

ZARAŻLIWE EMOCJE

Karolina Rokosz, Ewelina Knapska (Warszawa)



Biblijny dobry Samarytanin ocalił nieznanego i zadbał o niego, nie licząc na nagrodę. Dzięki temu, że wielu ludzi postępuje podobnie, nasz świat wydaje się w miarę znośnym miejscem do życia. Zjawisko empatii, definiowane jako zdolność do doświadczenia i rozumienia uczuć i myśli innych, często rozumiemy jako współczucie lub pomoc innym. Wiele osób uważa nawet, że jest to podstawa moralnego sposobu postępowania, charakterystyczna wyłącznie dla gatunku ludzkiego. Jednak, jeśli zastanowimy się nad mechanizmem powstawania empatii, okaże się, że jej ewolucyjnych korzeni możemy dopatrzeć się u organizmów znacznie prostszych niż człowiek (Decety i Lamm, 2006).

Empatia – zjawisko nie tylko ludzkie

U ludzi empatia jest złożonym zjawiskiem społecznym, w którym psychologowie wyróżniają komponenty nie tylko emocjonalne, ale i poznawcze. Ale i w świecie zwierząt możemy zaobserwować pewne przejawy empatii, przynajmniej na poziomie emocjonalnym. Można znaleźć szereg przykładów oddziaływania emocji jednego osobnika na zachowanie innych. Na przykład, w klasycznym już eksperymencie wykonanym w 1964 roku przez Massermana i współpracowników małpy nauczono, że w zamian za pociąganie łańcuchów będą otrzymywać pokarm. Zwierzęta bardzo szybko pojęły, że jeden z łańcuchów dostarcza dwa razy więcej pokarmu od innych. Wtedy naukowcy zmienili zasady. Kiedy jedna małpa pociągnęła za łańcuch związany z większą nagrodą, inna otrzymywała bolesny impuls elektryczny. Po tej zmianie większość zwierząt zrezygnowała z pociągania za łańcuch przynoszący największe zyski i zadowoliła się mniejszą nagrodą, która nie wiązała się z krzywdą innych zwierząt. Co ciekawe, część małp w ogóle przestała pociągać za łańcuchy, najprawdopodobniej ze strachu przed sprawieniem bólu swoim pobratymcom. Innym przykładem, pokazującym, że również myszy potrafią odczytywać przejawy bólu swoich kompanów, są wyniki doświadczeń Langforda i współpracowników wykonane w 2006 roku. W doświadczeniach tych hodowano myszy w klatkach parami. Następnie myszom – albo jednej z pary, albo obu – podawano zastrzyk z substancji wywołującej ból brzucha. Zaobserwowano, że intensywność zachowań związanych z reakcją na ból była zawsze

większa, jeśli ból dotyczył obu myszy. Ponadto myszy, które obserwowały cierpiącą towarzyszkę, były szczególnie wyczulone na nieprzyjemne bodźce. Wyniki te sugerują, że obserwowanie reakcji na ból innego zwierzęcia zmienia próg bólu u obserwatora.

Po co zwierzętom empatia?

Wiele gatunków zwierząt, podobnie jak człowiek, żyje w grupach społecznych. Przebywanie w gromadzie innych osobników tego samego gatunku daje szereg korzyści, między innymi, pozwala czerpać informacje o otaczającym świecie nie tylko przez bezpośrednią z nim konfrontację, ale również przez obserwację zachowania innych zwierząt. Niejednokrotnie zdobywanie informacji, w szczególności o grożącym niebezpieczeństwie, od pobratymców jest znacznie mniej ryzykowne niż bezpośredni kontakt z zagrożeniem. Na przykład ptak lub gryzoń, który dostrzeże drapieżnika lub zostanie przez niego zaatakowany, wydaje okrzyki ostrzegające inne osobniki przed niebezpieczeństwem. Życie społeczne pociąga za sobą również konieczność odczytywania i interpretowania emocji innych osobników w celu zmniejszenia konfliktów wewnątrz grupy. Bardzo przekonującym przykładem takiego odczytywania emocji jest zjawisko „zarażania” emocjonalnego opisane przez Hatfielda i współpracowników w 1994 roku. Było ono wielokrotnie obserwowane, na przykład, gdy w dużym zgromadzeniu ludzi ktoś podał informację (fałszywą) o zagrożeniu, co wywoływało atak paniki. Podobne zjawisko udzielających się emocji (tym razem pozytywnych) można obserwować u kibiców podczas imprez sportowych czy u widzów turlającej się ze śmiechu podczas oglądania zabawnego filmu czy przedstawienia. Przypuszcza się, że wyżej wymienione czynniki doprowadziły do powstania wyspecjalizowanych mechanizmów mózgowych pozwalających na percepcję i interpretację emocji przekazywanych społecznie.

