Ciche engramy i paradoks Statku Tezeusza: neurobiologiczne i filozoficzne aspekty trwałości pamięci w świetle książki How to Change a Memory Steve'a Ramireza

AUTOR

Fundacja Dobre Państwo

STRESZCZENIE / ABSTRACT

Artykuł analizuje kluczowe rozróżnienie w neurobiologii pamięci pomiędzy całkowitą utratą zapisu (storage failure) a brakiem możliwości dostępu do informacji (retrieval failure). Na przykładzie badań Tomása Ryana i Susumu Tonegawy przedstawiono koncepcję „cichych engramów" – zespołów komórek, które mimo amnezji behawioralnej nadal przechowują funkcjonalne informacje. Dowiedziono, że w określonych modelach eksperymentalnych, gdzie naturalne wskazówki środowiskowe zawodzą z powodu zaburzeń konsolidacji białkowej, bezpośrednia stymulacja optogenetyczna pozwala na przywrócenie reakcji pamięciowych. Oznacza to, że wspomnienia mogą pozostać obecne w strukturze mózgu jako nieaktywne ślady, co rzuca nowe światło na mechanizmy amnezji i plastyczność synaptyczną.

The article analyzes a key distinction in the neurobiology of memory between total storage failure and retrieval failure. Using the research of Tomás Ryan and Susumu Tonegawa, it presents the concept of 'silent engrams'—groups of cells that continue to store functional information despite behavioral amnesia. It has been demonstrated that in certain experimental models, where natural environmental cues fail due to protein consolidation disorders, direct optogenetic stimulation allows for the restoration of memory responses. This means that memories can remain present in the brain structure as inactive traces, shedding new light on the mechanisms of amnesia and synaptic plasticity.

Artykuł stanowi interdyscyplinarną analizę natury pamięci i tożsamości, kwestionując potoczne rozumienie zapominania jako całkowitego usunięcia danych z mózgu. Autor, opierając się na badaniach nad tzw. cichymi engramami oraz zjawiskiem dryfu reprezentacyjnego, stawia tezę, że pamięć nie jest statycznym magazynem bitów, lecz dynamicznym procesem relacyjnym. Kluczowym odkryciem jest rozdzielenie zapisu informacji od możliwości jej wydobycia; fakt, że nie potrafimy czegoś sobie przypomnieć, nie oznacza braku biologicznego śladu doświadczenia, co otwiera nowe perspektywy w terapii chorób neurodegeneracyjnych, takich jak Alzheimer. Tekst prowadzi czytelnika od poziomu molekularnego i komórkowego, przez paradoks Statku Tezeusza (stabilność funkcji mimo wymiany substratu), aż po filozoficzne pytania o tożsamość narracyjną. Głównym przesłaniem jest przekonanie, że ciągłość naszego „Ja" nie wynika z materialnej niezmienności wspomnień, lecz z funkcjonalnej organizacji systemu, która pozwala zachować spójność biograficzną mimo nieustannych biologicznych i interpretacyjnych przeobrażeń.

SŁOWA KLUCZOWE

ciche engramy | paradoks Statku Tezeusza | storage failure vs retrieval failure | optogenetyczna aktywacja komórek | konsolidacja pamięci | representational drift | neurobiologia pamięci | amnezja następcza | tożsamość narracyjna | plastyczność synaptyczna | deficyt wydobycia informacji | hipokampalne sharp-wave ripples | funkcjonalna ciągłość procesu | modelowanie engramowe

Rozróżnienie między zapisem a wydobyciem informacji

Pamięć utracona czy tylko niedostępna? Ciche engramy, amnezja i granica między przechowywaniem a wydobywaniem wspomnienia

Jednym z najbardziej trwałych założeń potocznej psychologii pamięci jest utożsamienie niemożności przypomnienia sobie zdarzenia z całkowitą utratą samego wspomnienia. Gdy nie potrafimy przywołać nazwiska, twarzy czy konkretnego epizodu autobiograficznego, intuicyjnie zakładamy, że pamięć po prostu „zniknęła". Podobne przekonanie przez długi czas kształtowało interpretację amnezji eksperymentalnej: jeśli po zakłóceniu procesów konsolidacji zwierzę nie

wykazuje śladów wcześniejszego uczenia, najbardziej oczywistym wyjaśnieniem wydaje się niedostateczne utrwalenie zapisu.

Program badań nad engramami pozwolił jednak rozdzielić dwa problemy, które wcześniej trudno było odizolować eksperymentalnie: kwestię tego, czy informacja została zapisana, oraz to, czy organizm potrafi uzyskać do niej dostęp za pomocą naturalnych wskazówek wydobycia. Rozróżnienie między **storage failure** a **retrieval failure** stało się dzięki temu jednym z kluczowych punktów sporu we współczesnej neurobiologii pamięci. Autor książki ujmuje ten zwrot bardzo stanowczo, przywołując eksperymenty Tomása Ryana i jego współpracowników jako dowód na to, że w niektórych modelach amnezji engram może pozostać zachowany mimo utraty naturalnego dostępu do wspomnienia.

Wymaga to jednak istotnego zastrzeżenia. Badania nie dowodzą, że amnezja jako taka jest zawsze zaburzeniem wydobywania, ani tym bardziej, że wszystkie kliniczne postacie utraty pamięci pozostawiają nienaruszone ślady możliwe do późniejszego reaktywowania. Pokazują one natomiast coś fundamentalnego: w określonych modelach eksperymentalnych brak widocznej pamięci może współistnieć z utrzymaniem populacji engramowych oraz możliwością wywołania zachowania pamięciowego poprzez bezpośrednią aktywację tych komórek. Kluczową pracę w tym zakresie opublikowali w 2015 roku na łamach „Science” Tomás Ryan, Dheeraj Roy, Michele Pignatelli, Autumn Arons i Susumu Tonegawa, wychodząc od klasycznego problemu konsolidacji pamięci.

Ciche engramy a rozdzielenie zapisu od wydobycia

Po procesie uczenia zachodzą zmiany zależne m.in. od syntezy nowych białek, modyfikacji synaptycznych i reorganizacji strukturalnej. Farmakologiczne zahamowanie syntezy białek za pomocą anizomycyny może prowadzić do amnezji następczej: zwierzę, które wcześniej przeszło warunkowanie, przestaje wykazywać normalną reakcję pamięciową na naturalny kontekst.

Tradycyjnie taki wynik interpretowano jako skutek niedostatecznego utrwalenia śladu. Ryan i współpracownicy zastosowali jednak system znakowania engramów, aby sprawdzić, czy populacja komórek aktywnych podczas uczenia rzeczywiście przestaje zawierać funkcjonalnie użyteczną informację. Badacze zaobserwowali, że blokada syntezy białek po uczeniu zaburzała klasyczne wskaźniki plastyczności związanej z konsolidacją. W engramowych komórkach zakrętu zębatego brakowało typowego wzmocnienia synaptycznego oraz zwiększenia gęstości kolców dendrytycznych, które obserwuje się w prawidłowo skonsolidowanej pamięci. Gdy zwierzę po pewnym czasie wracało do kontekstu związanego z warunkowaniem lękowym, nie wykazywało normalnego poziomu freezing. Na poziomie behawioralnym wynik ten odpowiadał klasycznej

definicji amnezji. Jednak gdy te same komórki engramowe były bezpośrednio pobudzane optogenetycznie, reakcja pamięciowa powracała. Zwierzę zachowywało się tak, jakby informacja potrzebna do wygenerowania reakcji nadal była funkcjonalnie obecna, mimo że zwykłe wskazówki środowiskowe nie potrafiły skutecznie uruchomić odpowiedniego zespołu.

Eksperyment ten wymaga precyzyjnego języka. Nie należy mówić, że światło „odnalazło wspomnienie schowane w jednym miejscu mózgu", ponieważ pamięć nadal była funkcją sieci i połączeń między populacjami. Trafniej jest stwierdzić, że optogenetyczna aktywacja oznaczonych komórek engramowych mogła ominąć nieskuteczny naturalny mechanizm wydobywania. System pamięciowy znajdował się w interesującym stanie: naturalna wskazówka była niewystarczająca do reaktywacji śladu, ale bezpośrednia interwencja w populację komórkową przywracała zachowanie odpowiadające wcześniejszemu uczeniu. To właśnie z takich wyników wyrasta późniejsze pojęcie cichego engramu. W 2017 roku Dheeraj Roy, Shruti Muralidhar, Lillian Smith i Susumu Tonegawa rozwinęli tę koncepcję w pracy poświęconej „silent memory engrams". Cichy engram oznacza zespół komórek zawierający informacje związane z pamięcią, który nie daje się skutecznie reaktywować normalnymi wskazówkami wydobycia, lecz może zostać sztucznie pobudzony w sposób prowadzący do odzyskania zachowania pamięciowego. W modelu amnezji wywołanej inhibicją syntezy białek zdolność optogenetycznego wydobycia utrzymywała się przez wiele dni, a wraz z nią zachowywała się funkcjonalna łączność między komórkami engramowymi. Autorzy interpretowali to jako argument, że synteza białek po uczeniu może być krytyczna nie tyle dla samego istnienia informacji pamięciowej, ile dla stworzenia warunków pozwalających później naturalnie ją wydobywać.

Ta propozycja odwraca klasyczną hierarchię pojęć. W tradycyjnym modelu najpierw istnieje zapis, a wydobycie jest tylko technicznym odczytem zapisanej informacji. Badania nad cichymi engramami sugerują, że mechanizm wydobywania należy traktować jako integralny składnik funkcjonalnej pamięci. Informacja może być zachowana w konfiguracji połączeń, a zarazem pozostawać praktycznie nieobecna z perspektywy zachowania, jeżeli naturalny sygnał wejściowy nie potrafi ponownie uruchomić odpowiedniej dynamiki sieci.

