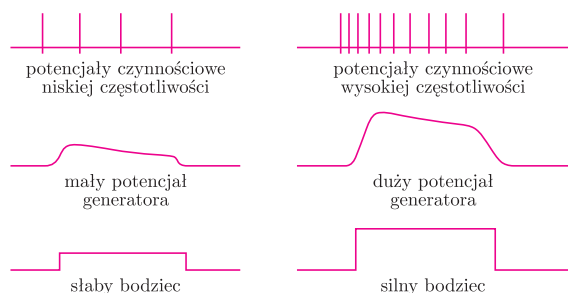


### „Jak to czujesz?”

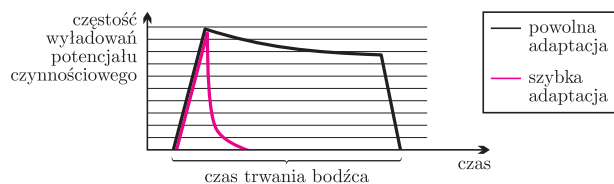
Jak myśli mózg? To pytanie póki co pozostaje jeszcze bez odpowiedzi. Idąc w ślady noblisty, Francisca Cricka, zastąpimy je pytaniem o to, jak mózg przetwarza informacje o świecie zewnętrznym. Na ten temat już trochę wiadomo, akurat tyle, aby wyobrazić sobie, jak działa sieć neuronowa zamknięta w naszych głowach. Poniżej przedstawię kilka przykładów takiej obróbki.

Informacja z zewnątrz odbierana jest przez receptory, czyli komórki zdolne do reagowania na światło, nacisk, drgania, zmiany składu chemicznego otoczenia itd. Receptor pobudzony przez właściwy bodziec zaczyna generować powtarzające się potencjały czynnościowe odbierane przez kolejne komórki nerwowe (o powstaniu potencjału czynnościowego pisaliśmy w *Delcie* 1/2005). Intensywność bodźca jest zazwyczaj zakodowana w częstotliwości generowania potencjałów czynnościowych.



Czasami, jak w przypadku receptorów temperatury, zależność jest liniowa, częściej jednak bywa logarytmiczna. Dzięki temu możemy rozróżnić bardzo szeroki zakres natężenia sygnału. W niektórych przypadkach receptory mają znacznie prostszą budowę i reagują jedynie na przekroczenie określonej wartości progowej bodźca. Dopiero grupa kilku receptorów o różnych wartościach progowych pozwala na odebranie dokładniejszej informacji o natężeniu sygnału.

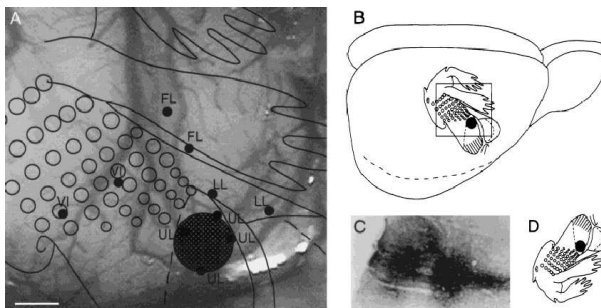
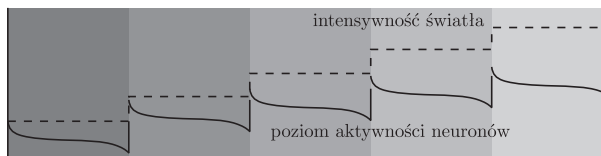
Jeśli bodziec się nie zmienia, receptory adaptują się i pobudzenie ustaje. Przykładem wykorzystania tego zjawiska są kombinacje trzech receptorów wrażliwych na nacisk na skórę. Te, które wolno się adaptują, przesyłają informację o sile nacisku przez cały czas jego trwania. Szybciej adaptujące się wysyłają sygnał tylko wtedy, gdy nacisk zmienia się w czasie. Kolejne adaptują się jeszcze szybciej i reagują tylko na zmianę przyspieszenia bodźca.



