

Paweł Stróżak

Rola mózgu w procesach uczenia się i zapamiętywania

Dla tworzenia i przechowywania wspomnień szczególnie istotną częścią mózgu są płaty skroniowe, a zwłaszcza ich przyśrodkowa część. Znajduje się tam struktura zwana hipokampem.

W filmie „Memento” główny bohater, Leonard, cierpi na amnezję następczą, czyli na utratę zdolności do przyswajania nowych informacji i tworzenia wspomnień. Pamięta tylko to, co wydarzyło się przed brutalnym atakiem, którego był ofiarą. Próbując utrzymać w pamięci bieżące fakty korzysta z szeregu wskazówek zewnętrznych: posługuje się notatkami, zdjęciami, a nawet robi na swoim ciele tatuaże. W inny sposób nie jest w stanie zapamiętać żadnej nowej informacji. Bohater innego filmu (a także książki, która była jego pierwowzorem), „Tożsamości Bourne'a”, cierpi z kolei na amnezję wsteczną. W wyniku odniesionych obrażeń traci przytomność, a po jej odzyskaniu nie pamięta zupełnie nic z okresu poprzedzającego wypadek. Nie wie nawet kim jest i jak się nazywa. Nie traci jednak zdolności do zapamiętywania nowych informacji. Co więcej, jest w stanie posługiwać się kilkoma językami obcymi i sztukami walki, których musiał się kiedyś nauczyć.

Powyższe opisy są zarysem fikcyjnej fabuły dwóch filmów, niemniej jednak w realnym życiu również zdarzają się przypadki zadziwiających zaburzeń pamięci. W literaturze neuropsychologicznej jednym z najczęściej przytaczanych przykładów jest przypadek pacjenta, opisywanego inicjałami H.M. Pacjent ten w wieku dziesięciu lat zaczął cierpieć na ataki padaczki, które były tak częste i poważne, że uniemożliwiały mu normalne funkcjonowanie. Lekarze zdecydowali zatem o interwencji chirurgicznej i wykonali na pacjencie H.M. zabieg usunięcia przyśrodkowych płatów skroniowych, zarówno w lewej, jak i w prawej półkuli mózgu. Zabieg przyniósł znaczącą poprawę jeśli chodzi o napady padaczki, miał też jednak nieoczekiwane skutki uboczne. U pacjenta H.M. rozwinęła się jedna z najbardziej dogłębnych i trwałych postaci amnezji, jaką kiedykolwiek odnotowano w historii medycyny. Obejmowała ona zarówno skrajnie silną amnezję następczą, jak i poważną amnezję wsteczną, sięgającą okresu aż 11 lat sprzed operacji. Warto zaznaczyć, że w przeciwieństwie do uproszczonych przedstawień dokonywanych np. na potrzeby fabuły filmowej, prawdziwa amnezja jest zaburzeniem różnorodnym, obejmującym szereg różnych objawów występujących równocześnie (np. objawy niepamięci następczej i wstecznej o różnym nasileniu). Na ogół nie powstaje ona w wyniku interwencji neurochirurgicznej (jak było w przypadku pacjenta H.M.), ale jako rezultat udaru, obrażeń głowy, infekcji wirusowych (np. opryszczkowe zapalenie mózgu) lub choroby alkoholowej (zespół Korsakowa).