„Posiadanie pamięci" i „zdolność przypominania" przestają więc być pojęciami całkowicie równoważnymi. Na poziomie filozofii umysłu prowadzi to do interesującego problemu ontologicznego: czy można powiedzieć, że organizm pamięta coś, czego nie jest w stanie sobie przypomnieć? Odpowiedź zależy od definicji pamięci. Jeżeli uznamy ją wyłącznie za aktualną zdolność do świadomego lub behawioralnego wydobycia informacji, cichy engram nie jest jeszcze funkcjonalną pamięcią. Jeżeli natomiast przyjmiemy, że pamięć obejmuje zachowaną zmianę biologiczną zdolną w określonych warunkach ponownie wpływać na zachowanie, wówczas brak

dostępu nie musi oznaczać braku śladu. Neurobiologia wprowadza więc do klasycznego problemu pamięci rozróżnienie podobne do informatycznego odróżnienia istnienia danych od dostępności procedury pozwalającej je odczytać, choć analogię tę należy traktować ostrożnie, ponieważ pamięć biologiczna nie jest statycznym magazynem bitów. Zasadniczy mechanizm badania Ryana dotyczył relacji między plastycznością synaptyczną a strukturą engramu. W warunkach prawidłowej konsolidacji komórki uczestniczące w doświadczeniu wykazują specyficzne zmiany siły synaptycznej i struktury dendrytycznej.

Po inhibicji syntezy białek część tych zmian zostaje zaburzona. Mimo to zachowuje się wystarczający wzorzec funkcjonalnej łączności pomiędzy elementami zespołu, aby bezpośrednia aktywacja umożliwiała odtworzenie zachowania. Autorzy zaproponowali więc, że architektura połączeń może przechowywać kluczową informację, podczas gdy wzmocnienie synaptyczne jest szczególnie ważne dla skutecznego uruchamiania tej informacji przez normalne wejścia.

Nie rozstrzyga to wszystkich sporów dotyczących materialnego kodu pamięci. Współczesne badania engramowe obejmują komórki, synapsy, zmiany pobudliwości, reorganizację obwodów, ekspresję genów oraz wieloobszarowe zespoły neuronalne. Nie istnieje jeden powszechnie zaakceptowany „format zapisu” odpowiadający komputerowemu kodowi pamięci.

Rozróżnienie między utratą a brakiem dostępu do informacji

Badania Ryana mają kluczowe znaczenie, gdyż pozwalają oddzielić dwa mechanizmy, które dotychczas często traktowano jako nierozłączne: biologiczną obecność informacji o doświadczeniu oraz zdolność do jej spontanicznego wydobycia. Nie wyjaśniają one jednak w pełni, jaki minimalny wzorzec strukturalny jest wystarczający, by uznać, że informacja została rzeczywiście przechowana. Rozróżnienie między zapisem a wydobyciem (storage-retrieval) znajduje swój odpowiednik również w psychologii poznawczej.

Wiadomo już od dawna, że brak przypomnienia nie musi oznaczać trwałego zniszczenia informacji. Zjawiska takie jak zależność wydobycia od kontekstu, efekt wskazówek, stany organizmu czy interferencja dowodzą, że pamięć jest funkcją relacji między śladem i warunkami jego aktualizacji. Neurobiologia engramów nadała temu rozróżnieniu nowy wymiar eksperymentalny: zamiast jedynie modyfikować psychologiczną wskazówkę, można bezpośrednio pobudzić populację neuronów uczestniczącą w pierwotnym doświadczeniu i sprawdzić, czy zachowanie pamięciowe powraca. W tym ujęciu zapominanie przestaje być procesem jednolitym. Może ono oznaczać

degradację lub reorganizację śladu prowadzącą do rzeczywistej utraty informacji, wynikać z interferencji konkurencyjnych reprezentacji lub braku odpowiedniej wskazówki. W innych przypadkach ślad istnieje, lecz fizjologiczna droga jego naturalnej reaktywacji jest niewystarczająca. Mechanizmy te mogą współistnieć, a ta sama niezdolność do przypomnienia może mieć różne przyczyny biologiczne. Z perspektywy klinicznej rozróżnienie to jest zasadnicze, gdyż terapia zależy od konkretnego mechanizmu: nie można bowiem „odzyskać dostępu" do informacji całkowicie zniszczonej, podobnie jak nie należy próbować odbudowywać od zera śladu, który nadal istnieje, lecz pozostaje funkcjonalnie niedostępny.

Deficyt wydobycia we wczesnej fazie Alzheimera

Właśnie ta różnica sprawia, że badania nad engramami stają się szczególnie istotne w kontekście chorób neurodegeneracyjnych. Autor książki wysuwa daleko idący wniosek, że w chorobie Alzheimera należałoby przesunąć uwagę od ratowania samej struktury pamięci ku przywracaniu dostępu do "zablokowanych" engramów.

Teza ta znajduje oparcie w eksperymentach na myszach, jednak wymaga ścisłego ograniczenia zakresu. Wyniki dotyczą konkretnych transgenicznych modeli wczesnego etapu patologii podobnej do choroby Alzheimera i nie dowodzą, że pamięć pacjentów z rozwiniętą neurodegeneracją pozostaje nienaruszona, oczekując jedynie na odpowiednią metodę wydobycia. W 2016 roku Dheeraj Roy, Autumn Arons, Teryn Mitchell, Michele Pignatelli, Tomás Ryan i Susumu Tonegawa opublikowali w "Nature" badanie zatytułowane **Memory retrieval by activating engram cells in mouse models of early Alzheimer's disease**. W zastosowanych modelach transgenicznych zwierzęta wykazywały zaburzenia długotrwałego przypominania kontekstowej pamięci lękowej przy standardowych wskazówkach środowiskowych. Bezpośrednia aktywacja optogenetyczna komórek engramowych w zakręcie zębatym umożliwiała jednak odzyskanie zachowania pamięciowego. Autorzy interpretowali to jako dowód na to, że przynajmniej we wczesnej fazie badanego modelu deficyt obejmuje istotny komponent wydobycia, a nie jedynie całkowite zniszczenie przechowywanej informacji. Kluczowe było tu powiązanie efektu ze zmianami strukturalnymi: wraz z progresją zaburzenia obserwowano spadek gęstości kolców dendrytycznych w neuronach DG uczestniczących w pamięci.

Badacze zastosowali następnie protokół optogenetyczny, który miał indukować długotrwałe wzmocnienie synaptyczne w konkretnej ścieżce prowadzącej do komórek engramowych. Procedura ta odtworzyła część utraconej gęstości kolców i poprawiła naturalne wydobywanie pamięci, a nie tylko jej bezpośrednie wywoływanie światłem. Jest to rezultat ważniejszy niż chwilowa reakcja na

stymulację, gdyż sugeruje, że odpowiednio ukierunkowana plastyczność obwodu może przywrócić zdolność naturalnego wykorzystania zachowanego śladu. Jednocześnie właśnie ten wynik pokazuje, jak ryzykowne byłoby medialne hasło "odnaleziono utracone wspomnienia Alzheimera".

W przypadku myszy zastosowano model genetyczny, precyzyjnie oznaczono komórki podczas uczenia, a następnie przeprowadzono interwencję optogenetyczną na konkretnym obwodzie. Człowiek trafia do lekarza dopiero wtedy, gdy wspomnienia zostały utworzone naturalnie, bez wcześniejszego znakowania światłoczułym białkiem. Choroba Alzheimera obejmuje ponadto postępującą patologię molekularną, synaptyczną i sieciową, która z czasem prowadzi do realnego uszkodzenia tkanki. Wyników z wczesnego modelu mysiego nie można zatem przekształcić w twierdzenie, że utracone ludzkie wspomnienia są zawsze nienaruszone i technicznie odzyskiwalne. Rozróżnienie to jest tym ważniejsze, że nawet w samej chorobie Alzheimera mechanizmy zaburzeń pamięci ewoluują wraz z etapem procesu patologicznego. We wczesnych fazach istotną rolę mogą odgrywać dysfunkcja synaptyczna i nieskuteczna aktywacja odpowiednich obwodów. W miarę postępu choroby dochodzi jednak do szerszego uszkodzenia sieci i śmierci neuronów. Jeśli biologiczny substrat informacji zostanie rzeczywiście zniszczony, problem przestaje być wyłącznie kwestią dostępu. Dlatego wyniki Roy i współpracowników należy interpretować jako dowód na możliwość występowania deficytu wydobycia w określonych, wczesnych warunkach, a nie jako uniwersalną teorię utraty pamięci w demencji.

Rozbieżność między biologicznym śladem a narracyjną autobiografią

Podobną ostrożność należy zachować wobec pojęcia "cichego engramu". Choć jest ono niezwykle użyteczne jako kategoria eksperymentalna, nie powinno stać się uniwersalnym wyjaśnieniem wszystkiego, czego człowiek nie pamięta. Nie dysponujemy bowiem praktyczną metodą, która pozwoliłaby prześledzić wszystkie niedostępne wspomnienia dorosłego człowieka i sprawdzić, które z nich istnieją jako potencjalnie reaktywowalne reprezentacje neuronalne. Co więcej, niektóre doświadczenia mogły nigdy nie zostać wystarczająco zakodowane, inne uległy interferencji, a jeszcze inne tak głębokiej reorganizacji, że pytanie o zachowanie pierwotnego śladu staje się trudne do jednoznacznego postawienia.