Badania nad mechanizmami mózgowymi odpowiedzialnymi za emocje przekazywane społecznie

Zdolność do przejmowania stanów emocjonalnych innego osobnika, czyli zjawisko zarażania emocjonalnego, wydaje się jednym z najprostszych przejawów empatii. Neuroobrazowanie ludzkiego mózgu dostarczyło

informacji o szeregu struktur mózgowych aktywowanych podczas zachowań empatycznych. Jednak badania te są korelacyjne ze swej natury, mają ograniczoną rozdzielczość, a metody kontroli zachowania badanych są ze względu na podmiot badań dość ograniczone.

Jako mechanizm wyjaśniający zjawisko społecznego przekazywania emocji proponowano **neurony lustrzane** – komórki nerwowe aktywowane zarówno w przypadku wykonywania jakiejś czynności, jak i w trakcie obserwowania innych podczas jej wykonywania. Naukowcy z grupy kierowanej przez Giacomo Rizzolattiego zidentyfikowali w 2004 roku specyficzne neurony w korze mózgowej odpowiedzialne za odzwierciedlanie ruchu dłoni u ludzi i naczelnych. Ta elegancka hipoteza zaowocowała szeregiem badań prowadzonych u różnych gatunków zwierząt. Jednak dotąd nikt nie udowodnił, że neurony lustrzane (obecne w korze mózgowej) są rzeczywiście odpowiedzialne za współodczuwanie bólu lub emocje przekazywane społecznie. Prawdopodobnie mechanizm współodczuwania jest znacznie bardziej złożony: w odbieranie bodźców, ich przetwarzanie i reagowanie na nie zaangażowane są skomplikowane obwody neuronalne obejmujące wiele struktur mózgowych – od tych ewolucyjnie najmlodszych (jak kora mózgowa) po najpierwotniejsze.

Taką starą ewolucyjnie strukturą mózgu odpowiedzialną za emocje jest **ciało migdałowe**. Jest to część mózgu, która odpowiada, między innymi za wywołaną zagrożeniem reakcję „walcz lub uciekaj”. Reakcja ta powstaje w ułamkach sekund i jest mechanizmem chroniącym życie i zwiększającym prawdopodobieństwo przetrwania zwierzęcia. Dziś naukowcy rozszerzają pojęcie reakcji walki lub ucieczki o „zamieranie” (ang. *freeze*) i omdlewanie (ang. *faint*) w sytuacji zagrożenia. Ciało migdałowe przetwarza wszystkie sygnały pochodzące ze zmysłów, wykrywając bodźce, które mogą powodować niebezpieczeństwo. W obliczu takiej sytuacji pobudzony przez ciało migdałowe współczulny układ nerwowy stymuluje uwalnianie noradrenaliny do mózgu i adrenaliny do całego organizmu. Wyrzut tych substancji powoduje, między innymi, wzrost napięcia mięśni, ciśnienia krwi i przyspieszenie akcji serca. W konsekwencji metabolizm wzrasta (zwiększa się efektywność organizmu), źrenice rozszerzają się (polepsza się widzenie), procesy trawienne zwalniają, a cała energia koncentruje się wokół walki lub ucieczki. Pobudzenie ciała migdałowego może być wywołane zarówno bezpośrednim zagrożeniem, jak i środkami pośrednimi. Do niedawna badano przede wszystkim podłoże mózgowe reakcji na zagrożenie bezpośrednie. Ponieważ badanie złożonych obwodów

neuronalnych z wystarczającą rozdzielczością i możliwością specyficznych manipulacji nie jest możliwe u ludzi czy naczelnych, badania takie prowadzi się przede wszystkim na gryzoniach, głównie szczurach i myszach.