Płaty skroniowe i hipokamp

Historia pacjenta H.M. uświadomiła lekarzom i naukowcom, że dla tworzenia i przechowywania wspomnień szczególnie istotną częścią mózgu są płaty skroniowe, a zwłaszcza ich przyśrodkowa część. Znajduje się tam (zarówno w lewym, jak i w prawym przyśrodkowym płacie skroniowym) struktura zwana hipokampem. Swoją nazwę zawdzięcza ona kształtowi przypominającemu konika morskiego (z greckiego *hippos* – „koń” oraz *kampos* – „potwór morski”). Prawidłowe funkcjonowanie hipokampa jest niezbędne dla tworzenia nowych wspomnień związanych z przytrafiającymi się nam wydarzeniami. Tego rodzaju wspomnienia nazywamy epizodycznymi lub autobiograficznymi (jest to tzw. pamięć epizodyczna). Również przyswajanie wiedzy i zapamiętywanie faktów (np. jakie miasto jest stolicą Australii? w którym roku była Bitwa pod Grunwaldem?) wymaga sprawnego hipokampa (jest to tzw. pamięć semantyczna). Pacjent H.M. oraz wielu innych pacjentów z podobnymi uszkodzeniami mózgu nie są np. w stanie nabywać nowego słownictwa.

Pamięć epizodyczna i semantyczna określane są wspólną nazwą pamięci deklaratywnej, czyli takiej, która poddaje się werbalizacji. Oprócz tego jesteśmy w stanie przyswajać i pamiętać szereg umiejętności, które wcale nie wymagają słownych deklaracji (np. gra na instrumencie muzycznym). Tego rodzaju pamięć określa się mianem pamięci proceduralnej, ponieważ obejmuje pewne gotowe zestawy czynności, których kiedyś musieliśmy się nauczyć, a które później jesteśmy w stanie wykonywać automatycznie i bez zastanowienia. Uszkodzenie hipokampa nie skutkuje utratą możliwości korzystania z tego rodzaju procedur. To właśnie dlatego bohater „Tożsamości Bourne'a” utracił całkowicie pamięć epizodyczną (nie wiedział kim jest i jak się nazywa), ale jego pamięć proceduralna była nienaruszona (był w stanie sprawnie posługiwać się kilkoma językami obcymi i sztukami walki). Okazuje się zatem, że za pamięć proceduralną odpowiadają inne obszary mózgu niż hipokamp.

W odniesieniu do pamięci epizodycznej rola hipokampa również nie jest aż tak oczywista. Uszkodzenie tej struktury mózgu powoduje amnezję wsteczną, nie skutkuje jednak zanikiem wszystkich wspomnień autobiograficznych. W przypadku pacjenta H.M. obustronne usunięcie hipokampa spowodowało niepamięć sięgającą 11 lat wstecz, ale jeszcze wcześniejsze wspomnienia były zachowane. Oznacza to, że ślady pamięciowe są pierwotnie zapisywane w hipokampie, ale po pewnym czasie są przekazywane do innych obszarów mózgu, głównie do kory mózgu, czyli najbardziej zewnętrznej struktury mózgu człowieka. Taki proces nazywamy konsolidacją.

Konsolidacja śladów pamięciowych to proces, w wyniku którego chwilowe zmiany w aktywności mózgu (powstające np. podczas doświadczania nowych wydarzeń lub uczenia się nowych informacji) są zamieniane na trwałe zmiany strukturalne (np. powstawanie nowych połączeń pomiędzy komórkami nerwowymi). Proces konsolidacji może trwać latami, dlatego też wspomnienia wydarzeń, które miały miejsce przed uszkodzeniem mózgu, ale które nie uległy całkowitej konsolidacji, również mogą zostać utracone (tak jak miało to miejsc w przypadku pacjenta H.M.). Należy podkreślić, że konsolidacja śladów pamięciowych jest procesem kluczowym dla pamięci deklaratywnej, ale już nie dla pamięci proceduralnej. Dzieje się tak dlatego, ponieważ wspomnienia przynależące do pamięci deklaratywnej

wymagają łączenia ze sobą wielu informacji różnego typu (percepcyjnych, afektywnych, semantycznych), które przetwarzane są w różnych obszarach mózgu. Wielu badaczy sugeruje, że funkcja przyśrodkowych płatów czołowych (a zwłaszcza hipokampa) sprowadza się do integrowania tych odmiennych typów informacji napływających z różnych obszarów mózgu w jednolitą całość. Kiedy dane wspomnienie zostanie już skonsolidowane, jest ono „przekazywane” z hipokampa do kory mózgowej, zwłaszcza do kory nowej. Im dane wspomnienie jest starsze (czyli pochodzi z wcześniejszego okresu życia), tym jest lepiej skonsolidowane i mniej zależne od hipokampa. Dlatego też uszkodzenie tej struktury mózgu nie powoduje utraty najwcześniejszych wspomnień z czyjegoś życia.