Szczególnym przypadkiem jest amnezja dziecięca. Autor książki sugeruje, że szybki rozwój i reorganizacja hipokampa mogą "maskować" dostęp do śladów wczesnych doświadczeń, a ich optogenetyczna aktywacja w modelach zwierzęcych potrafi ujawnić pamięć wcześniej niedostępną. Wyniki te są istotne dla biologii rozwoju, lecz nie pozwalają wnioskować, że dorosły człowiek

przechowuje kompletny archiwalny zapis wszystkich doświadczeń z pierwszych lat życia, który można by kiedyś technicznie odzyskać. Amnezja dziecięca obejmuje bowiem splot rozwoju hipokampa, języka, autobiograficznego "Ja", pamięci narracyjnej oraz społecznych praktyk opowiadania o przeszłości. Model neuronalny stanowi tu jeden z poziomów wyjaśnienia, a nie pełny odpowiednik późniejszej pamięci autobiograficznej.

Tym samym rozróżnienie to chroni przed kolejnym nieporozumieniem: utożsamieniem braku świadomości wspomnienia z brakiem jego wpływu na zachowanie. W psychologii od dawna wiadomo, że wcześniejsze doświadczenie może zmieniać reakcje, nawet gdy człowiek nie potrafi świadomie odtworzyć epizodu uczenia. Pamięć proceduralna, torowanie, warunkowanie czy uczenie utajone dowodzą, że pojęcie pamięci obejmuje systemy inne niż świadome przywołanie autobiograficzne. Badania engramowe nad amnezją nie powinny więc być interpretowane jako odkrycie, że "podświadomość wszystko pamięta". Ujawniają one raczej bardziej ograniczoną i precyzyjną zasadę: określony ślad neuronalny może zachować potencjał funkcjonalny mimo utraty standardowej drogi jego behawioralnego wydobycia.

W tym miejscu pojawia się istotna konsekwencja dla teorii tożsamości. Jeżeli część doświadczeń nadal istnieje w formie biologicznej, choć podmiot nie posiada do nich świadomego dostępu, w jakim sensie należą one jeszcze do jego autobiografii? Intuicyjnie przyjmujemy, że autobiografia obejmuje zdarzenia, które człowiek może umieścić w historii własnego życia. Biologiczny ślad może jednak wpływać na zachowanie, emocje czy preferencje bez możliwości narracyjnego przypisania źródła. Powstaje zatem rozbieżność między historią zapisaną w organizmie a historią dostępną osobie jako opowieść o sobie. Nie jest to wyłącznie problem filozoficzny.

Klinicznie człowiek może wykazywać reakcję lękową na określony bodziec, nie posiadając świadomej zdolności wskazania jej genezy. Nie oznacza to, że każda niewyjaśniona emocja pochodzi od ukrytego engramu, lecz pokazuje, że systemy pamięciowe mogą zachowywać skutki uczenia poza zakresem pełnego przypomnienia epizodycznego. Osoba jest więc w pewnym sensie kształtowana również przez historię, której nie potrafi opowiedzieć; biologiczna ciągłość i narracyjna ciągłość autobiografii nie są całkowicie tożsame.

Taka perspektywa każe również przemyśleć znaczenie zapominania. Potocznie zapomnienie traktowane jest jak usunięcie danych. Neurobiologia sugeruje jednak bardziej złożony krajobraz: informacja może zostać osłabiona, odłączona od właściwych wskazówek, zagłuszona konkurencją, zreorganizowana, chwilowo niedostępna lub faktycznie zdegradowana. Stwierdzenie "nie pamiętam" jest raportem fenomenologicznym, który nie identyfikuje automatycznie konkretnego mechanizmu biologicznego. Dwie osoby mogą doświadczać podobnej luki pamięciowej z całkowicie różnych powodów.

Funkcjonalna pamięć jako relacja między śladem a dostępem

Ta niejednoznaczność ma kluczowe znaczenie dla projektowania przyszłych terapii. Jeżeli deficyt dotyczy głównie wydobywania informacji, interwencja powinna skupić się na poprawie dostępu do reprezentacji: wzmacnianiu określonych wejść, przywracaniu plastyczności, modulowaniu połączeń lub dostarczaniu skuteczniejszych wskazówek. Jeśli jednak zapis został zniszczony, taka strategia okaże się niewystarczająca; konieczne byłyby formy ponownego uczenia, kompensacji lub zewnętrznego wsparcia pamięci. Precyzyjna diagnostyka mechanizmu staje się zatem warunkiem racjonalnej terapii.

W dłuższej perspektywie można wyobrazić sobie systemy neurostymulacyjne, które zamiast „wgrywać" wspomnienia, poprawiałyby zdolność do naturalnego odtwarzania istniejących reprezentacji. Jest to znacznie bardziej realistyczna trajektoria translacyjna niż fantazja o odczytywaniu całych autobiograficznych epizodów z mózgu. Badania engramowe sugerują, że kluczowa może być nie tyle siła globalnej stymulacji, co precyzja dotarcia do właściwego obwodu i odpowiedniego wzorca aktywności. Jednocześnie obecne eksperymenty opierają się na technologiach, których nie można bezpośrednio zastosować do selektywnego odtwarzania konkretnych ludzkich wspomnień. W tym punkcie problem technologiczny łączy się z etycznym.

Gdybyśmy w przyszłości potrafili reaktywować wspomnienie, do którego człowiek nie ma naturalnego dostępu, należałoby zapytać, czy samo techniczne istnienie śladu daje podstawę do jego ponownego wprowadzenia do świadomej autobiografii. Nie każde zapomnienie jest patologią; utrata części szczegółów bywa naturalnym skutkiem adaptacyjnego funkcjonowania systemu pamięci. Przywracanie niedostępnych treści mogłoby przynieść korzyść, ale mogłoby również destabilizować istniejącą tożsamość, relacje lub proces psychicznego przystosowania. Problem ten nabiera szczególnej ostrości w kontekście traumy.

Gdyby technologia pozwoliła odzyskać niedostępne wspomnienie, nie można założyć, że jego przywrócenie jest automatycznie terapeutyczne. Psychoterapia nie opiera się na uniwersalnej zasadzie „im więcej pamiętasz, tym jesteś zdrowszy". Czasami problemem jest właśnie nadmierna intruzywność pamięci, w innych przypadkach źródłem cierpienia bywa luka w autobiografii. Kierunek interwencji powinien zatem zależeć od znaczenia funkcjonalnego, a nie od abstrakcyjnej idei maksymalizacji dostępu do całej przeszłości. Można tu dostrzec głębszą symetrię z wcześniejszymi częściami analizy.

Badania nad fałszywą pamięcią pokazały, że system może posiadać dostęp do reprezentacji zdarzenia, którego rzeczywista historia wyglądała inaczej. Badania nad cichymi engramami ukazują sytuację przeciwną: biologiczny komponent rzeczywistego doświadczenia może pozostawać obecny mimo braku normalnego dostępu. W pierwszym przypadku dostęp przekracza prawdę historyczną; w drugim prawda historyczna może przekraczać dostęp. Pamięć nie jest więc prostym związkiem między faktem, zapisem i przypomnieniem.

Każdy z tych poziomów może częściowo uniezależnić się od pozostałych. To rozdzielenie ma również konsekwencje dla pojęcia dowodu autobiograficznego. Brak wspomnienia nie dowodzi, że zdarzenie nie nastąpiło, podobnie jak intensywne wspomnienie nie jest bezbłędnym dowodem na to, że zdarzenie przebiegło dokładnie w pamiętanej postaci. Z epistemologicznego punktu widzenia pamięć pozostaje źródłem informacji, ale nie jest ani absolutnym archiwum, ani czystą fikcją. Jej wartość poznawcza zależy od mechanizmów kodowania, stabilizacji, dostępu i rekonstrukcji. Neurobiologia engramów nie prowadzi więc do relatywizmu, lecz do bardziej wyrafinowanej teorii warunków wiarygodnego pamiętania. Kategoria cichego engramu zmienia także sposób rozumienia zapisu biologicznego.

Nie wystarczy zapytać, czy reprezentacja istnieje. Trzeba również wiedzieć, w jakiej relacji pozostaje ona z układami zdolnymi do jej ponownego uruchomienia. Funkcjonalna pamięć jest zatem właściwością zarówno śladu, jak i dostępu do niego. Można powiedzieć, że wspomnienie nie jest tylko „tym, co mózg zachował", ale także „tym, co sieć potrafi ponownie uczynić skutecznym dla aktualnego działania". Z perspektywy systemowej prowadzi to do szerszej koncepcji pamięci jako procesu zależnego od topologii dostępu. Ta sama informacja może mieć różny wpływ na zachowanie w zależności od tego, które ścieżki ją uruchamiają, z jaką siłą, w jakim kontekście oraz jakie obwody downstream zostają włączone.

Brak przypomnienia nie dowodzi braku śladu

Pamięć przechowywana, lecz niewydobywalna, różni się funkcjonalnie od tej łatwo reaktywowanej; wspomnienie nadmiernie dostępne, jak w niektórych stanach traumatycznych, stwarza inny problem niż ślad zbyt słabo aktywowany. Zdrowe funkcjonowanie nie polega zatem na maksymalizacji siły wszystkich wspomnień, lecz na właściwej regulacji ich dostępności. W tym świetle amnezja i trauma jawią się jako dwa odmienne zaburzenia gospodarki dostępem do przeszłości. W amnezji pewna informacja może nie osiągać wystarczającej reaktywacji, choć część jej substratu pozostaje; w traumie określone reprezentacje mogą uzyskiwać nadmierną zdolność narzucania się teraźniejszości.

