

## **Streszczenie rozprawy doktorskiej w języku polskim**

### **Długoterminowe zmiany reakcji stresowych u szczura jako efekt ekspozycji na pole elektromagnetyczne niskiej częstotliwości (50Hz)**

**Agnieszka Siejka**

W ciągu ostatnich dekad wraz z rozwojem nowoczesnych technologii i uprzemysłowieniem gospodarki znacząco wzrosła ekspozycja na pole elektromagnetyczne ekstremalnie niskich częstotliwości 50 Hz (ELF-EMF). Ciągłe narażenie na ELF-EMF wpływa na funkcjonowanie organizmów żywych, także na zdrowie ludzi. W związku z tym prowadzone są badania w celu identyfikacji zagrożeń wynikających z działania ELF-EMF na organizmy. Ich wyniki są jednak niejednoznaczne, stąd wynika potrzeba dalszej analizy wpływu tego czynnika na organizm.

Pole elektromagnetyczne o ekstremalnie niskiej częstotliwości może być uważane za czynnik stresogenny i może być przyczyną rozwoju zaburzeń związanych ze stresem. Ekspozycja na ten rodzaj stresu środowiskowego aktywuje szerokie spektrum wzajemnie oddziałujących na siebie układów neuronalnych, molekularnych i neurochemicznych, które leżą u podstaw fizjologicznych i behawioralnych odpowiedzi na stres. Główne układy, które regulują tę odpowiedź to układ współczulno-nadnerczowy (SAM) oraz oś podwzgórzowo-przysadkowo-nadnerczowa (HPA). Istnieje szereg badań dokumentujących wpływ ELF-EMF na aktywność osi HPA, natomiast liczba badań dotyczących wpływu ELF-EMF na aktywność układu SAM jest zdecydowanie mniejsza. Biorąc pod uwagę istotną dla prawidłowego funkcjonowania mózgowia rolę układu SAM konieczne jest poszerzenie wiedzy w tym zakresie.

Decydującymi czynnikami wpływającymi na podstawowe procesy zachodzące w organizmach są częstotliwość ELF-EMF, wartość indukcji magnetycznej oraz czas trwania ekspozycji. W zaplanowanych doświadczeniach zdecydowano wykorzystać ELF-EMF o częstotliwości 50 Hz i dwóch wartościach indukcji magnetycznej: 1mT i 7 mT. Porównane zostały również efekty dłuższej ekspozycji (symulacja ekspozycji zawodowej - 8h/d przez 7 dni) z efektami krótszej dobowej ekspozycji (1h/d przez 7 dni). Kluczowe pytanie badawcze, które postawiono to czy zmiany indukowane przez ELF-EMF są trwałe i utrzymują się po zaprzestaniu działania bodźca lub czy są przejściowe i niwelowane z upływem czasu, co sugerowałoby istnienie mechanizmów kompensacyjnych lub adaptacyjnych do tego czynnika stresowego. Dotychczasowe badania dotyczące wpływu ELF-EMF na organizmy żywe pozwalają przypuszczać, że działanie czynnika fizycznego z materią biologiczną ma charakter dwukierunkowej reakcji organizmu (hormozy), w której czynnik, który w dużych dawkach jest szkodliwy, w małych dawkach działa stymulująco, wywołując odpowiedź adaptacyjną. A zatem konsekwencją indukowanych przez ELF-EMF zmian w funkcjonowaniu układu SAM, regulującego odpowiedź organizmu na bodziec stresowy, mogą być zmiany w poziomie neuroprzekaźników, hormonów i w behawioralnej odpowiedzi na inne bodźce stresowe. Przy czym dynamika tej odpowiedzi, zgodnie z założeniami dormezy, będzie uzależniona od dawki pola elektromagnetycznego i dobowego czasu ekspozycji.

W prezentowanych badaniach przeprowadziłam analizę kierunku i dynamiki zmian parametrów aktywności układu SAM wynikających z ekspozycji na pole elektromagnetyczne o ekstremalnie niskiej częstotliwości (50 Hz) i dwóch wartościach indukcji magnetycznej 1mT i 7 mT. Założyłam, że hormetyczna zależność dawka-odpowiedź może wystąpić po początkowym zaburzeniu homeostazy podczas ekspozycji szczurów na ELF-EMF. Następnie kierunek i dynamika zmian aktywności układu SAM w kolejnych miesiącach po ekspozycji będą konsekwencją dawki pola elektromagnetycznego, a także liczby godzin ekspozycji w ciągu dnia. Efekty ekspozycji mogą pojawić się bezpośrednio po jej zakończeniu, ale również mogą rozwijać się dłużej i być widoczne nawet po kilku tygodniach po ekspozycji, stąd zaplanowano obserwację do 3 miesięcy po ekspozycji. Przy

