanych przeprowadzono badanie lekarskie, EKG spoczynkowe z analizą zmienności rytmu serca (HRV), 24-godzinne badanie EKG metodą Holtera oraz długookresową rejestrację ciśnienia tętniczego. Oceniono także ekspozycję na podstawie przeprowadzonych pomiarów w obiektach i ich otoczeniu, gdzie pracowały osoby badane. Mimo że poziom ekspozycji nie przekraczał wartości dopuszczalnych przez przepisy higieniczne, to w badanych grupach stwierdzono wzrost ryzyka zaburzeń funkcjonowania układu krążenia i regulacji neurovegetatywnej.

U osób ekspozowanych na pola elektromagnetyczne o częstotliwości z zakresu średniofalowego stwierdzono istotnie większy niż w grupie kontrolnej odsetek osób ze zmianami elektrokardiograficznymi, głównie komorowymi zaburzeniami rytmu serca, przy niższej częstości skurczów serca. Ryzyko tych zaburzeń (wskaźnik OR) wynosiło 6,5 (*Bortkiewicz* i in. 1997). W grupie tej stwierdzono również zależne od poziomu ekspozycji zaburzenia regulacji neurovegetatywnej, ocenianej z zastosowaniem analizy zmienności rytmu serca (*Bortkiewicz* i in. 1996). U pracowników radio-servisów (ekspozycja na pola elektromagnetyczne o częstotliwości około 160 MHz) stwierdzono wzrost częstości zaburzeń ukrwienia mięśnia sercowego wykrywanych 24-godzinnym badaniem EKG (OR = 2), ale nie był on statystycznie istotny. Natomiast istotny był wzrost odsetka osób z podwyższonym ciśnieniem tętniczym krwi stwierdzonym w badaniu ABP (*Gadzicka* i in. 1997). Analiza HRV wykazała, że w tej grupie mechanizm obserwowanych zaburzeń ciśnienia tętniczego krwi był związany z nadmierną aktywacją współczulnej części autonomicznego układu nerwowego oraz układu renina-angiotensyna.

W grupie ekspozowanej na pola elektromagnetyczne z zakresu UHF i VHF stwierdzono istotny wzrost ryzyka podwyższonego ponad normę ciśnienia tętniczego, zwłaszcza w nocy OR = 8,6 i zaburzeń jego regulacji. Odsetek osób z podwyższonym ciśnieniem w badaniu ABP w grupie ekspozowanej był istotnie większy niż w grupie kontrolnej (70% vs. 23%) (*Gadzicka* i in. 2004).

Podobne wyniki uzyskali *Vangelova* i in. (2006). Przeprowadzili oni badania u 49 pracowników radiowych stacji nadawczych i 61 pracowników stacji telewizyjnych

oraz 110 pracowników stacji linii radiowych. W badaniach oceniano czynniki ryzyka chorób układu krążenia (ciśnienie tętnicze, profil lipidów, BMI, palenie oraz wywiad rodzinny). Stwierdzono, że ciśnienie tętnicze, stężenie całkowitego cholesterolu oraz frakcji LDL były istotnie większe w obu grupach ekspozycyjnych. Wykazano, że skurczowe ciśnienie krwi było istotnie skorelowane z poziomem ekspozycji.

W 2004 r. *Wilen* i in. opublikowali wyniki badań subiektywnych dolegliwości oraz zaburzeń funkcjonowania układu krążenia u operatorów zgrzewarek, 35 ekspozycyjnych pracowników w wieku  $40 \pm 11$  lat o stażu w ekspozycji  $12 \pm 10$  lat i 37 osób z grupy kontrolnej w wieku  $42 \pm 12$  lat. Ekspozycja u 11 osób przekraczała wartości limitów higienicznych ICNIRP.

U osób ekspozycyjnych częściej występowały bóle głowy, objawy zmęczenia, uczucie pieczenia w obrębie dłoni, ramion, stóp i zaburzenia snu. Osoby ekspozycyjne miały istotnie wolniejsze tętno w czasie 24 h ( $p = 0,02$ ) oraz istotnie więcej epizodów zwolnionej czynności serca (bradykardii) w zapisie.