Jedna patologia wiąże się więc z niedostatecznym dostępem, druga – w uproszczonym, lecz użytecznym modelu – z dostępem zbyt łatwym lub mało kontrolowanym. Taki sposób myślenia przesuwa cel terapii z usuwania bądź wzmacniania pamięci jako takiej ku regulacji jej funkcjonalnej dostępności. Nie należy jednak konstruować z tego jednolitej teorii wszystkich zaburzeń pamięci. Uszkodzenie hipokampa, niedotlenienie, uraz czaszkowo-mózgowy, encefalopatia, neurodegeneracja czy zaburzenia psychiczne mogą wpływać na całkowicie odmienne etapy procesu. Niektóre utraty pamięci wynikają z braku prawidłowego kodowania, inne z zaburzonej konsolidacji, a jeszcze inne z degradacji sieci lub deficytów wydobycia. Koncepcja silent engram jest jednym z modeli, a nie metafizycznym prawem, według którego mózg nigdy niczego naprawdę nie traci. Ograniczenie to ma szczególne znaczenie w kontekście choroby Alzheimera. Nadzieja, że część wczesnych deficytów może wiązać się z dostępem, jest naukowo cenna, gdyż otwiera drogę do poszukiwania mechanizmów przywracania funkcji, zanim dojdzie do rozległego zniszczenia sieci.

Nie zmienia to jednak faktu, że Alzheimer pozostaje postępującą chorobą neurodegeneracyjną. Engram w organizmie na wczesnym etapie modelu eksperymentalnego nie gwarantuje zachowania autobiografii w późnym stadium choroby. Najważniejsza zmiana pojęciowa jest więc skromniejsza, lecz zarazem kluczowa: nieobecność przypomnienia nie jest wystarczającym dowodem nieobecności śladu. To zdanie, odpowiednio ograniczone do warunków empirycznie testowalnych, zmienia sposób formułowania pytań o pamięć. Nie pytamy już wyłącznie, czy wspomnienie zostało zachowane, lecz w jakim stanie pozostaje jego reprezentacja, jakie drogi potrafią ją reaktywować, które komponenty plastyczności utracono oraz czy można odbudować naturalną zdolność wydobycia. W ten sposób badania nad engramem ponownie przesuwają granicę ingerencji.

Project X pozwolił sztucznie przywołać ślad, Project Inception pokazał możliwość tworzenia fałszywego skojarzenia, a badania nad walencją umożliwiły zmianę emocjonalnego znaczenia reprezentacji. Eksperymenty nad pozytywnym engramem wskazały, że jego reaktywacja może wpływać na aktualny stan behawioralny. Badania nad amnezją wykazały zaś, że bezpośrednia interwencja potrafi ujawnić funkcjonalną pamięć tam, gdzie naturalne zachowanie sugeruje jej brak. Każdy kolejny krok zmniejsza obszar tego, co dawniej wydawało się nieprzekraczalną granicą pomiędzy badaczem a zapisanym doświadczeniem. Właśnie tutaj powraca pytanie o tożsamość.

Jeżeli człowiek jest między innymi istotą autobiograficzną, pamięć niedostępna nie przestaje automatycznie należeć do jego biologicznej historii, lecz może przestać należeć do historii, którą potrafi świadomie opowiedzieć. Powstaje rozdarcie między mózgiem, który zachował ślad, a osobą, która utraciła drogę do tego śladu. Neurotechnologia hipotetycznie zdolna tę drogę przywrócić nie zajmowałaby się więc jedynie leczeniem funkcji poznawczej; w pewnych przypadkach

uczestniczyłaby w ponownym włączaniu fragmentu biologicznej przeszłości do świadomego „Ja". Tak rozumiana możliwość prowadzi jednak ku następnemu problemowi.

Stabilność informacji mimo zmienności biologicznego substratu

Nawet gdy pamięć pozostaje dostępna, jej materialny substrat nie pozostaje nieruchomy. Skład komórkowy reprezentacji zmienia się w czasie, cząsteczki podlegają nieustannej wymianie, a synapsy reorganizują się – mimo to organizm zachowuje funkcjonalną ciągłość informacji. Jeśli zatem to, co „przechowuje" wspomnienie, samo ulega zmianie, należy zapytać, na czym właściwie opiera się trwałość pamięci i tożsamości. W tym punkcie neurobiologia engramu spotyka paradoks Statku Tezeusza, zjawisko Dryf reprezentacyjny oraz teorię tożsamości narracyjnej: jak ten sam człowiek może pamiętać tę samą przeszłość za pomocą biologicznego układu, który nieustannie przestaje być materialnie taki sam?

Statek Tezeusza w hipokampie: dryf reprezentacyjny, pamięć i problem ciągłości „Ja"

Rozróżnienie między utratą śladu pamięciowego a utratą dostępu do niego prowadzi do pytania jeszcze bardziej fundamentalnego. Nawet jeśli przyjmiemy, że określona informacja może zostać zachowana przez lata, nie oznacza to, że jej materialny nośnik pozostaje w tym czasie niezmieniony.

Mózg jest strukturą biologiczną podlegającą nieustannemu metabolizmowi: przebudowie synaps, zmianom ekspresji genów, wymianie białek, reorganizacji siły połączeń i fluktuacjom aktywności neuronalnej. Stabilne wspomnienie nie istnieje zatem na tle statycznej materii, lecz w układzie, którego składniki są w ciągłym ruchu. Pojawia się paradoks kluczowy dla zrozumienia natury pamięci: w jaki sposób system biologiczny zachowuje informację, skoro elementy tworzące jej fizyczne podłoże nie pozostają identyczne w czasie? Autor książki ujmuje ten problem poprzez klasyczny paradoks Statku Tezeusza. Jeśli deski statku są kolejno wymieniane i po pewnym czasie żadna z pierwotnych części nie pozostaje na swoim miejscu, pojawia się pytanie, czy nadal mamy do czynienia z tym samym obiektem. Analogicznie autor zestawia molekularną zmienność mózgu z trwałością wspomnień i poczuciem ciągłości osoby, sugerując, że o stabilności nie decyduje niezmienność materialnych komponentów, lecz zachowanie określonego wzorca organizacyjnego.

Analogia ta jest niezwykle płodna, choć wymaga skorygowania jednego zbyt daleko idącego założenia. Nie można bowiem twierdzić literalnie, że wszystkie materialne składniki układu nerwowego są szybko wymieniane. Neurony mogą przetrwać przez większą część życia, synapsy wykazują zróżnicowaną stabilność, a niektóre białka neuronalne należą do struktur niezwykle

długowiecznych. Badania proteomiczne wskazują jednak, że znaczna część białek neuronalnych i synaptycznych rzeczywiście podlega ciągłej syntezie i degradacji; typowe okresy półtrwania wielu z nich wynoszą od dni do tygodni, choć niektóre utrzymują się miesiącami lub dłużej.

Stabilność funkcji mimo dryfu reprezentacyjnego

Problem pamięci staje się dzięki temu subtelniejszy niż filozoficzna opowieść o całkowitej wymianie materii. Nie jest konieczne, aby wszystkie atomy mózgu zostały zastąpione, by pojawiło się pytanie o trwałość; wystarczy, że struktury odpowiedzialne za funkcję są dynamicznie konserwowane mimo regularnej wymiany części komponentów. Synapsa istniejąca przez lata nie musi być zbudowana z tych samych cząsteczek przez cały ten czas. Jest raczej układem utrzymującym określoną organizację dzięki ciągłym procesom syntezy, degradacji, transportu i regulacji. Trwałość biologiczna przypomina więc nie trwałość kamienia, lecz trwałość organizacji podtrzymywanej przez metabolizm.

Pamięć może być stabilna nie pomimo dynamiki mózgu, lecz właśnie dzięki temu, że dynamika ta jest kontrolowana. Takie ujęcie prowadzi do istotnego rozróżnienia między tożsamością materialnych składników a trwałością relacji organizacyjnych. W biologii organizm zachowuje ciągłość mimo wymiany cząsteczek, ponieważ proces ten zachodzi w strukturze zdolnej do samopodtrzymywania. Analogicznie w sieci neuronalnej informacja nie musi być przypisana do jednego, niezmiennego zestawu molekuł; może zależeć od względnej organizacji połączeń, pobudliwości, wzorców aktywacji oraz reguł reaktywacji. Problem ten przybliża neuronaukę do relacyjnego rozumienia informacji: kluczowe staje się nie tylko to, z czego system jest zbudowany, ale w jaki sposób jego elementy są względem siebie zorganizowane. Współczesna neuronauka uczyniła jednak tę kwestię jeszcze bardziej złożoną.

Okazuje się bowiem, że zmienność nie dotyczy jedynie molekuł wewnątrz pozornie niezmiennych komórek. W niektórych obwodach nawet wzorce aktywności poszczególnych neuronów związane z tym samym środowiskiem, zadaniem lub bodźcem zmieniają się w czasie. Zjawisko to określa się mianem Dryfu reprezentacyjnego (representational drift). W jego najbardziej ogólnym znaczeniu neurony, których aktywność jest skorelowana z określonym aspektem środowiska lub zachowania, nie muszą zachowywać dokładnie tych samych właściwości przez tygodnie i miesiące, mimo że zachowanie organizmu pozostaje stabilne. Przeglądy literatury opisują ten proces w hipokampie, korze ciemieniowej oraz układach sensorycznych i ruchowych, podkreślając jednocześnie, że jego zakres zależy od regionu mózgu i rodzaju zadania.

