

Wieloelektrodowe obrazowanie aktywności mózgu

To, że zjawiska psychiczne są opisywane słowami z innego zakresu znaczeniowego niż biologiczne uznaje się na ogół za stan przejściowy, który ulegnie naturalnej unifikacji pojęciowej z chwilą, gdy uda się sformułować teorię opisującą wynikanie dodanych (emergentnych) własności mentalnych ze skomplikowanej dynamiki sieci złożonej z aktywności pojedynczych neuronów. Zadanie takie jest jednak niezwykle skomplikowane gdyż aktywność mózgu zachodzi jednocześnie na wielu poziomach organizacji w czasie i w przestrzeni. Każda komórka oddziałuje monosynaptycznie na tysiące innych, a poprzez pięć do sześciu kolejnych synaps - na cały mózg. Ten globalny efekt zachodzi przeciętnie w czasie krótszym od jednej sekundy. Jednocześnie wszystkie neurony otrzymują informacje zwrotne z całego układu gdyż struktura pętli jest podstawową zasadą organizacji sieci neuronalnej, na wszystkich poziomach.

Aby zrozumieć złożony sygnał elektryczny w określonej strukturze mózgu należy zidentyfikować wkład pochodzący od aktywności wielu grup neuronów w pobliżu elektrody rejestrującej. Na przykład poruszenie wąsa na pyszczku szczura aktywuje synchronicznie wiele mózgowych komórek układu czuciowego. Rysunek 1 przedstawia chwilowe pole elektryczne zarejestrowane przez wiele elektrod umieszczonych na różnych głębokościach kory czuciowej (tzw. potencjał wywołany; ang. *evoked potential, EP*). W trakcie pobudzenia, w okolicy zakończeń synaptycznych aksonów komórek wzgórza doprowadzających sygnał do kory, następuje zwiększenie przepuszczalności błony komórek postsynaptycznych i powstanie dokomórkowego prądu jonów dodatnich wywołwanego ujemnym potencjałem wnętrza neuronów. Z powodu ubytku jonów dodatnich w przestrzeni zewnątrzkomórkowej (tzw. 'zlew prądu') elektroda umieszczona w okolicach pobudzonych synaps rejestruje wtedy zmniejszenie potencjału (ujemną falę o latencji ok. 10 ms, na lewym wykresie Rys. 1), a elektroda w okolicy dendrytów szczytowych wielu równolegle ułożonych komórek piramidalnych, jego względne zwiększenie ('źródło' prądu; Wróbel 1997). Analiza potencjałów wywołanych na różnej głębokości kory metodą gęstości źródłowej prądu (CSD, ang. *current source density*) pozwala określić tę warstwę, do której sygnał pobudzający doszedł w pierwszej kolejności (Rys. 1).

W miarę przekazywania pobudzenia przez kolejne grupy neuronów danej struktury rejestrowany potencjał zmienia się. Rysunek 2 przedstawia pobudzenie dochodzące do okolicy przekaźnikowej wzgórza czuciowego u szczura po stymulacji pęczka kilku zlepionych wibrys. Potencjały wywołane we wzgórzu zależą od aktywności neuronalnej wielu sąsiadujących ze sobą jąder. Znak odbieranej w danej chwili fali zależy od tego, w którym z nich jest aktualnie najwięcej pobudzanych synaps i jak daleko od tej grupy komórek znajduje się elektroda rejestrująca. W zależności od zmieniającej się częstotliwości iglic dochodzących do określonego miejsca wzgórza lub okolic sąsiednich, wokół pobudzanych komórek różnych jąder płyną mniejsze lub większe prądy. Im bardziej synchroniczna jest aktywność wejściowa danej grupy i im więcej komórek jest w niej pobudzonych jednocześnie, tym większą falę potencjału rejestrują elektrody pomiarowe. Kształt potencjału wywołanego z jednej elektrody nie pozwala więc określić źródeł EP rejestrowanych w złożonej morfologicznie strukturze.

W celu zlokalizowania kolejnych źródeł pobudzenia powstających przy kolejnych etapach analizy informacji przez sieć neuronalną danej struktury trzeba zarejestrować potencjały wywołane w wielu punktach i zanalizować je metodą przestrzennej gęstości źródłowej prądu (Łęski i in. 2007). Rysunek 2 przedstawia powstawanie kolejnych zlewów (centrów aktywności neuronalnej) w jądrach czuciowych wzgórza w różnym czasie po stymulacji pęczka wibrys. Tak dokładna informacja funkcjonalna w połączeniu z badaniami anatomicznymi pozwala zbudować model przetwarzania informacji w danej strukturze, a więc, w konsekwencji, zrozumieć jej działanie.

Łęski S., Wójcik D.K., Tereszczuk J., Świejkowski D.A., Kublik E., Wróbel A. (2007) Inverse current source density method in 3D Reconstruction fidelity boundary effects and influence of distant sources. *Neuroinformatics* 5:207-222.

Wróbel A. (1997) Zbiorcza aktywność elektryczna mózgu. W: A. Wróbel, S. Kasicki (red). "Zobaczyć myśl. Badania czynności mózgu". Kosmos 46: 317-326.

RYSUNKI

Rys. 1. Z lewej strony przedstawiono potencjały wywołane poruszeniem wibrysy w korze czuciowej szczura na 21 głębokościach poczynając od powierzchni. Kolorami oznaczono gęstość źródłową prądu wyliczoną metodą CSD. Prawa część rysunku przedstawia morfologię typowych komórek gwiaździstych warstwy IV oraz komórek piramidalnych warstw powierzchniowych (II-III) i głębokich (V-VI). Około dziesiątej milisekundy po stymulacji biegnące ze wzgórza włókna pobudzają (przede wszystkim) dendryty komórek gwiaździstych i podstawne dendryty piramidalnych komórek warstw powierzchniowych tworząc na tej głębokości zlew prądu (fala ujemna EP oraz czerwony obszar CSD). Dendryty szczytowe wszystkich komórek piramidalnych kory skierowane są w górę tworząc dipole elektryczne ze źródłami w warstwach powierzchniowych (dodatnie fale EP i niebieskie obszary CSD). Strzałki pokazują kierunki przepływu prądów powstałych po aktywacji komórek kory falą pobudzeniową ze wzgórza.

Rys. 2. Aktywność wywołana w tej samej części wzgórza szczura w czasie: 3,5; 10 i 15 ms po stymulacji pęczka wibrysy (zlewy prądu czerwone, źródła - niebieskie). Aktywność neuronalna dociera najpierw do przekaźnikowych jąder wzgórza czuciowego (VPm, POm) a następnie, w 10 ms dochodzi do jądra zawierającego neurony hamowania zwrotnego (Rt). Hipp – hipokamp, ZI – warstwa niepewna, ic – torebka wewnętrzna.