## PODSUMOWANIE

Przegląd opublikowanych ostatnio wyników badań, podobnie jak wszystkie dotychczasowe informacje, nie pozwalają wykluczyć ryzyka zdrowotnego związanego z ekspozycją na pola elektromagnetyczne o częstotliwości radio- i mikrofalowej, a więc problem skutków zdrowotnych jest nadal otwarty. Niektóre wyniki badań wskazują, że zarówno choroby nowotworowe, jak i inne (choroby układu krążenia, układu nerwowego, zaburzenia reprodukcji i dolegliwości subiektywne) występują częściej u osób ekspozycyjnych na pola elektromagnetyczne w porównaniu z populacją generalną. Należy zauważyć, że wiele badań miało charakter retrospektywny, a w związku z tym ocena poziomu ekspozycji i eliminacja czynników zakłócających były utrudnione. Poza tym rozwój chorób nowotworowych jest procesem długotrwałym, okres latencji trwa czasami około 20 lat. Z tego względu ocena rzeczywistego wpływu ekspozycji na powstanie i rozwój różnego rodzaju nowotworów w wielu przypadkach nie jest jeszcze możliwa i wymaga dalszej obserwacji.

Potrzebne są wielośrodkowe badania ukierunkowane na określone grupy zawodowe (np. pracowników medycznych), w których by uwzględniono zarówno precyzyjną ocenę ekspozycji, jak i ocenę stanu zdrowia z zastosowaniem nowoczesnych metod diagnostycznych. Badania takie, zwłaszcza prospektywne, pozwoliłyby wyjaśnić związek przyczynowo-skutkowy między ekspozycją na pola elektromagnetyczne a skutkami zdrowotnymi. Dane podawane przez użytkowników telefonów komórkowych na temat subiektywnych dolegliwości, a także wyniki badań epidemiologicznych i eksperymentalnych u ludzi wskazują na konieczność poszukiwania zmian na poziomie molekularnym, komórkowym i tkankowym, które stanowią podłoże obserwowanych zaburzeń funkcjonalnych (*Adair* i in. 1997).



## PIŚMIENNICTWO

- Adair E.R.* i in. (1997) Physiological and perceptual responses of human volunteers during whole-body RF exposure at 450 MHz. W: Second World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine, J5, 143.
- Ahlbom C.* in. (2001) Review of the epidemiologic literature on EMF and health. *Environ Health Perspect.* 109 (Suppl 6), 911–933.
- Alm H.* i in. (1995) The effects of a mobile telephone task on driver behaviour in a car following situation. *Accid. Anal. Prev.* 27, 707–15.
- Anderson V.* i in. (1997) Nerve conduction velocity and mobile phones. [W:] *Electricity and Magnetism in Biology and Medicine*. New York, Kluwer, Academic/Plenum Publisher.
- Auvinen A.* i in. (2002) Brain tumors and salivary gland cancers among cellular telephone users. *Epidemiology* 13, 356–9.
- Bortkiewicz A.* i in. (2000) Heart rate and blood pressure during exposure to cellular phone-an experimental study. [W:] *Environmental Ergonomics IX Aachen* 227–230.
- Bortkiewicz A.* i in. (2002) [W:] The excretion of 6-hydroxymelatonin sulfate in healthy young men exposed to electromagnetic fields emitted by cellular phone – an experimental study. *Neuroendocrinology Letters* 23 (suppl 1), 88–91.
- Bortkiewicz A.* i in. (1997) Ambulatory ECG monitoring in workers exposed to MF electromagnetic fields. *Journal of Medical Engineering and Technology* 21, 41–46.
- Bortkiewicz A., I* in. (1996): Heart rate variability in workers exposed to medium-frequency electromagnetic fields. *J. Autonomic Nervous System* 59, 91-97.
- Braune S.* i in. (2002) Influence of a radiofrequency electromagnetic field on cardiovascular and hormonal parameters of the autonomic nervous system in healthy individuals *Radiation. Research* 158, 3, 352–356.
- Braune S.* i in. (1998) Resting blood pressure increase during exposure to a radio-frequency electromagnetic field. *Lancet* 351, 1857–1858.
- Brookhuis KA, de Vries G, de Waard D.* (1991) The effects of mobile telephoning on driving performance. *Accid Anal Prev.* 23, 309–16.
- Burch J.B.* i in. (2002) Melatonin metabolite excretion among cellular telephone users. *Int. J. Radiat. Biol.* 78, 1029–1036.
- Cantor K.* i in. (1995) Occupational exposure and female breast cancer mortality in the United States. *J. Occup. Environ. Med.* 37, 336–348.
- Christensen H.C.* i in. (2004) Cellular telephone use and risk of acoustic neuroma. *Am J Epidemiol.* 159, 277–383.
- De Seze R.* i in. (1999) Evaluation in humans of the effects of radiocellular telephones on circadian patterns of melatonin secretion, a chronobiological rhythm marker. *J. Pineal Res.* 27, 237–242.
- De Seze R., Fabro-Peray P., Miro L.* (1998) GSM radiocellular telephones do not disturb the secretion of antipituitary hormones in humans. *Bioelectromagnetics* 19, 271–278.
- Dreyer N., Loughlin J., Rothman K.* (1999) Cause specific mortality in cellular telephones users. *JAMA* 282, 1814.
- Dutta S.K., Ghosh B., Blackman C.F.* (1989) Radiofrequency radiation induced calcium ion efflux enhancement from human and other neuroblastoma cells in culture. *Bioelectromagnetics* 10, 197–202.

