

Wpływ pola elektromagnetycznego o niskiej częstotliwości (50 Hz) na status oksydacyjny i reakcje stresowe u szczura – efekt hormezy

Angelika Klimek

Streszczenie

Pole elektromagnetyczne o skrajnie niskiej częstotliwości (EMF) jest generowane przez urządzenia elektryczne oraz napowietrzne linie elektroenergetyczne. Wzrastająca liczba antropogenicznych źródeł EMF skłania naukowców do rozważenia jego wpływu na organizmy żywe, w tym na funkcjonowanie układu nerwowego. Dla społeczeństw zurbanizowanych szczególnie ważna jest identyfikacja potencjalnych zagrożeń związanych z EMF i ustalenie bezpiecznych limitów narażenia. Efekty działania EMF są niejednoznaczne (pozytywne lub negatywne), natomiast na pewno nie pozostają obojętne, a analiza dostępnej literatury nie daje odpowiedzi na pytania dotyczące wszystkich potencjalnych skutków zdrowotnych narażenia na ten czynnik środowiskowy. Aktualny stan wiedzy pozwala na postawienie hipotezy, że EMF wykazuje hormezę, tzn. dwukierunkowe działanie uzależnione od wartości indukcji magnetycznej. EMF indukuje wiele modyfikacji procesów wewnątrzkomórkowych, których konsekwencje mogą być w znaczący sposób zaburzać funkcje organizmu. Szczególną uwagę zwraca się na indukowane przez EMF zmiany w równowadze oksydacyjno-antyoksydacyjnej. Ponadto, wiele badań wskazuje, że EMF jest czynnikiem stresowym, który wywołuje reakcje komórek/organizmów charakterystyczne dla ogólnych reakcji na stres.

Założono, że proponowany efekt hormetyczny (dwukierunkowy) działania EMF jest związany z różnym poziomem stresu oksydacyjnego oraz zmianami w aktywacji układów stresu, takich jak oś podwzgórzowo-przysadkowo-nadnerczowa (HPA) i układ nadnerczowy (LC-NA). Hormony stresu, głównie kortykosteron i noradrenalina, mogą modulować funkcjonowanie hipokampu i wpływać na procesy plastyczności w tym obszarze mózgu. Przyjęto, że powtarzana ekspozycja na pole elektromagnetyczne (EMF) prowadzi do ustalenia nowego punktu nastawczego „set-point” dla aktywności układów oksydacyjno-antyoksydacyjnych i układów stresu, przy czym kierunek i dynamika tych zmian zależą od wartości indukcji pola magnetycznego. W rezultacie EMF może modyfikować reakcję organizmu na kolejne czynniki stresogenne i zmieniać podatność na choroby, zwłaszcza te dotyczące układu nerwowego.

Celem badań było 1) określenie czy EMF wykazuje hormezę, tzn. dwukierunkowe działanie uzależnione od wartości indukcji magnetycznej i 2) wyjaśnienie mechanizmu tego zjawiska na modelu zwierzęcym.

W badaniach zweryfikowano cztery szczegółowe hipotezy robocze:

1. U podłoża dwukierunkowego działania EMF leżą zmiany statusu oksydacyjno-antyoksydacyjnego mózgowia (hipoteza I)

2. EMF inicjuje zmiany w odpowiedzi stresowej, których kierunek i nasilenie zależą od siły pola elektromagnetycznego (hipoteza II)
3. EMF trwale modyfikuje status oksydacyjno-antyoksydacyjny i poziom aktywności układów stresu i tym samym zmienia odpowiedź na kolejne czynniki stresogenne (hipoteza III)
4. Zmiany w odpowiedzi stresowej indukowanej przez EMF modulują plastyczność mózgową (hipoteza IV)

W celu weryfikacji hipotezy o hormetycznym działaniu EMF dorosłe szczury rasy Wistar były poddane powtarzanej ekspozycji na EMF (50 Hz) o dwóch wartościach indukcji magnetycznej (1 lub 7 mT). Ekspozycje (1h ekspozycji dziennie przez 7 kolejnych dni) były powtarzane 3-krotnie w 3-tygodniowych odstępach czasu. Oznaczono poziom markerów stresu oksydacyjnego i antyoksydantów w korze przedczołowej, zmiany poziomu hormonów stresu i ekspresji ich receptorów w strukturach i tkankach należących do osi HPA i układu LC-NA i z nimi powiązanych: oś HPA: podwzgórze, przysadka, nadnercza; układ LC-NA: miejsce sinawe, podwzgórze, i nadnercza; a także w osoczu. W hipokampie oznaczono poziomy receptorów glikokortykoidowych (GR) i mineralokortykoidowych (MR), a także receptorów β 2-adrenergicznych (β 2-AR), które odgrywają ważną rolę w modulacji plastyczności mózgowej. Ponadto zweryfikowano hormonalne i behawioralne zmiany u zwierząt ekspozycyjnych na EMF w odpowiedzi na kolejny czynnik stresowy – test otwartego pola i test podwyższonego labiryntu krzyżowego. Wszystkie parametry były analizowane po każdej z 3 powtarzanych ekspozycji na EMF w celu oszacowania kierunku i dynamiki zmian ich poziomu.