Klasycznego przykładu dostarczyli Yaniv Ziv i współpracownicy. Za pomocą długotrwałego obrazowania wapniowego obserwowali oni setki komórek piramidowych CA1 u swobodnie poruszających się myszy, które przez wiele tygodni powracały do tego samego środowiska. Każdego dnia aktywna reprezentacja przestrzeni obejmowała częściowo odmienny zbiór komórek. Jednocześnie stosunkowo niewielka część neuronów należących do populacji aktywnych w różnych dniach zachowywała podobne pola miejsca, a na poziomie całej populacji reprezentacja przestrzenna pozostawała wystarczająco stabilna. Układ potrafił zatem zachować funkcjonalnie użyteczną informację o środowisku pomimo znacznej zmienności udziału pojedynczych komórek. Wynik ten podważa intuicję, według której trwała informacja wymaga stałego przyporządkowania do tych samych jednostek neuronalnych. Nie oznacza to jednak, że pamięć swobodnie „przenosi się" z jednych neuronów do innych – takie sformułowanie sugerowałoby istnienie jasno zdefiniowanego pakietu danych wędrującego między komórkami, czego eksperymenty nie wykazują. Bardziej uzasadnione jest mówienie o dynamice kodowania populacyjnego: udział poszczególnych neuronów może się zmieniać, podczas gdy pewne właściwości reprezentacji na poziomie zespołu pozostają wystarczająco stabilne, by system downstream nadal mógł je odczytywać. Jeszcze bardziej przekonujący przykład pochodzi z badań Laury Driscoll i współpracowników dotyczących tylnej kory ciemieniowej.

Myszy wykonywały w nich stabilnie wyuczone zadanie nawigacyjno-decyzyjne przez wiele tygodni, podczas gdy aktywność pojedynczych neuronów związana z konkretnymi elementami zadania stopniowo ewoluowała. Pomimo reorganizacji wzorców na poziomie pojedynczych komórek, informacja dotycząca zachowania mogła być nadal odczytywana z aktywności populacyjnej. Mamy więc do czynienia z pozornym paradoksem: kod neuronalny może być niestabilny w jednej skali analizy, podczas gdy funkcja pozostaje stabilna w skali wyższej. Autor książki trafnie eksponuje tę sprzeczność, wiążąc Dryf reprezentacyjny z możliwością utrzymania stabilnego kodowania populacyjnego mimo rotacji udziału poszczególnych neuronów. Należy jednak skorygować silniejsze stwierdzenie autora, jakoby dryf oznaczał, że „engram kodujący to samo, niezmienne wspomnienie" regularnie wymienia swoje neurony. Literatura dotycząca representational drift obejmuje bardzo różne rodzaje reprezentacji – przestrzeń, bodźce sensoryczne, zadania, decyzje i zachowania – i nie pozwala automatycznie utożsamić każdego obserwowanego dryfu z przebudową konkretnego autobiograficznego engramu.

Możemy zatem stwierdzić, że neuronowe reprezentacje potrafią pozostawać funkcjonalnie stabilne przy znacznej zmienności składu i strojenia pojedynczych neuronów. Nie możemy jednak wyprowadzić z tego uniwersalnego prawa, zgodnie z którym każde ludzkie wspomnienie regularnie migruje między kolejnymi zespołami komórek. Nowsze badania dodatkowo komplikują ten obraz: Dryf reprezentacyjny nie jest po prostu losowym rozpadem kodu.

Stabilność relacyjna zamiast materialnej identyczności

W hipokampie zarówno upływ czasu, jak i kolejne doświadczenia mogą oddziaływać na różne składniki reprezentacji w odrębny sposób. Badania długofalowe z 2023 roku wskazują, że czas wpływał przede wszystkim na poziomy aktywności komórek, podczas gdy doświadczenie w większym stopniu zmieniało ich strojenie przestrzenne; te dwa składniki dryfu pozostawały przy tym częściowo niezależne. Oznacza to, że „dryf" nie jest prostym procesem degradacji, lecz zbiorczym określeniem kilku form długoterminowej zmienności reprezentacyjnej. W literaturze teoretycznej pojawia się hipoteza, że pewien poziom dryfu może być nie tylko tolerowaną niedoskonałością układu, ale wręcz elementem jego zdolności do ciągłego uczenia się. Układ nerwowy musi bowiem rozwiązywać problem stabilności-plastyczności: zachowywać nabyte informacje, a jednocześnie pozostawiać przestrzeń na kodowanie nowych treści. Nadmierna stabilizacja prowadziłaby do usztywnienia reprezentacji, natomiast nadmierna zmienność zniszczyłaby dostęp do danych. Dryf może zatem stanowić część mechanizmu utrzymującego reprezentacje w stanie gotowości do dalszej adaptacji, choć funkcjonalne znaczenie tego zjawiska pozostaje przedmiotem badań. Przeglądy z 2022 i 2025 roku sugerują, że stabilność obliczeń jest zachowywana dzięki właściwościom całej populacji, nawet gdy udział poszczególnych elementów zmienia się w czasie.

W tym kontekście pojawia się pojęcie inwariantu. W systemie dynamicznym nie wszystko musi pozostawać identyczne, aby określona funkcja została zachowana. Możliwe jest, że zmieniają się neurony, poziomy ich aktywności czy parametry połączeń, podczas gdy bardziej abstrakcyjna geometria reprezentacji pozostaje wystarczająco podobna. Współczesna neurobiologia populacyjna opisuje to za pomocą trajektorii w przestrzeni stanów i rozmaitości neuronalnych – **neural manifolds**. Zamiast pytać, czy konkretny neuron koduje dokładnie tę samą właściwość dzisiaj i za miesiąc, bada się, czy cała populacja zachowuje strukturę relacji pozwalającą na stabilne odczytanie informacji.

Ta zmiana perspektywy jest zasadnicza. W klasycznym modelu wyobrażamy sobie, że trwała pamięć powinna pozostawać przywiązana do trwałego materialnego adresu. W modelu populacyjnym trwałość przenosi się poziom wyżej: nie tkwi ona w identyczności elementów, lecz w zachowaniu relacji pomiędzy nimi, mimo ich zmienności. Podobną zasadę odnajdujemy w wielu złożonych systemach biologicznych i społecznych. Organizm zachowuje formę mimo wymiany materii, społeczeństwo utrzymuje instytucje mimo wymiany ludzi, język zachowuje ciągłość gramatyczną mimo zmiany użytkowników, a melodia pozostaje tą samą melodią niezależnie od tego, czy wykonuje ją fortepian, skrzypce czy ludzki głos. W każdym z tych przypadków ciągłość

wynika nie z samego budulca, lecz z zachowanej organizacji relacji. Nie oznacza to jednak, że „wzorzec” może istnieć bez materii – taki wniosek byłby powrotem do dualizmu pod inną nazwą.

Każdy neuronalny wzorzec musi być fizycznie realizowany w określonym momencie. Procesualna koncepcja pamięci nie zakłada więc, że informacja istnieje niezależnie od biologicznego substratu. Twierdzi raczej, że jej ciągłość jest zachowywana przez kolejne konfiguracje fizyczne, które choć nie są materialnie identyczne, posiadają wystarczającą ciągłość przyczynową i organizacyjną. Jest to materializm dynamiczny, a nie materializm rzeczy.

W tym miejscu paradoks Statku Tezeusza zyskuje pełne znaczenie. Problem nie sprowadza się tu wyłącznie do wymiany desek, lecz dotyczy kryterium identyczności przedmiotu w czasie. Czy statek pozostaje tym samym statkiem dlatego, że zachował pierwotną materię, czy może dlatego, że zachowuje ciągłość przestrzenno-czasową? A może kluczem jest pełnienie tej samej funkcji, sposób ciągłej wymiany części lub fakt, że wspólnota rozpoznaje go jako ten sam obiekt?

Dynamiczna natura tożsamości narracyjnej i rodzaje ciągłości osoby

Nie istnieje jedna odpowiedź, którą można by przenieść bezpośrednio na poziom osoby. Analogicznie, neuronauka może wykazać ciągłość mechanizmu, lecz nie rozstrzygnie samodzielnie wszystkich filozoficznych kryteriów tożsamości osobowej. Autor książki wykonuje w tym miejscu śmiały krok, zestawiając Dryf reprezentacyjny z narracyjną teorią tożsamości. Wskazuje on, że tak jak populacja neuronalna może zmieniać swój skład przy zachowaniu funkcji, tak człowiek może reinterpretować wydarzenia życiowe, zachowując poczucie bycia tą samą osobą.

Jako analogia interdyscyplinarna jest to konstrukcja niezwykle produktywna; jako wniosek empiryczny wymaga jednak ograniczenia. Dryf reprezentacyjny nie dowodzi teorii tożsamości narracyjnej. Neurobiologiczna zmienność kodu i psychologiczna reinterpretacja autobiografii należą do odmiennych poziomów opisu. Mogą one tworzyć zgodny obraz dynamicznej ciągłości, ale jedno zjawisko nie stanowi biologicznego potwierdzenia drugiego.