Hipokamp nie jest oczywiście jedyną strukturą mózgową znajdującą się w przyśrodkowych płatach skroniowych, która pełni ważną rolę w konsolidacji śladów pamięciowych. Taką strukturą jest również przylegająca do hipokampa kora śródwęchowa. Pełni ona funkcję głównej stacji przekąnikowej między hipokampem a korą nową. Badania dowodzą, że procesy konsolidacji w których bierze udział hipokamp obejmują wspomnienia sprzed kilku lat, a procesy konsolidacji w które zaangażowana jest kora śródwęchowa obejmują wspomnienia nawet sprzed 20 lat. Ponadto, kora śródwęchowa w większej mierze niż hipokamp odpowiada za konsolidację wspomnień semantycznych (faktów, nazw, znajomych twarzy), a w mniejszej za konsolidację wspomnień epizodycznych i autobiograficznych.

Procesy znajomości i przypominania

W badaniach nad pamięcią, zwłaszcza nad pamięcią rozpoznawczą, w której osoby badane muszą rozpoznać wcześniej zapamiętany element (np. słowo, zdjęcie) wśród wielu innych elementów, wyróżnia się dwa oddzielne mechanizmy prowadzące do podejmowania przez ludzi decyzji pamięciowych. Pierwszy z tych mechanizmów nazywany jest procesem znajomości, który polega na silnym odczuciu, że dany element był wcześniej zapamiętany. Drugi z tych mechanizmów to proces przypominania, który opiera się na szczegółowych informacjach związanych z zapamiętanymi elementami. W sytuacji podejmowania decyzji pamięciowych w oparciu o proces przypominania osoba nie polega na odczuciu, że dany element wydaje się znajomy, ale pamięta charakterystyczne cechy tego elementu (np. kształt, kolor) lub kontekst, w jakim ten element został zapamiętany (np. emocje, jakie zostały wyzwolone w osobie przez prezentację jakiegoś słowa lub zdjęcia).

Procesy znajomości i przypominania związane są z odmiennymi „stanami poznawczymi” osób badanych i mogą być różnicowane przez te osoby na podstawie subiektywnej oceny swojego stanu świadomości. W badaniach często instruuje się osoby badane, aby podejmując decyzje pamięciowe oceniały treści pojawiające się w ich świadomości. Jeśli treści te wskazują na wydobywanie szczegółowych cech zapamiętanych elementów lub kontekstu, w jakim te elementy występowały, osoby proszone są o udzielanie odpowiedzi „pamiętam”, wskazujących na aktywność procesu przypominania. Jeśli stan świadomości wskazuje tylko i wyłącznie na ogólne poczucie pamiętania danego elementu, osoby proszone są o udzielanie odpowiedzi „wiem”, które wskazują na aktywność procesu znajomości.

Odrębność mechanizmów znajomości i przypominania znajduje również odzwierciedlenie w odrębności struktur mózgowych zaangażowanych w podejmowanie decyzji pamięciowych w oparciu o te dwa procesy. Badania dowodzą, że aktywność hipokampa jest związana z procesem przypominania, a aktywność przylegającej do hipokampa kory okołowęchowej jest związana z procesem znajomości. Również aktywność pewnych obszarów mózgu w obrębie płatów czołowych różnicuje decyzje pamięciowe podejmowane w oparciu o procesy znajomości i przypominania. Okazuje się, że przednia okolica lewego płata czołowego jest aktywna wtedy, kiedy osoby badane udzielają odpowiedzi typu „pamiętam”, co świadczy o wydobywaniu z pamięci charakterystycznych cech zapamiętanych elementów lub kontekstu, który towarzyszył tym elementom. Z kolei grzbietowo-boczna okolica prawego płata czołowego jest aktywna wtedy, gdy osoby badane udzielają odpowiedzi typu „wiem”, co świadczy o opieraniu się na ogólnym poczuciu znajomości. Te badania wskazują, że oprócz przyśrodkowych płatów skroniowych (hipokampa i struktur z nim sąsiadujących) ważną rolę w uczeniu się i zapamiętywaniu odgrywają płaty czołowe. Szczególną uwagę warto poświęcić funkcji, jaką odgrywa kora przedczołowa.