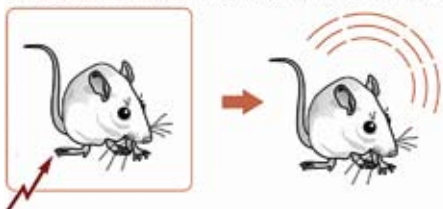
Powszechnie wykorzystywanym modelem doświadczalnym **zagrożenia bezpośredniego** jest warunkowanie reakcji strachu. W modelu tym zwierzę przenoszone jest do klatki eksperymentalnej, gdzie po kilku minutach rażone jest w łapy krótkim nieprzyjemnym impulsem elektrycznym. Skojarzenie wyglądu nowego miejsca z nieprzyjemnym bodźcem wywołuje reakcję strachu nawet wtedy, gdy kolejnym pobytom w klatce doświadczalnej nie towarzyszy już nieprzyjemny bodziec. W małej klatce doświadczalnej, z której mysz czy szczur nie może uciec, wyuczona reakcja strachu polega na całkowitym zniechęceniu (ang. *freezing*) i wzmożonej wokalizacji w paśmie ultradźwięków o częstotliwości 22 kHz. Badania tego typu udowodniły, że zwierzę pozbawione ciała migdałowego nie przejawia reakcji strachu. Przyniosły także wiele informacji o funkcji poszczególnych części (jąder) tej struktury w uczeniu się i ekspresji wyuczonego strachu.

Wykorzystujące gryzonie laboratoryjne modele strachu przekazywanego społecznie, które pojawiły się w ostatnich latach, umożliwiają badanie mózgowych mechanizmów empatii z rozdzielczością do pojedynczych komórek. Pozwala to na prowadzenie prac badawczych, których celem jest wyjaśnienie mózgowych mechanizmów takich zjawisk. Jakie struktury mózgu czy obwody neuronalne są zaangażowane w odbiór informacji o zagrożeniu? Jak mózg radzi sobie z szybkim jej przetworzeniem na efektywne zachowania zwiększające szansę przetrwania? Czego dotyczy przekazywana informacja? Czy jest ona niespecyficznym alarmem, wywołującym u odbiorcy jedynie uogólnione pobudzenie emocjonalne, czy też rodzajem zakodowanego sygnału, ściśle określającego cechy grożącego niebezpieczeństwa? Modele strachu przekazywanego społecznie pozwalają na szukanie odpowiedzi na postawione wyżej pytania.

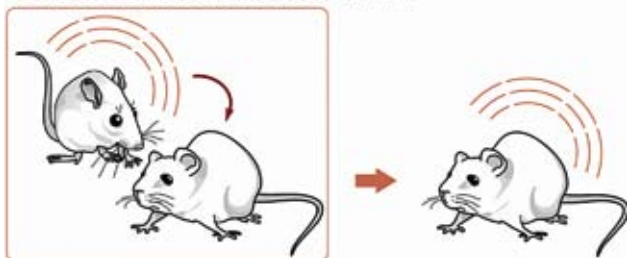
Przed kilkoma laty w Instytucie Nenckiego opracowaliśmy model doświadczalny pozwalający na badanie efektów społecznie przekazanego strachu, czyli pośredniej informacji o zagrożeniu. Model ten przypomina nieco polegające na prezentacji nacechowanych emocjonalnie twarzy procedury stosowane w badaniach społecznych reakcji emocjonalnych u ludzi. Badana jest w nim odpowiedź na emocje już uwarunkowanego osobnika. Szczury hodowane są w parach, a w czasie doświadczenia jeden z osobników, którego można

nazwać demonstratorem lub nadawcą informacji, poddawany jest warunkowaniu reakcji strachu, czyli silnej stymulacji emocjonalnej. Następnie powraca do klatki domowej, w której dochodzi do interakcji społecznej z partnerem, którego można nazwać obserwatorem bądź odbiorcą informacji. W grupie kontrolnej demonstratorzy przebywają w klatce doświadczalnej, ale nie są poddawani warunkowaniu strachu. Odkryliśmy, że **strach przekazywany społecznie** powoduje szereg zmian zarówno w zachowaniu, jak i aktywacji mózgu obserwatorów.

BEZPOŚREDNIA STYMULACJA EMOCJONALNA



POŚREDNIA STYMULACJA EMOCJONALNA



Ryc. 1. Bezpośrednia i pośrednia stymulacja emocjonalna. Bezpośrednia stymulacja emocjonalna ma miejsce, na przykład, w trakcie warunkowania reakcji strachu, kiedy zwierzę poddane jest bezpośredniemu działaniu nieprzyjemnego, zagrażającego bodźca, takiego jak rażenie w łapy krótkim impulsem elektrycznym. Z pośrednią stymulacją emocjonalną mamy do czynienia w modelu społecznie przekazywanego strachu, w którym badane zwierzę konfrontowane jest z partnerem uprzednio poddanym bezpośredniej stymulacji emocjonalnej.