Dan McAdams i Kate McLean definiują tożsamość narracyjną jako uwewnętrznioną i rozwijającą się historię życia, która integruje rekonstruowaną przeszłość z wyobrażoną przyszłością, nadając biografii pewien stopień jedności i celu. Kluczowe jest tutaj słowo „rekonstruowana”. Narracyjna tożsamość nie polega na przechowywaniu kompletnej kroniki wszystkich wydarzeń; jest raczej selektywnym sposobem organizacji doświadczenia. Człowiek wybiera zdarzenia interpretowane jako początki, porażki, przełomy, odkupienia, zdrady, sukcesy lub utraty, łączy je z przekonaniami o

własnym charakterze i projektuje za ich pomocą możliwą przyszłość. Pamięć autobiograficzna dostarcza tożsamości materiału, lecz nie gotowej formy. Dwoje ludzi może przeżyć podobne zdarzenie i umieścić je w zupełnie różnych strukturach narracyjnych: jedna osoba zinterpretuje zawodową porażkę jako dowód trwałej niekompetencji, inna zaś jako moment zmiany kierunku życia. Z czasem ta sama osoba może również przekształcić wcześniejszą interpretację. Fakt historyczny pozostaje względnie stały, natomiast jego relacja do innych wydarzeń, znaczenie moralne i przewidywane konsekwencje mogą ulegać zmianie. McAdamsowskie „Ja" narracyjne jest więc dynamiczne z definicji: zachowuje ciągłość nie poprzez niezmienność opowieści, lecz poprzez zdolność jej dalszego rozwijania.

Pozwala to rozróżnić co najmniej trzy rodzaje ciągłości osoby. Pierwszą jest ciągłość biologiczna – organizm istnieje jako trwający w czasie system cielesny. Drugą jest ciągłość psychologiczna – przejawiająca się w związkach pamięciowych, charakterologicznych, intencjonalnych i emocjonalnych między kolejnymi stanami człowieka. Trzecią zaś jest ciągłość narracyjna – zdolność jednostki do interpretowania przeszłości, teraźniejszości i przyszłości jako elementów historii należącej do jednego życia. Te trzy poziomy zwykle współdziałają, lecz nie są tożsame.

Tożsamość jako ciągłość relacyjna a nie materialna identyczność

Osoba z ciężką amnezją może zachować ciągłość biologiczną, mimo głębokiego uszkodzenia części ciągłości autobiograficznej. Z kolei człowiek przechodzący radykalną przemianę światopoglądową zachowuje wiele wspomnień, lecz może całkowicie zmienić ich interpretację w historii własnego życia. Klasyczna filozofia tożsamości wielokrotnie próbowała uczynić pamięć kryterium trwania osoby. Locke wiązał osobową ciągłość z rozciąganiem świadomości ku wcześniejszym czynom i myślom, co zapoczątkowało długą tradycję teorii psychologicznej ciągłości.

Problemem pozostaje jednak niepełność pamięci. Człowiek nie pamięta większości chwil własnego życia, a mimo to nie uznajemy, że przestaje być osobą, która ich doświadczyła. Można również utracić wspomnienie zdarzenia wskutek choroby, nie tracąc z tego powodu prawnego czy moralnego statusu osoby. Pamięć nie może więc stanowić jedynego i prostego kryterium identyczności. Neurobiologia dodatkowo komplikuje ten klasyczny problem, ponieważ sama pamięć okazuje się dynamiczna. Jeżeli moje wspomnienie określonego wydarzenia w wieku sześćdziesięciu lat różni się w szczegółach i znaczeniu od tego samego wspomnienia w wieku trzydziestu lat, to kryterium "tego samego wspomnienia" nie może wymagać pełnej identyczności reprezentacji. Potrzebna jest raczej relacja ciągłości: późniejsza reprezentacja musi być historycznie

powiązana z wcześniejszą przez łańcuch przechowywania, wydobywania i aktualizacji. Identyczność autobiograficzna okazuje się wówczas bardziej genealogiczna niż fotograficzna.

W tym miejscu użyteczna staje się filozoficzna intuicja Dereka Parfita dotycząca znaczenia ciągłości i powiązania psychologicznego. Dla Parfita pytanie o absolutnie niepodzielną tożsamość osoby było mniej istotne niż relacje ciągłości pamięci, zamiarów, przekonań i charakteru. Nie trzeba przyjmować całej jego metafizyki, aby dostrzec podobieństwo tego problemu do neuronauki: system może zachowywać funkcjonalną i przyczynową ciągłość bez materialnej identyczności każdego elementu w dwóch odległych momentach czasu. Neurobiologia nie potwierdza Parfita, ale pokazuje, dlaczego poszukiwanie jednej niezmiennej materialnej "kotwicy Ja" może być źle postawionym pytaniem. Podobna intuicja pojawia się u Daniela Dennetta, który traktował podmiotowość w kategoriach organizacji narracyjnej, a nie istnienia pojedynczego centralnego obiektu w mózgu, będącego właścicielem wszystkich doświadczeń. W takim ujęciu jedność osoby nie wymaga neuronalnego miejsca, w którym znajdowałaby się kompletna jaźń; powstaje ona jako wynik koordynacji wielu procesów percepcyjnych, pamięciowych, językowych, motywacyjnych i społecznych. Pamięć pełni tu szczególną funkcję, dostarczając temporalnej struktury pozwalającej przypisać doświadczenia z różnych momentów temu samemu podmiotowi. Neuronauka engramu nadaje temu problemowi nowy wymiar, chroniąc jednocześnie przed nazbyt prostą narracyjną metafizyką.

Nie można bowiem twierdzić, że skoro opowiadamy historię życia, jesteśmy "tylko narracją". Organizm pozostaje biologicznym systemem posiadającym ciało, homeostazę, temperament, sieci pamięciowe, nawyki i mechanizmy regulacyjne, z których znaczna część nie jest reprezentowana narracyjnie. Tożsamość narracyjna stanowi ważny wymiar ludzkiej osobowości, lecz nie wyczerpuje wszystkich warstw osobowego trwania. Człowiek jest jednocześnie organizmem, podmiotem działania, uczestnikiem relacji społecznych i autorem opowieści o sobie. Właśnie dlatego szczególnie użyteczny jest model McAdamsa rozróżniający człowieka jako aktora, agenta i autora. Na poziomie aktora jednostka posiada względnie trwałe wzorce zachowania i cechy; na poziomie agenta organizuje życie wokół celów i planów; na poziomie autora konstruuje opowieść, która wiąże rekonstruowaną przeszłość z wyobrażoną przyszłością. Pamięć uczestniczy we wszystkich tych poziomach, lecz w odmienny sposób. Nawykowe reakcje mogą zależeć od przeszłego uczenia bez świadomej narracji, cele wykorzystują wiedzę o wcześniejszych konsekwencjach, natomiast autobiografia świadomie organizuje wybrane doświadczenia w strukturę znaczenia. Z tej perspektywy Dryf reprezentacyjny i narracyjna zmienność mają wspólną, choć jedynie analogiczną logikę: stabilność funkcji nie wymaga identyczności wszystkich składników. Populacja neuronów może zmieniać właściwości, a mimo to utrzymywać zdolność reprezentowania określonego aspektu świata.

Opowieść człowieka o własnym życiu może zmieniać interpretację zdarzeń, zachowując przy tym poczucie historycznej ciągłości. W obu przypadkach trwanie jest procesem czynnego podtrzymywania relacji, a nie przechowywaniem niezmiennej substancji. Nie oznacza to, że oba procesy są jednym mechanizmem; znaczy to raczej, że podobny problem formalny – zachowanie ciągłości pośród zmienności – pojawia się na różnych poziomach organizacji.

Szczególnie interesująca staje się w tym świetle pamięć o własnym dzieciństwie. Autor książki przywołuje autobiograficzne przykłady Ramireza, w których rdzeń wydarzenia pozostaje względnie stabilny, podczas gdy szczegóły takie jak kolor ubrania, napój czy elementy posiłku zmieniają się w kolejnych przywołaniach.

Relacyjna i społeczna redundancja jako fundament stabilności tożsamości

Oczywiście nie należy traktować takiej osobistej obserwacji jako dowodu na konkretny mechanizm neurobiologiczny. Jest ona jednak trafnym przykładem fenomenologicznym, pokazującym, że poczucie „to jest moje wspomnienie" może przetrwać mimo zmiany jego treści peryferyjnej. Pojawia się zatem pytanie o minimalny warunek ciągłości wspomnienia: jeśli przy każdym przypominaniu sobie zdarzenia zmienia się pewna liczba szczegółów, to po ilu takich modyfikacjach należałoby uznać, że mamy do czynienia z innym wspomnieniem? Nie istnieje tutaj prosty próg.

Pamięć może zachować centralne relacje przyczynowe, osoby, miejsce lub znaczenie, podczas gdy szczegóły sensoryczne ulegają przekształceniu. Innym razem to detale pozostają nienaruszone, natomiast sens wydarzenia zmienia się radykalnie. Wspomnienie nie jest więc jednostką o ostrych granicach, lecz złożoną reprezentacją składającą się z komponentów o odmiennej stabilności. Problem ten można ująć jako neuronalną odmianę pytania o redundancję. Złożone systemy zachowują swoją funkcję często dlatego, że informacja nie jest przechowywana w jednym punkcie; rozproszenie sprawia, że zmiana pojedynczego elementu nie musi prowadzić do katastrofy całego systemu. Jednocześnie redundancja nie oznacza dosłownego kopiowania tego samego śladu we wszystkich strukturach. Współpracujące obszary mogą kodować odmienne właściwości doświadczenia, co daje systemowi wiele dróg częściowej rekonstrukcji. Taka organizacja sprzyja odporności, ale otwiera też drogę do zmian: skoro całość powstaje z relacji między wieloma komponentami, modyfikacja nie musi wymagać zniszczenia wszystkich z nich.