Kora przedczołowa

Kora przedczołowa to wysunięta najbardziej do przodu część płatów czołowych. Główna funkcja tego obszaru mózgu to kontrolowanie i organizowanie zachowania człowieka. Bierze ona udział w planowaniu działań i podejmowaniu decyzji. Związana jest także z zachowaniami społecznymi i ekspresją osobowości, zwłaszcza z hamowaniem niepożądanych zachowań. Aktywność kory przedczołowej koordynuje wiele innych, bardziej podstawowych procesów poznawczych, w tym procesów pamięciowych.

Aby omówić znaczenie kory przedczołowej dla procesów uczenia się i zapamiętywania, należy zaznaczyć, że składa się ona z kilku obszarów. Grzbietowo-boczna część kory przedczołowej (czyli obszar znajdujący się z boku, w górnej części tej kory) odpowiada za monitorowanie informacji utrzymywanych w pamięci, zwłaszcza w warunkach niepewności. Jej aktywność jest największa wtedy, kiedy osoba badana pozbawiona jest zewnętrznych wskazówek ułatwiających przypominanie. Z kolei brzuszno-boczna część kory przedczołowej (obszar znajdujący się z boku, w dolnej części tej kory) jest aktywna podczas wydobywania i utrzymywania w pamięci informacji. Jeśli informacje te mają charakter semantyczny i lingwistyczny (np. słowa), wówczas aktywna będzie brzuszno-boczna część kory przedczołowej w lewej półkuli. Jeśli jednak informacje te mają charakter przestrzenno-wzrokowy (np. zdjęcia), wtedy aktywować się będzie brzuszno-boczna część kory przedczołowej w prawej półkuli.

Na szczególną uwagę zasługuje oczodołowa część kory przedczołowej, która zlokalizowana jest nad oczodołami i nad jamą nosową. Zaangażowana jest ona głównie w regulację zachowań społecznych i wykorzystywanie wskazówek emocjonalnych w sterowaniu zachowaniem. Uszkodzenia w tych okolicach mogą prowadzić do zaburzeń pamięciowych, ale o zupełnie innym charakterze niż w przypadku amnezji. Osoby z uszkodzeniami oczodołowej kory przedczołowej często przypominają sobie coś w sposób niespójny i

wewnętrznie sprzeczny lub coś, co nigdy się nie wydarzyło. W skrajnej formie tego rodzaju zniekształcenia pamięciowe mogą przyjmować postać konfabulacji. W przeciwieństwie do pacjentów amnestycznych, pacjenci z uszkodzeniami oczodołowej kory przedczołowej nie zapominają tego, co się kiedyś wydarzyło, ale ubarwiają te wspomnienia i uzupełniają je o nieprawdziwe elementy. Uważa się, że przyczyną konfabulacji są przede wszystkim deficyty w prawidłowym wydobywaniu informacji z pamięci. Pacjenci którzy konfabulują wydobywają informacje w sposób fragmentaryczny, pozbawiony jakiegokolwiek strategii, przez co łączą niepasujące do siebie elementy w jedną całość. Te zaburzenia dotyczą nie tylko pamięci epizodycznej (wspomnień z własnego życia), ale również pamięci semantycznej (np. wspomnień dotyczących historycznych wydarzeń lub wspomnień stanowiących treść pewnych gotowych opowieści, np. bajek). Te ostatnie również wymagają rekonstrukcji złożonego ciągu wydarzeń i ich fragmenty również mogą być wplatanie w treść konfabulacji. Inne wyjaśnienie zakłada, że konfabulacje są efektem nieudanego tłumienia starych wspomnień, które nie są już przydatne. To właśnie dlatego treść konfabulacji stanowi mieszaninę realnych wspomnień z różnych okresów życia danej osoby. To wyjaśnienie potwierdza również fakt, że oczodołowa kora przedczołowa bierze udział w tłumieniu zachowań, które przestają być nagradzane. Być może konfabulacje są powiązane z zaburzeniami tej specyficznej funkcji oczodołowej kory przedczołowej. Warto zaznaczyć, że niezależnie od różnych wyjaśnień fenomenu konfabulacji, osoby dotknięte tym zaburzeniem nie mają intencji wprowadzania nikogo w błąd i są na ogół nieświadome tego, że konfabulują.