założeniu, że okresowa ekspozycja (jednorazowo przez 7 dni) na ELF-EMF zmienia "punkt nastawczy" (set-point) aktywności układu SAM, przewidywałam, że będzie ona zmieniać hormonalną i behawioralną odpowiedź na kolejne czynniki stresogenne, a dynamika tego procesu oraz kierunek zmian będą zależały od siły tego pola (indukcji magnetycznej) i dobowego czasu ekspozycji. W związku z tym w kolejnym etapie badań zaplanowałam zweryfikowanie wpływu ekspozycji na ELF-EMF o dwóch wartościach indukcji magnetycznej (1mT i 7 mT) i różnym dobowym czasie ekspozycji (1h i 8h) na aktywność układu SAM i zachowanie zwierząt indukowane przez kolejny czynnik stresowy (test otwartego pola).

W celu weryfikacji hipotez dorosłe (3-miesięczne) samce szczurów rasy Wistar eksponowano na działanie ELF-EMF (50 Hz) o wartości indukcji magnetycznej 1 i 7 mT. Zwierzęta eksponowano przez okres 7-dni przez 1h lub 8h na dobę. Zwierzęta kontrolne poddano tej samej procedurze eksperymentalnej, z wyjątkiem ekspozycji na pole elektromagnetyczne. Poziomy noradrenalinę, MHPG, indeksu utylizacyjnego MHPG/NA i adrenalinę w podwzgórzu, miejscu sinawym, nadnerczach i osoczu oznaczano bezpośrednio i 1 miesiąc po ekspozycji w grupie narażonej na ELF-EMF 1mT, a w grupie poddanej działaniu ELF-EMF 7mT dodatkowo 2 i 3miesiące po ekspozycji. Zweryfikowano również zmiany hormonalne i behawioralne w odpowiedzi na kolejny czynnik stresowy (test otwartego pola).

Uzyskane wyniki pozwoliły stwierdzić, że ekspozycja na pole elektromagnetyczne ma, zależny od dawki i liczby godzin ekspozycji w ciągu doby, wpływ na aktywność układu SAM. Przeprowadzone badania nie wykazały znaczących zmian w poziomie analizowanych parametrów u zwierząt eksponowanych na ELF-EMF o wartości indukcji magnetycznej 1 mT. Odpowiedź układów stresu na kolejny czynnik stresowy u zwierząt z tej grupy była osłabiona, co sugeruje adaptację do kolejnych czynników stresowych. Wpływ ekspozycji na ELF-EMF 7 mT na aktywność układu SAM był zdecydowanie większy; widoczny w poziomie wszystkich parametrów i we wszystkich analizowanych strukturach i w osoczu w porównaniu do grupy kontrolnej i w przypadku większości parametrów również w porównaniu do grupy eksponowanej na ELF-EMF 1 mT, co sugeruje wrażliwość układu SAM na ten rodzaj stresora. Większe zmiany odnotowano przy dłuższej dobowej ekspozycji zwierząt, poziomy hormonów stresu były wyższe i efekt był dłużej widoczny. Zaburzenia aktywności układu SAM utrzymywały się przez kilka tygodni i ten okres może być czasem zwiększonej podatności na choroby układu nerwowego. W grupie eksponowanej na pole elektromagnetyczne o intensywności 7 mT stwierdzono również bardziej nasiloną reakcję układu SAM indukowaną ekspozycją na kolejny czynnik stresowy. Uzyskane wyniki sugerują, że ELF-EMF o dużym natężeniu (7 mT) jest w stanie zakłócić funkcjonowanie układu SAM, co skutkuje nasileniem reakcji w odpowiedzi na kolejne zdarzenia stresowe. Ponadto w tej grupie stwierdzono wyższy poziom aktywności lokomotorycznej i więcej zachowań związanych z lękiem. Silne pole elektromagnetyczne (7 mT) może zatem zaburzać odpowiedź stresową i tym samym może być uznane za szkodliwe dla układu nerwowego. Podsumowując, zmiany w aktywności układu SAM wywołane ekspozycją na pole elektromagnetyczne determinują endokrynologiczną i behawioralną odpowiedź organizmu na kolejne czynniki stresowe.

Przeprowadzone badania mają istotne znaczenie dla określenia wpływu pola elektromagnetycznego na odpowiedź stresową. Przyczynią się do wyjaśnienia podstawowych mechanizmów leżących u podstaw dwukierunkowego działania ELF-EMF i pozwolą uzupełnić wiedzę dotyczącą możliwości terapeutycznego wykorzystania pola elektromagnetycznego, a także dostarczyć nowych danych do prawidłowej oceny ryzyka związanego z ekspozycją na ELF-EMF, co ma kluczowe znaczenie dla zdrowia społeczeństwa.

Słowa kluczowe: pola elektromagnetyczne ekstremalnie niskich częstotliwości, stres, układ współczulno-nadnerczowy, behawior, hormona