Na poziomie tożsamości osobowej podobną funkcję pełni społeczna redundancja pamięci. Człowiek nie jest jedynym archiwum własnego życia – istnieją fotografie, dokumenty, miejsca, przedmioty i

przede wszystkim inni ludzie, którzy pamiętają wspólne doświadczenia. Autobiografia ma zatem charakter częściowo rozproszony społecznie. Rodzina przypomina zdarzenia z dzieciństwa, przyjaciele podtrzymują historię wspólnych lat, instytucje przechowują dokumenty, a kultura dostarcza kategorii pozwalających interpretować wydarzenia. Tożsamość nie jest więc wyłącznie wytworem mózgu izolowanego od świata; jest konstruowana przez biologiczny system pamięciowy pozostający w stałej wymianie z otoczeniem społecznym.

Ta perspektywa komplikuje możliwość przyszłej "edycji Ja". Gdyby tożsamość była przechowywana w jednym engramie, manipulacja nią przypominałaby zmianę pojedynczego pliku. Jeśli jednak powstaje ona dzięki tysiącom powiązanych reprezentacji, nawyków, emocji, relacji społecznych i narracji, nawet precyzyjna modyfikacja jednego wspomnienia nie pozwala przewidzieć ostatecznego rezultatu. Może ona zmienić jedną ważną gałąź autobiografii, lecz inne elementy systemu mogą stabilizować wcześniejszą interpretację, kompensować zmianę lub prowadzić do nowej rekonstrukcji. Z drugiej strony istnieją wspomnienia o wyjątkowo dużej wartości organizacyjnej. Psychologia narracyjna wskazuje na sceny samookreślające, punkty zwrotne i wydarzenia interpretowane jako geneza istotnych cech osoby. Ich zmiana mogłaby wpłynąć na szeroki obszar autobiograficznego modelu „Ja”.

Nie wynika to z ich szczególnej lokalizacji neuronalnej, lecz z liczby relacji znaczeniowych zbudowanych wokół nich. W języku sieci pewne wspomnienia są bardziej centralnymi węzłami autobiograficznej organizacji niż inne. To rozróżnienie ma zasadnicze znaczenie neuroetyczne. Modyfikacja drobnego wspomnienia i ingerencja w zdarzenie konstytuujące główną narrację życia mogą być technicznie podobnymi zabiegami, a mimo to posiadać całkowicie różny ciężar osobowy. Nie wystarczy zatem mierzyć wielkości zmiany biologicznej; trzeba analizować pozycję wspomnienia w systemie tożsamości jednostki. Ta sama liczba zmienionych synaps może mieć nieporównywalny sens psychologiczny, zależnie od tego, czego dotyczą. Dryf reprezentacyjny dodaje do tego problemu jeszcze jeden wymiar.

Plastyczność biologiczna a etyka modyfikacji tożsamości

Jeśli mózg spontanicznie zmienia sposób reprezentowania stabilnych aspektów świata, to interwencja technologiczna nie jest pierwszym źródłem zmienności systemu. Człowiek od początku jest organizmem przebudowującym własny substrat pamięci. Technologia zatem nie wprowadza plastyczności do nieruchomego mózgu, lecz uzyskuje dostęp do mechanizmów istniejących wcześniej.

Różnica etyczna tkwi jednak w źródle, celu i stopniu kontroli. Naturalna reorganizacja wynika z biologicznego uczenia się i metabolizmu, podczas gdy technologiczna manipulacja może zostać zaprojektowana przez osobę trzecią w konkretnym celu. Nie można więc wywieść z naturalnej plastyczności wniosku, że każda sztuczna modyfikacja jest moralnie neutralna. Naturalne procesy nie stanowią automatycznego wzorca normatywnego; fakt, że pamięć zmienia się sama, nie oznacza, że ktoś inny ma prawo ją zmieniać. Podobnie jak to, że ludzie naturalnie zapominają, nie uzasadnia farmakologicznego odbierania im wspomnień bez ich zgody.

Opis biologiczny mówi nam, co system potrafi; aksjologia musi natomiast odpowiedzieć na pytanie, kto może uruchomić zmianę, w jakim celu, na jakich warunkach i z jakim zakresem odpowiedzialności. Statek Tezeusza okazuje się zatem nie metaforą dekoracyjną, lecz narzędziem pozwalającym uporządkować kilka poziomów problemu. Materia układu nerwowego podlega wymianie, jednak organizacja utrzymuje pewną ciągłość. Aktywność poszczególnych neuronów może dryfować, podczas gdy informacje populacyjne pozostają funkcjonalnie stabilne.

Wspomnienia mogą zmieniać szczegóły i znaczenia, zachowując genealogiczną więź z doświadczeniem. Narracja autobiograficzna bywa redagowana przez całe życie, co nie unicestwia poczucia bycia jednym podmiotem. W żadnym z tych przypadków ciągłość nie wymaga absolutnej niezmienności. Nie oznacza to jednak, że każda zmiana jest zgodna z zachowaniem tożsamości. Statek można naprawiać deskę po desce, ale można go również przebudować tak głęboko, że przestanie pełnić wcześniejszą funkcję i zostanie rozpoznany jako inna konstrukcja.

Analogicznie osoba może reinterpretować swoje życie, lecz istnieją hipotetyczne modyfikacje pamięci, preferencji i charakteru tak rozległe, że pytanie o ciągłość psychologiczną staje się realnym problemem normatywnym. Neurobiologia nie dostarcza bowiem progu, po którego przekroczeniu „ten sam człowiek” staje się „kimś innym”.

Tożsamość jako funkcjonalna ciągłość procesu

Można jednak wskazać, które komponenty systemu uległy zmianie i jak przeobraziła się funkcjonalna organizacja zachowania. Jest to szczególnie istotne w perspektywie przyszłej inżynierii pamięci. Im doskonalsze staną się technologie ingerencji w procesy pamięciowe, tym mniej użyteczna będzie prosta opozycja: „pamięć zachowana – pamięć usunięta”. Znacznie ważniejsze okażą się pytania o stopień zmiany, jej lokalizację w sieci, wpływ na walencję, dostępność, generalizację czy integrację z innymi wspomnieniami oraz konsekwencje dla prospekcji. Człowiek może zachować wiedzę o tym, że coś się wydarzyło, a jednocześnie przestać traktować to wydarzenie jako centralny element własnej historii. Może zachować fakt, lecz zmienić

afekt; zachować afekt, tracąc szczegóły; lub stracić naturalny dostęp do śladu, który biologicznie wciąż istnieje. Pojęcie „edycji pamięci" jest zatem niewystarczające bez doprecyzowania, która konkretnie własność pamięci została edytowana.

W rezultacie neurobiologia prowadzi do koncepcji osoby procesualnej, choć nie płynnej w sensie absolutnej dowolności. Człowiek jest systemem zmiennym, lecz ta zmienność zachodzi w ramach strukturalnych ograniczeń, wcześniejszej historii i zachowanych relacji przyczynowych. Nie jesteśmy statycznymi obiektami, ale nie stajemy się też co chwilę zupełnie nowymi osobami. Ciągłość wynika z nakładania się kolejnych stanów: późniejszy wyrasta z wcześniejszego, przejmuje część jego struktury, aktualizuje wybrane elementy i tworzy warunki dla następnych zmian.

Biologiczny Statek Tezeusza nie płynie zatem dlatego, że jego deski są niezmienne, lecz dlatego, że wymiana elementów odbywa się w ramach podtrzymywanego układu, który posiada historię i kierunek. Podobnie autobiograficzne „Ja" nie trwa dzięki temu, że pamięta każdy fakt identycznie przez całe życie, ale dzięki temu, że kolejne wersje siebie pozostają połączone siecią pamięci, relacji, wartości, działań i przewidywań na tyle gęstą, by przeszłość mogła być rozpoznawana jako własna, a przyszłość – jako przyszłość tego samego podmiotu. W tym punkcie pamięć spotyka wyobraźnię w sposób głębszy niż w analizie prospekcji. Jeśli tożsamość narracyjna integruje rekonstruowaną przeszłość z wyobrażoną przyszłością, człowiek nie tylko pamięta, kim był, ale nieustannie projektuje, kim może zostać. McAdams i McLean wskazują wprost, że narracyjna tożsamość spaja rekonstruowaną przeszłość i wyobrażoną przyszłość w rozwijającą się historię życia.

Wyobraźnia staje się więc nie dodatkiem do „Ja", lecz jednym z mechanizmów jego temporalnej ciągłości. Podmiot trwa częściowo dlatego, że potrafi umieścić przyszłą wersję siebie w historii rozpoczętej przed chwilą obecną. Oznacza to również, że modyfikacja pamięci może wpływać na tożsamość bez konieczności usuwania przeszłości – wystarczy zmienić jej funkcję w symulowaniu przyszłości. Człowiek, który przestaje interpretować określone doświadczenie jako dowód własnej bezradności, może zacząć wyobrażać sobie działania wcześniej psychologicznie niedostępne. Odwrotnie: zmiana wspomnienia prowadząca do utraty ważnego ostrzeżenia może rozszerzyć przestrzeń działania kosztem właściwej oceny ryzyka. Ingerencja w przeszłość okazuje się w ten sposób pośrednią ingerencją w repertuar możliwych przyszłości.

Neurobiologia nie dowodzi więc, że „Ja jest engramem", lecz wskazuje na coś bardziej wymagającego intelektualnie: materialne warunki pamiętania mogą być dynamiczne, rozproszone i częściowo zmienne, a mimo to system zachowuje funkcjonalną ciągłość. Psychologia narracyjna pokazuje z kolei, że człowiek zachowuje poczucie jedności nie przez niezmienne powtarzanie tej samej biografii, lecz przez nieustanne integrowanie dawnych i nowych doświadczeń w opowieść zdolną zachować genealogiczną ciągłość.