Dlaczego zapominamy?

Na zakończenie warto bliżej przyjrzeć się mechanizmowi zapominania u osób zdrowych. Jak to się dzieje, że pewne informacje po prostu „znikają” z naszej pamięci? Jaka rolę odgrywają w tym procesy zachodzące w naszym mózgu?

Najprostszym mechanizmem prowadzącym do zapominania jest niewystarczające przetworzenie danej informacji podczas zapamiętywania. Kiedy próbujemy coś zapamiętać możemy wkładać w to mniejszy lub większy wysiłek poznawczy, czyli możemy przetwarzać daną informację na płytkim lub głębokim poziomie. Oczywiście im bardziej głęboki poziom przetwarzania, tym bardziej trwale zapamiętamy daną informację. W badaniach z wykorzystaniem metod obrazowania funkcjonowania mózgu istnieje możliwość rejestrowania poziomu aktywności poszczególnych obszarów podczas zapamiętywania i przewidywanie na tej podstawie, czy dana informacja zostanie zapamiętana czy też nie. Okazuje się, że aktywność takich obszarów jak kora przyhipokampowa w lewym płacie skroniowym oraz brzuszno-boczna kora przedczołowa w lewej półkuli jest większa, jeśli dana informacja zostanie później prawidłowo zapamiętana. Aktywność tych obszarów może odzwierciedlać selekcję cech danej informacji, które są przetwarzane na głębokim poziomie (za to odpowiada brzuszno-boczna kora przedczołowa w lewej półkuli) oraz właściwe formowanie się śladu pamięciowego (za to odpowiada kora przyhipokampowa w lewym płacie skroniowym). Co ciekawe, pacjenci cierpiący na amnezję również przejawiają wzmożoną aktywność w brzuszno-bocznej korze przedczołowej podczas zapamiętywania, nie skutkuje to jednak skutecznym zapamiętywaniem ponieważ nie towarzyszy temu aktywność w okolicach hipokampa.

Jeśli jakaś informacja zostanie skutecznie zakodowana i zapamiętana, może zostać zapomniana po pewnym czasie. Mogą do tego prowadzić dwa odmienne mechanizmy. Po pierwsze, ślad pamięciowy może w spontaniczny sposób ulegać osłabieniu i w konsekwencji rozpadowi. Jest to mechanizm pasywny, w którym nie jest wymagana żadna dodatkowa aktywność mózgu. Po drugie, ślady pamięciowe mogą ulegać osłabieniu i rozpadowi na skutek interakcji z innymi śladami pamięciowymi lub w wyniku działania innych procesów poznawczych. Ten drugi mechanizm jest aktywny i wymaga dodatkowej aktywności mózgu. W języku naukowym nazywany jest interferencją lub inhibicją. W pomysłowych badaniach dowodzących istnienia tego mechanizmu osoby badane uczyły się listy słów powiązanych z nazwami ogólnych kategorii (np. „owoc – jabłko”, „owoc – banan”). Na drugim etapie osoby badane powtarzały niektóre pary słów (np. „owoc – jabłko”), natomiast inne pary nie były powtarzane (np. „owoc – banan”). Na ostatnim etapie badania osobom badanym prezentowano nazwę kategorii (np. „owoc”) i proszono o przypomnienie sobie wszystkich słów powiązanych z tą nazwą, które prezentowano na samym początku. Okazało się oczywiście, że znacznie lepiej przypominane były słowa, które były powtarzane na drugim etapie (np. „jabłko”), niż te, które nie były powtarzane (np. „banan”). Co ciekawe, poziom odtworzenia niepowtarzanych słów był znacznie gorszy niż w sytuacji, w której drugi etap eksperymentu w ogóle nie miał miejsca. Oznacza to, że sam fakt przypominania sobie czegoś utrudnia utrzymanie w pamięci podobnych, rywalizujących wspomnień. To właśnie dlatego jeśli dobrze pamiętamy, gdzie zaparkowaliśmy samochód wczoraj i przedwczoraj, możemy mieć kłopot z przypomnieniem sobie tego, gdzie zaparkowaliśmy go dzisiaj.