- Dutta S.K., Ghosh B., Blackman C.F.* (1992) Dose dependence of acetylcholinesterase activity in neuroblastoma cells exposed to modulated radio-frequency electromagnetic radiation. *Bioelectromagnetics* 13, 317–322.
- Elwood J.* (2003) Epidemiological studies of radiofrequency exposures and human cancer. *Bioelectromagnetics*, suppl. 6, 63–73.
- Freude G.* i in. (2000) Microwaves emitted by cellular telephones affect human slow brain potentials. *Eur. J. Appl. Physiol.* 81, 18–27.
- Frey A.* (1998) Headaches from cellular Telephones. Are they real and what are the implications. *Environ. Health Perspect.* 106, 101–103.
- Gadzicka E., Bortkiewicz A., Zmysłony M.* (1997) Ocena wybranych parametrów układu krążenia pracowników różnych grup zawodowych ekspozowanych na pola elektromagnetyczne wielkiej częstotliwości. III. 24-h monitorowanie ciśnienia tętniczego krwi. *Medycyna Pracy* 1, 17–24.
- Gadzicka E.* i in. (2004) Occupational exposure to radio-frequency electromagnetic fields and blood pressure variation In:..Proceedings of 3<sup>rd</sup> International Workshop on Biological Effects of EMFs, Kos (Grecja), 4-8 October 2004, 1087–1091.
- Garland F.C.* i in. (1990) Incidence of leukemia in occupations with potential electromagnetic field exposure in United States Navy personnel. *Am. J. Epidemiol.* 132, 293–303.
- Goldsmith J.R.* (1995) Epidemiologic Evidence of Radiofrequency Radiation (Microwave) Effects on Health in Military, Broadcasting, and Occupational Studies. *Int. J. Occup. Environ. Health.* 1, 47–57.
- Grayson J.K., Lyons T.J.* (1996) Brain cancer, flying, and socioeconomic status: a nested case-control study of USAF aircrew. *Aviat Space Environ Med.* 67, 1152–1154.
- Groves F.D.* i in. (2002) Cancer in Korean war navy technicians: mortality survey after 40 years. *Am. J. Epidemiol.* 155, 810–818.
- Haigney D., Westerman S.J.* (2001) Mobile (cellular) phone use and driving: a critical review of research methodology. *Ergonomics* 44(2), 132–43.
- Hamburger S., Logue J.N., Silverman P.M.* (1983) Occupational exposure to non-ionizing radiation and an association with heart disease: An exploratory study. *J. Chron. Dis.* 36, 11, 791–802.
- Hardell L.* i in. (1999) Use of cellular telephones and the risk for brain tumours. A case-control study. *Int. J. Oncol.* 15, 113–116.
- Hardell L.* i in. (2004) Cellular and cordless telephone use and the association with brain tumors in a different age groups. *Arch. Environ. Health.* 59, 132–137.
- Hardell L.* i in. (2006) Pooled analysis of two case-control studies on use of cellular and cordless telephones and the risk for malignant brain tumours diagnosed in 1997-2003. *Int. Arch. Occup. Environ. Health.* 79, 630–9.
- Hardell L., Carlberg M., Hansson Mild K.* (2006) Pooled analysis of two case-control studies on the use of cellular and cordless telephones and the risk of benign brain tumours diagnosed during 1997-2003. *Int. J. Oncol.* 28, 509–18.
- Hardell L.* i in. (2007) Long-term use of cellular phones and brain tumours: increased risk associated with use for > or = 10 years. *Occup. Environ. Med.* 64, 626–32.
- Hayes R.B.* i in. (1990) Occupation and risk for testicular cancer: a case-control study. *Int. J. Epidemiol.* 19, 825–31.
- Hepworth S.J.* i in. (2006) Mobile phone use and risk of glioma in adults: case-control study. *BMJ.* 332, 883–887.