To, gdzie dokładnie w ciele został odebrany bodziec, jest zakodowane po prostu tym, które komórki nerwowe zostają pobudzone przez receptory. Neurony na kolejnych piętrach dróg czuciowych mają coraz bardziej skomplikowane pola recepcyjne, czyli obszary, z których zbierają informację. Przykładem komplikacji pola recepcyjnego jest powszechne w drogach zmysłowych zjawisko hamowania obocznego. Polega ono na tym, że neuron jest pobudzany przez receptory znajdujące się w środku pola, a hamowany przez te z jego obrzeży, co zwiększa kontrast na granicy między bodźcami i rozdzielczość przestrzenną.

Połączenia pomiędzy neuronami są czasem dość złożone i umożliwiają integrację skomplikowanej informacji. Pola recepcyjne w kolejnych warstwach neuronów, tzw. mapy

projekcyjne, odpowiadają kolejnym piętrům przetwarzania informacji przez sieć neuronową. Mapy całościowe są homeomorficznym odwzorowaniem powierzchni zmysłowej. Proporcje reprezentacji poszczególnych jej fragmentów mogą być znacznie zaburzone – np. w mapie czuciowej nieproporcjonalnie dużo miejsca zajmują palce rąk czy wargi, gdyż tam nasza wrażliwość na dotyk jest największa.



Przykładowa mapa recepcyjna w pierwszorzędowej korze czuciowej szczura

Innym rodzajem map są mapy nieciągłe, podzielone na domeny będące homeomorficznymi odwzorowaniami jakiegoś fragmentu powierzchni recepcyjnej, jednak blisko leżące domeny mogą odpowiadać odległym fragmentom powierzchni. Odpowiada to często funkcjom wykonywanym przez mózg, który musi np. skoordynować ruch rąk i nóg podczas marszu, gdy tymczasem pewne fragmenty ciała znajdujące się pomiędzy rękami i nogami nie uczestniczą w tym aktywnie.

Najwięcej informacji odbieramy za pomocą wzroku.

Siatkówka oka zawiera około  $10^8$  fotoreceptorów oraz kilka warstw komórek nerwowych wstępnie obrabiających informację.

Nerw wzrokowy zawiera już tylko około  $10^6$  aksonów przesyłających sygnał do mózgu, co świadczy o tym, że stopień obróbki informacji przez samą siatkówkę już jest znaczny. W istocie zachodzą tu procesy hamowania obocznego wydobywające krawędzie i wzmacniające kontrasty, procesy sumowania sygnału z wielu receptorów, zwiększające czułość oka, procesy hamowania czopków wrażliwych na różne długości fal, pozwalające rozróżniać kolory, które są kombinacją barw podstawowych.

Dalej sygnał przekazywany jest do kory mózgowej, gdzie zachodzą bardziej złożone procesy obróbki danych. Jednym z nich jest ten, który umożliwia nam widzenie stereoskopowe. Ponieważ źrenice są od siebie odległe o około 6 cm, to obiekty są przez nie widziane pod nieco innym kątem, co jest wykorzystane do pomiaru odległości od widzianego obiektu. Informacje z odpowiadających sobie obszarów pola widzenia obu oczu trafiają w jedno miejsce mapy recepcyjnej w korze mózgowej. Tam znajdują się neurony, których pola recepcyjne mają kształt beleczek o różnych kątach nachylenia oraz neurony zdolne do pomiaru odległości pomiędzy neuronami pobudzonymi przez podobne linie zauważone przez lewe i prawe oko.

To tylko kilka spośród wielu poznanych mechanizmów obróbki sygnałów wejściowych w naszym mózgu. Nawet opis ich wszystkich zostawiłby nas ledwie na początku drogi do zrozumienia, jak działa mózg, co to jest pamięć, uwaga czy świadomość. Neurofizjologia rozwija się dziś bardzo szybko i być może już za parę lat przynajmniej część z tych zagadnień zostanie rozwikłana.

Paweł PORĘBA

Współpraca: Anna LORENC, Jarek BRYK