Jednym z mechanizmów prowadzącym do zapominania może być również chęć zapomnienia czegoś. W badaniach nad tzw. ukierunkowanym zapominaniem osoby badane mogą uczyć się np. dwóch list słów. W warunku eksperymentalnym po nauczaniu się pierwszej listy słów osoby badane są informowane, że była to tylko sesja treningowa i mogą zapomnieć słowa z tej listy. W warunku kontrolnym osoby badane są informowane, że słowa z pierwszej listy również muszą być pamiętane. W obydwu warunkach po nauczaniu się drugiej listy następuje test pamięciowy, w którym osoby badane proszone są o odtworzenie słów z obydwu list. Poziom odtworzenia słów z pierwszej listy jest na ogół gorszy w warunku eksperymentalnym, w którym osoby proszone są o nie zapamiętywanie tych słów. Okazuje się zatem, że, przynajmniej w pewnych warunkach, sami możemy decydować o tym, co zapamiętać, a co zapomnieć. Ukierunkowane zapominanie nie występuje jednak u pacjentów z uszkodzeniami płatów czołowych w prawej półkuli mózgu. Ta struktura wydaje się więc mieć zasadnicze znaczenie dla możliwości decydowania o tym, czy coś zapomnimy, czy nie. Co więcej, w badaniach nad osobami zdrowymi stwierdzono zwiększoną aktywność grzbietowo-bocznej kory przedczołowej w lewej i prawej półkuli oraz zmniejszoną aktywność hipokampa w warunku ukierunkowanego zapominania.

Podsumowując, współczesne badania nad rolą mózgu w uczeniu się i zapamiętywaniu ukazują zaangażowanie odrębnych struktur mózgu w zależności od tego, czy zapamiętujemy konkretne wydarzenia i fakty (pamięć deklaracyjna), czy też złożone zestawy czynności, które ulegają automatyzacji (pamięć proceduralna). O odrębności tych dwóch rodzajów pamięci świadczy również fakt, że pamięć proceduralna nie ulega utracie w przypadku

amnezji. Wydobywanie z pamięci informacji może opierać się na ogólnym poczuciu znajomości lub na przypominaniu sobie szczegółów i kontekstu. Te dwa odrębne procesy również angażują różne obszary mózgu. Szczególną rolę w zapamiętywaniu odgrywa kora przedczołowa, a uszkodzenie jej oczodołowej części może prowadzić do konfabulacji. Omówione też zostały podstawowe mechanizmy prowadzące do zapominania informacji, w tym zjawisko ukierunkowanego zapominania, kiedy to sami możemy w aktywny sposób tłumić niechciane wspomnienia.

Paweł Stróżak – doktor psychologii, asystent w Katedrze Psychologii Eksperymentalnej KUL, zajmuje się psychologią pamięci i neuronauką poznawczą, prowadzi badania z wykorzystaniem EEG i metody mózgowych potencjałów wywołanych.