Podczas interakcji obu szczurów obserwowaliśmy ich zachowanie. Okazało się, że kontakt z pobudzonym emocjonalnie szczurem powodował silne wzbudzenie ruchowe u obserwatorów, jak również wyzwalał szereg zachowań eksploracyjnych, takich jak obwąchiwanie partnera, czyszczenie jego sierści czy stójki (zachowania mające na celu zdobycie informacji). Ponadto zmierzaliśmy poziom pobudzenia emocjonalnego szczurów-odbiorców. Wykorzystaliśmy w tym celu reakcję wzdrygnięcia. Jest to odruch obronny, obserwowany również u ludzi, wywołany przez gwałtowny i intensywny bodziec, na przykład słuchowy. W odpowiedzi na taki bodziec mięśnie gwałtownie kurczą się, w wyniku czego zwierzę wzdryga się (lekko podskakuje). Siła wzdrygnięcia zmienia się zależnie od stopnia pobudzenia emocjonalnego zwierzęcia. Obserwacje i pomiary reakcji odbiorców wykazały, że towarzystwo zdenerwowanego towarzysza powoduje silne pobudzenie emocjonalne odbiorcy.

Zbadaliśmy także uczenie się i pamięć szczurów-odbiorców. Badania te pokazały, że odebranie pobudzenia emocjonalnego od towarzysza sprzyja uczeniu się reakcji związanych ze strachem – szczury te szybciej uczyły się i lepiej pamiętały zarówno w teście aktywnego unikania (gdzie zwierzęta uczą się uciekać od bodźca sygnalizującego niebezpieczeństwo, a następnie unikać tego bodźca), jak i podczas warunkowania strachu. Wyniki te sugerują, że pobudzenie emocjonalne odebrane od partnera pomaga zwierzętom przystosować się do wymagań środowiska prawdopodobnie zwiększając ich szanse na przeżycie.

Kolejnym krokiem w poznawaniu mechanizmów badanego zjawiska było sprawdzenie, co dzieje się z ciałem migdałowatym szczurów-odbiorców przetwarzających informacje o zagrożeniu. W tym celu posłużyliśmy się technikami pozwalającymi określić poziom ekspresji białka c-Fos, które jest znacznikiem aktywowanych neuronów. W prawie wszystkich częściach ciała migdałowatego, nazywanych jądrami, zaobserwowano podobną, wysoką aktywność komórek nerwowych zarówno u nadawców, jak i u odbiorców przekazu emocjonalnego. Pośrednia stymulacja emocjonalna okazała się zatem równie skuteczna jak bezpośrednia, choć przecież obserwator nie przeżył stresu przeniesienia do nowego miejsca, nie mówiąc już o ekspozycji na nieprzyjemne bodźce.

Zdumiewający był natomiast obraz **aktywacji neuronów jądra środkowego ciała migdałowatego**: była ona mianowicie wyższa u szczurów-obserwatorów niż u demonstratorów. Oznacza to, że to pośrednia, a nie bezpośrednia stymulacja emocjonalna miała najsilniejszy wpływ na jądro środkowe. Pomimo licznych badań funkcja tej części ciała migdałowatego jest wciąż mało poznana. Przez wiele lat skupiano się na określeniu jego roli w procesach warunkowania strachu. Stwierdzono, że jądro środkowe stanowi „bramę wyjściową” z ciała migdałowatego, przez którą informacja o zagrożeniu jest przekazywana do innych struktur mózgu odpowiedzialnych za regulację wszelkich autonomicznych, wydzielniczych i behawioralnych składowych warunkowej reakcji strachu. Z ostatnich badań wynika jednak, że w kontrolowaniu różnorodnych mechanizmów tej reakcji największe znaczenie mają włókna nerwowe przebiegające niejako tranzytem przez jądro środkowe, a nie komórki nerwowe budujące tę strukturę. Interpretację uzyskanych wyników komplikuje również ogromna złożoność jądra środkowego – składa się ono z różnych typów komórek nerwowych, połączonych w obwody neuronalne mogące odgrywać różne role w kontroli zachowania. Wcześniejsze prace sugerują jednak zaangażowanie tej struktury w procesy związane

z uwagą i pobudzeniem, a badania nad ekspresją białka c-Fos pokazują aktywację neuronów w tej strukturze w sytuacjach, w których zwierzę motywowane jest pozytywnie (na przykład dąży do zdobycia pokarmu) lub, w mniejszym stopniu, gdy poznaje nowe środowisko.