- Hietanen M.* i in. (1997) EEG activity of the human brain during exposure to cellular phones. [W:] Electricity and magnetism in biology and medicine. New York, Kluwer, Academic/Plenum Publisher.
- Hocking B.* (1998) Preliminary report. Symptoms associated with mobile phone use. *Occup. Med.* 48, 357–360.
- Holly E.* i in. (1996) Intraocular melanoma linked to occupations and chemical exposures. *Epidemiology* 7, 55–61.
- Hossmann K.A., Hermann D.M.* (2003) Effects of electromagnetic radiation of mobile phones on the central nervous system. *Bioelectromagnetics* 24, 49–62.
- Hyland G.J.* (2000) Physics and biology of mobile telephony. *Lancet* 356, 1833–1836.
- ICNIRP (1996) Health issues related to the use of hand – held radiotelephones and base transmitters. *Health Phys.* 70, 587.
- Inaba R.* i in. (1992) Effects of whole body microwave exposure on the rat brain contents of biogenic amines. *Eur. Appl. Physiol.* 65, 124–128.
- Inskip P.D.* i in. (2001) Cellular-telephone use and brain tumors. *N. Engl. J. Med.* 344, 79–86.
- Jarupat S.* i in. (2003) Effects of the 1900 MHz electromagnetic field emitted from cellular phone on nocturnal melatonin secretion. *J. Physiol. Anthropol. Appl. Human Sci.* 22, 61–63.
- Johansen C.* i in. (2001) Cellular telephones and cancer- A national cohort study in Denmark. *J. Natl. Cancer Inst.* 93, 203–207.
- Johansen C.* (2004) Electromagnetic fields and health effects-epidemiologic studies of cancer, diseases of the central nervous system and arrhythmia-related heart diseases. *Scand. J. Work Environ. Health.* 30, suppl. 1, 1–80.
- Juutilainen J., de Seze R.* (1998) Biological effects of amplitude-modulated radiofrequency radiation. *Scand. J. Work Environ. Health* Aug. 24(4), 241–3.
- Kiltzing I.* (1995) Low-frequency pulsed electromagnetic fields influence EEG in man. *Phys. Med.* 11, 77–80.
- Kliukiene J., Tynes T., Andersen A.* (2003) Follow-up of radio and telegraph operators with exposure to electromagnetic fields and risk of breast cancer. *Eur. J. Cancer Prevent.* 12, 301–307.
- Kundi M.* i in. (2004) Mobile telephones and cancer-a review of epidemiological evidence. *J. Toxicol. Environ. Health* 7, 351–384.
- Lagorio S.* i in. (1997) Mortality of plastic-ware workers exposed to radiofrequencies. *Bioelectromagnetics* 18, 418–21.
- Lahkola A., Tokola K., Auvinen A.* (2006) Meta-analysis of mobile phone use and intracranial tumors. *Scand. J. Work. Environ. Health.* 32, 171–1707.
- Liu D.S., Astumian R.D., Tsong T.Y.* (1990) Activation of Na and K pumping modes of Na, K-ATPase by an oscillating electric field. *J. Biol. Chem.* 265, 7260–7267.
- Lönn S.* i in. (2004) Mobile phone use and the risk of acoustic neuroma. *Epidemiology.* 15, 653–9.
- Lönn S.* i in. (2005) Long-term mobile phone use and brain tumor risk. *Am. J. Epidemiol.* 161, 526–535.
- Lundgren K.* (1998) GSM phones-no more symptoms than NMT. *Working Life, Research and Development News, Newsletter* 3.
- Mann K.* i in. (1998) Effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on the neuroendocrine system. *Neuroendocrinology* 67, 139–144.