Przeprowadzone eksperymenty wykazały, że powtarzana ekspozycja na EMF zmienia status oksydacyjno-antyoksydacyjny w korze przedczołowej szczurów w sposób zależny od wartości indukcji magnetycznej EMF oraz liczby ekspozycji. Poziom markerów stresu oksydacyjnego i całkowitego potencjału antyoksydacyjnego (ang. *total antioxidant capacity*, TAC) u szczurów ekspozycyjnych na EMF o indukcji 1 mT nie różnił się znacząco od wartości kontrolnej. Natomiast ekspozycja na EMF o indukcji 7 mT spowodowała wzrost poziomu stresu oksydacyjnego i ograniczenie obrony antyoksydacyjnej.

Zmiany poziomu hormonów osi HPA i układu LC-NA u szczurów ekspozycyjnych na EMF o indukcji 1 mT były maksymalne po pierwszej ekspozycji na EMF i następnie po kolejnych ekspozycjach obserwowano powrót ich poziomu do wartości kontrolnych. Natomiast, stwierdzono kumulację efektów poszczególnych ekspozycji na EMF o wartości indukcji 7 mT, z każdą kolejną ekspozycją zmiana w poziomie badanych parametrów była coraz bardziej widoczna.

Powtarzana ekspozycja na EMF o indukcji 1 mT wywołała umiarkowaną reakcję stresową, która uruchamia mechanizmy kompensacyjne prowadząc do adaptacji do tego rodzaju stresu. W przeciwieństwie do tego, u zwierząt ekspozycyjnych na EMF o indukcji magnetycznej 7 mT zauważono przesunięcie punktu set-point aktywności układów stresu w

kierunku zwiększonej wrażliwości na ten czynnik stresowy. W rezultacie, przesunięcie punktu nastawczego regulacji endokrynologicznej zmieniło odpowiedź na kolejne bodźce stresowe - test otwartego pola i test podwyższonego labiryntu.

Po raz pierwszy wykazano również wzrost ekspresji MR mRNA w neuronach hipokampu w odpowiedzi na EMF o indukcji 1 mT. Zjawisko to może stanowić endogenną reakcję mającą na celu ochronę mózgu przed potencjalnymi uszkodzeniami. W tej grupie zwierząt stwierdzono również nieistotne statystycznie obniżenie mRNA receptora β 2-AR w hipokampie. Jednakże w grupie eksponowanej na EMF 7 mT zaobserwowano zdecydowane obniżenie poziomu β 2-AR po każdej kolejnej ekspozycji. Kluczowa rola receptora β 2-AR w indukowaniu plastyczności mózgowej wskazuje, że ekspozycja na pole elektromagnetyczne o indukcji 7 mT hamuje procesy neuroplastyczne w hipokampie.

Przeprowadzone badania wykazały dwukierunkowy wpływ EMF zależny od wartości indukcji magnetycznej w odniesieniu do statusu oksydacyjnego-antyoksydacyjnego, odpowiedzi na stres, jak również modulowania plastyczności mózgowej. Ponadto stwierdzono, że skutki oddziaływania EMF mogą być trwałe i wpływać na reakcję organizmu na kolejne wydarzenia stresowe. Z jednej strony, słabe EMF (1 mT) może pozytywnie wpływać na wzmacnianie plastyczności mózgu, co sprzyja neuroadaptacji do kolejnych czynników stresowych. Z drugiej strony, silne EMF (7 mT) może prowadzić do zakłócenia odpowiedzi na stres, zwiększając wrażliwość na kolejne stresujące bodźce i potencjalnie zwiększać ryzyko zaburzeń związanych ze stresem. Wyniki eksperymentów po raz pierwszy dokumentują istnienie "hormetycznego mechanizmu działania" EMF (50 Hz) u kręgowców, co zostało zweryfikowane na modelu szczura. Wyniki te mogą przyczynić się do lepszego zrozumienia fundamentalnych mechanizmów dwukierunkowej reakcji na EMF, dostarczając nowych danych dotyczących potencjalnych właściwości terapeutycznych pola elektromagnetycznego, jak również otwierają nowe perspektywy w ocenie ryzyka związanego z ekspozycją na EMF.

15.03.2024 Angelika Klimek