W modelu opisywanym powyżej szczury-obszernicy nie byli bezpośrednio konfrontowani z niebezpieczeństwem. Żeby porównać aktywację ciała migdałowatego w sytuacji kontaktu z pobudzonym emocjonalnie partnerem (model społecznego przekazywania strachu) i bezpośredniej obserwacji partnera poddawanego warunkowaniu strachu, opracowaliśmy model, w którym demonstrator i obserwator znajdują się w jednej klatce rozdzielonej podziurkowaną, cienką, przezroczystą przegrodą. Obserwowaliśmy silną reakcję zamierania (charakterystyczną dla wysokiego poziomu strachu) oraz podwyższony poziom ekspresji białka c-Fos w jądrze bocznym, ale nie w jądrze środkowym obserwatorów. Wyniki te pokazują, że w przypadku konfrontacji z sytuacją, w której obserwator ma – inaczej niż w modelach społecznego przekazywania strachu – możliwość bezpośredniej obserwacji warunkowania partnera, w przeciwieństwie do modelu społecznego przekazywania strachu, pojawiają się pasywne reakcje obronne (reakcja zamierania), a jądro środkowe nie jest aktywowane. Podobne wyniki behawioralne i dotyczące roli jądra bocznego ciała migdałowatego otrzymali w 2010 roku Jeon i współpracownicy.

Podsumowując wyniki wielu badań nad ekspresją białka c-Fos w jądrze środkowym ciała migdałowatego

przeprowadzonych w naszym oraz innych laboratoriach, można stwierdzić, że wyraźny wzrost aktywacji tej struktury następuje w przypadku zachowań motywowanych pozytywnie oraz emocji przekazywanych społecznie. Pobudzenie jądra środkowego może też, choć w mniejszym stopniu, powodować ekspozycja na nowe środowisko. Można zatem postawić hipotezę, że podczas bezpośredniego zagrożenia aktywność jądra środkowego zostaje zahamowana. Obecnie trwają prace mające na celu wyjaśnienie funkcjonalnego znaczenia obwodów neuronalnych aktywowanych w jądrze środkowym ciała migdałowatego przez strach przekazywany społecznie.

Badania nad mózgowym podłożem społecznego przekazywania emocji pozwalają nam lepiej zrozumieć mechanizmy rządzące tym zjawiskiem. Proste formy empatii, takie jak zarażanie emocjonalne, stanowią prawdopodobnie ewolucyjne podłoże bardziej złożonych zachowań empatycznych obserwowanych u ludzi, a poznanie mechanizmów je kontrolujących może pomóc zrozumieć ludzkie, zaawansowane przejawy empatii. Zaburzenia empatii u ludzi prowadzą do ciężkiego upośledzenia funkcjonowania w grupie społecznej. Stąd rosnące zainteresowanie mechanizmami rządzącymi przetwarzaniem emocji społecznych przez mózg. Ponieważ zaburzenia reakcji empatycznych towarzyszą wielu chorobom psychicznym, na przykład można je zaobserwować u osób o cechach autystycznych, schizofreników, czy psychopatów, badania podobne do tu opisanych mogą przyczynić się do wyjaśnienia podłoża zaburzeń emocjonalnych obserwowanych w tych chorobach.

Karolina Rokosz, Ewelina Knapska. Laboratorium Neurobiologii Emocji, Zakład Neurofizjologii, Instytut Biologii Doświadczalnej PAN im. M. Nenckiego w Warszawie. E-mail: k.rokosz@nencki.gov.pl.



GLEJ - WRÓG CZY PRZYJACIEL?

Joanna Mika (Kraków)

Pozornie wydaje się bardzo logiczne, że neurony są najważniejszym elementem składowym układu nerwowego, ponieważ to właśnie one przewodzą impulsy elektryczne i przetwarzają informacje napływające do mózgu, należy jednak pamiętać, że w tkance nerwowej znajduje się wiele innych typów komórek, z których każda ma do spełnienia ważne funkcje. Te komórki pozostają ze sobą w złożonych relacjach funkcjonalnych i strukturalnych, stąd też wielu autorów uważa, że rozdzielanie układu nerwowego na dwie tkanki jest nieuzasadnione i w związku z tym przyjmują istnienie w układzie nerwowym

tylko jednej tkanki nerwowej, którą tworzą zarówno komórki nerwowe, jak i glejowe. Układ nerwowy zapewnia stały kontakt organizmu ze środowiskiem zewnętrznym oraz integrację narządów wewnętrznych. Uczestniczy w rejestrowaniu, przekazywaniu i analizie napływających informacji z zakończeń czuciowych oraz bierze udział w realizacji prawidłowych reakcji adaptacyjnych na zmieniające się warunki świata zewnętrznego i środowiska wewnętrznego. O ile rola neuronów jest stosunkowo dobrze poznana, to rola gleju wciąż wymaga intensywnych badań.