- Morgan R.* i in. (2000) Radiofrequency exposure and mortality from cancer of the brain and lymphatic/hematopoietic systems. *Epidemiology* 11, 118–127.
- Moulder J.E.* i in. (1999) Cell phones and cancer. What is the evidence for a connection? *Radiation Research* 151, 513–531.
- Muhm J.M.* (1992) Mortality investigation of workers in an electromagnetic pulse test program. *J. Occup. Med.* Mar. 34, 287–92.
- Muscat J.M.* i in. (2000) Handheld cellular telephone use and risk of brain cancer. *JAMA* 284, 3001–3007.
- Muscat J.M., Hinsvark M., Malkin M.* (2006) Mobile phones and rates of brain cancer. *Neuroepidemiology* 27, 55–56.
- Oftedal G.* i in. (2000) Symptoms experienced in connection with mobile phone. *Occup. Med.* 50, 4, 237–245.
- Pearce* i in. (1989) Case-control studies of cancer in New Zealand electrical workers. *Int. J. Epidemiol.* 18, 55–59.
- Radon K.* i in. (2001) No effects of pulsed radio frequency electromagnetic fields on melatonin, cortisol, and selected markers of the immune system in man. *Bioelectromagnetic* 22, 280–287.
- Reiser H.P., Dimpfel W., Schober F.J.* (1995) The influence of electromagnetic fields on human brain activity. *Eur. J. Med. Res.* 1, 27–32.
- Repacholi M.H.* (1998) Low level exposure to radiofrequency electromagnetic fields. Health effects and research needs. *Bioelectromagnetics* 19, 1–19.
- Roschke J., Mann K.* (1997) No short-term effects of digital mobile radio telephone on the awake human electroencephalogram. *Bioelectromagnetics* 18, 172–176.
- Rothman K.J.* i in. (1996) Overall mortality of cellular telephone customers. *Epidemiology* 7, 303–305.
- Rothman K.* Epidemiological evidence on health risks of cellular telephones (2000) *Lancet*. 356 (9244), 1837–40.
- Salford L.G.* I in. (2003) Nerve cell damage in mammalian brain after exposure to microwaves from GSM mobile phones. *Environmental Health Perspectives* 111, 881–883.
- Sandstrom M.* i in. (2001) Mobile phone use and subjective symptoms. Comparison of symptoms experienced by users of analogue and digital mobile phones. *Occup. Med.* 51, 1, 25–35.
- Schuz J.* i in. (2006) Cellular phones, cordless phones and the risk of glioma and meningioma [Interphone study group, Germany]. *Am. J. Epidemiol.* 163, 513–520.
- Stang A.* i in. (2001) The possible role of radiofrequency radiation in the development of uveal melanoma. *Epidemiology* 12(1), 1–4.
- Stewart W.* i in. (2000) Mobile phones and health. Independent Expert Group on Mobile Phones, Chilton co. National Radiological Protection Board.
- Szmigielski S.* (1996) Cancer morbidity in subjects occupationally exposed to high frequency (radiofrequency and microwave) electromagnetic radiation. *Sci. Toatl. Environ.* 180, 9–17.
- Szyjkowska A.* i in. (2005) Subiektywne dolegliwości u osób korzystających z telefonów komórkowych – badanie pilotażowe. *Polski Merkurusz Lekarski* 112, 529–533.
- Takebayashi T.* i in. (2006) Mobile phone use and acoustic neuroma risk in Japan. *Occup. Environ. Med.* 63, 802–807.

*Thomas T.* i in. (1987) Brain tumor risk among men with electrical and electronic jobs. A case-control study. *J. Natl. Cancer Inst.* 79, 233–238.

*Thuroczy G.* i in. (1997) Human electrophysiological studies on the influence of RF exposure emitted by GSM cellular phones. [W:] *Electricity and magnetism in biology and medicine.* New York, Kluwer, Academic/Plenum Publisher.

*Tynes T., Andersen A., Langmark F.* (1996) Incidence of breast cancer in Norwegian female radio and telegraph operators. *Cancer Causes Control* 7, 197–204.

*Vangelova K., Deyanov C., Israel M.* (2006) Cardiovascular risk in operators under radiofrequency electromagnetic radiation. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 209, 133–138.

*Violanti J.M., Marshall J.R.* (1996) Cellular phones and traffic accidents: an epidemiological approach. *Accid. Anal. Prev.* 28(2), 265–70.

*Wagner P.* i in. (1998) Human sleep under the influence of pulsed radiofrequency electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics* 19, 199–202.

*Warren H.G.* i in. (2003) Cellular telephone use and risk of intratemporal facial nerve tumor. *Laryngoscope* 113, 663–667.

*Wilén J.* i in. (2004) Electromagnetic field exposure and health among RF plastic sealer operators. *Bioelectromagnetics* 25, 5–15.

ALICJA BORTKIEWICZ

## Health effects of electromagnetic fields interaction – review

### A b s t r a c t

A study of occupational exposure to radio- and microwave EMF reported incidence of breast cancer (in men and women), brain tumours and leukaemia. A significantly higher (3- to 4-fold) risk of acoustic neuroma and 1.2- to 5-fold higher risk of glioma in the ipsilateral location were found in mobile phone users. The highest risk was shown for people using mobile phones for longer than 10 years.