Pomiędzy tymi poziomami nie ma prostej redukcji, lecz wspólny problem: w jaki sposób stabilność wyłania się z procesu, którego elementy nigdy nie są całkowicie nieruchome. Właśnie dlatego representational drift nie powinien być traktowany jako biologiczny dowód filozofii Heraklita ani narracyjnej teorii McAdamsa. Jest niezależnym zjawiskiem empirycznym, które czyni procesualne modele pamięci bardziej wiarygodnymi niż metafora niezmiennego archiwum. Najnowsze przeglądy podkreślają wręcz, że podstawowym zadaniem teorii pamięci jest obecnie wyjaśnienie, jak stabilne reprezentacje funkcjonalne mogą być utrzymywane przez układy o nieustannie zmieniających się lokalnych właściwościach. To przesunięcie perspektywy jest kluczowe dla dalszego biegu analizy autora książki. Jeśli pamięć i tożsamość są podtrzymywane przez procesy dynamiczne, należy zbadać nie tylko to, jak doświadczenie pozostaje zachowane, lecz także to, kiedy i w jaki sposób jest ponownie uruchamiane bez świadomej decyzji podmiotu. W snach, podczas odpoczynku, w hipokampalnych sharp-wave ripples, w replay i sekwencjach poprzedzających przyszłe zachowanie mózg ponownie układa fragmenty doświadczenia poza pełną kontrolą świadomości. Tam pamięć przestaje być aktem świadomego wspominania, a staje się autonomiczną pracą systemu nad własną przeszłością. Dalszy krok prowadzi więc od Statku Tezeusza ku nocnemu laboratorium mózgu.

Jeśli tożsamość utrzymuje ciągłość dzięki nieustannemu przetwarzaniu własnej historii, sen i spontaniczna reaktywacja przestają być biologiczną przerwą w życiu psychicznym. Stają się okresami, w których mózg reorganizuje przeżyte doświadczenia, stabilizuje informacje, integruje je z wcześniejszą wiedzą i przygotowuje system do tego, co może wydarzyć się później. Wówczas pytanie o pamięć raz jeszcze staje się pytaniem o wyobraźnię: czy podczas snu i spontanicznych reaktywacji mózg jedynie odtwarza przeszłość, czy także przelicza przestrzeń przyszłych możliwości?

> Czy zatem jesteśmy jedynie sumą zapisanych śladów, czy raczej nieustannie redagowaną opowieścią, w której prawda historyczna ustępuje miejsca funkcjonalnej ciągłości? Jeśli nasze wspomnienia dryfują, a materia mózgu ulega wymianie, tożsamość staje się nie tyle stałym obiektem, co kruchym procesem podtrzymywania relacji. Pozostaje pytanie: w którym momencie naprawa 'desek' naszego biologicznego statku sprawia, że przestajemy być tymi samymi ludźmi, a stajemy się zupełnie nową konstrukcją?

Inspiracje

[1] 

"How to Change a Memory" Steve Ramirez

Princeton University Press | ISBN: 9780691266688

Steve Ramirez (ur. 1988) jest amerykańskim neurobiologiem i profesorem nadzwyczajnym psychologii i nauk o mózgu na Uniwersytecie Bostońskim. Uzyskał tytuł licencjata z neurobiologii na Uniwersytecie Bostońskim w 2010 roku, a doktorat z mózgu i nauk poznawczych na Massachusetts Institute of Technology w 2015 roku, gdzie prowadził badania w laboratorium noblisty Susumu Tonegawy. Następnie pełnił funkcję młodszego pracownika naukowego w Harvard University Society of Fellows. Ramirez jest najbardziej znany ze swoich pionierskich badań nad engramami pamięci i sztuczną manipulacją śladami pamięciowymi z wykorzystaniem optogenetyki. W przełomowym badaniu z 2013 roku opublikowanym w czasopiśmie Science, on i jego współpracownik Xu Liu z powodzeniem reaktywowali obwody pamięci, aby wszczepić myszom fałszywe wspomnienia. Jego badania koncentrują się na mapowaniu sieci pamięci i manipulowaniu engramami w celu opracowania interwencji terapeutycznych w zaburzeniach psychicznych i neurologicznych.

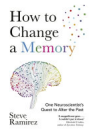
Steve Ramirez *(born 1988) is an American neuroscientist and Associate Professor of Psychological and Brain Sciences at Boston University. He earned his bachelor's degree in neuroscience from Boston University in 2010 and his Ph.D. in Brain and Cognitive Sciences from the Massachusetts Institute of Technology in 2015, where he conducted research in the laboratory of Nobel laureate Susumu Tonegawa. He subsequently served as a Junior Fellow in the Harvard University Society of Fellows. Ramirez is best known for his pioneering research on memory engrams and the artificial manipulation of memory traces using optogenetics. In a landmark 2013 study published in Science, he and his collaborator Xu Liu successfully reactivated memory circuits to implant false memories in mice. His research focuses on mapping memory networks and manipulating engrams to develop therapeutic interventions for psychiatric and neurological disorders.*

Boston University

Literatura uzupełniająca

Książki

Książki autora i dzieła przywołane w tekście:



[1] "Project Total Recall"

Steve Ramirez

2025 | Robinson Press | ISBN: 9781472141743

Książki autorów przywoływanych i literatura pokrewna:



[2] "From Bacteria to Bach and Back"

Daniel C. Dennett

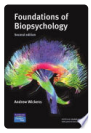
2017 | Penguin UK | ISBN: 9780141978055



[3] "Fundamentals of Learning and Memory"

John P. Houston

2014 | Academic Press | ISBN: 9781483277561



[4] "Foundations of Biopsychology"

Andrew P. Wickens

2005 | Pearson Education | ISBN: 9780131971387



[5] "Psychology of Learning and Memory"

Henry Carlton Ellis

1979

Artykuły naukowe

Prace autorów przywoływanych w tekście:

[1] "Narrative Identity"

Dan P. McAdams

2011 | Handbook of Identity Theory and Research | DOI: 10.1007/978-1-4419-7988-9_5

Źródło

[2] "Life-Story Approach to Identity"

Dan P. McAdams

2017 | Encyclopedia of Personality and Individual Differences | DOI: 10.1007/978-3-319-28099-8_530-1

Źródło

[3] "Engram cells retain memory under retrograde amnesia"

Tomás J. Ryan, Dheeraj S. Roy, Michele Pignatelli, Autumn L. Arons, Susumu Tonegawa

2015 | Science | DOI: 10.1126/science.aaa5542

Źródło

[4] "Memory retrieval by activating engram cells in mouse models of early Alzheimer's disease"

Dheeraj S. Roy, Autumn L. Arons, Teryn I. Mitchell, Michele Pignatelli, Tomás J. Ryan

2016 | Nature | DOI: 10.1038/nature17172

Źródło

[5] "What is memory? The present state of the engram"

Mu-ming Poo, Michele Pignatelli, Tomás J. Ryan, Susumu Tonegawa, Tobias Bonhoeffer

2016 | BMC Biology | DOI: 10.1186/s12915-016-0261-6

Źródło

[6] "Engrams and circuits crucial for systems consolidation of a memory"

貴司 北村, Sachie K. Ogawa, Dheeraj S. Roy, Teruhiro Okuyama, Mark D. Morrissey

2017 | Science | DOI: 10.1126/science.aam6808

Źródło

[7] "Ventral CA1 neurons store social memory"

Teruhiro Okuyama, 貴司 北村, Dheeraj S. Roy, Shigeyoshi Itohara, Susumu Tonegawa

2016 | Science | DOI: 10.1126/science.aaf7003

Źródło

[8] "Cell type–specific genetic and optogenetic tools reveal hippocampal CA2 circuits"

Keigo Kohara, Michele Pignatelli, Alexander J. Rivest, Hae-Yoon Jung, 貴司 北村

2013 | Nature Neuroscience | DOI: 10.1038/nn.3614

Źródło

[9] "The Essential Role of Hippocampal CA1 NMDA Receptor–Dependent Synaptic Plasticity in Spatial Memory"

Joe Z. Tsien, Patricio T. Huerta, Susumu Tonegawa

1996 | Cell | DOI: 10.1016/s0092-8674(00)81827-9

Źródło

[10] "Subregion- and Cell Type–Restricted Gene Knockout in Mouse Brain"

Joe Z. Tsien, Dong Feng Chen, David Gerber, Cindy W. Tom, Eric H Mercer, Susumu Tonegawa

1996 | Cell | DOI: 10.1016/s0092-8674(00)81826-7

Źródło

[11] "BDNF Regulates the Maturation of Inhibition and the Critical Period of Plasticity in Mouse Visual Cortex"

Z. Josh Huang, Alfredo Kirkwood, Tommaso Pizzorusso, Vittorio Porciatti, Bernardo Morales, Susumu Tonegawa

1999 | Cell | DOI: 10.1016/s0092-8674(00)81509-3

Źródło

[12] "Engram Cell Excitability State Determines the Efficacy of Memory Retrieval"

Michele Pignatelli, Tomás J. Ryan, Dheeraj S. Roy, Chanel Lovett, Lillian M. Smith, Shruti Muralidhar

2018 | Neuron | DOI: 10.1016/j.neuron.2018.11.029

Źródło

[13] "Silent memory engrams as the basis for retrograde amnesia"

Dheeraj S. Roy, Shruti Muralidhar, Lillian M. Smith, Susumu Tonegawa

2017 | Proceedings of the National Academy of Sciences | DOI: 10.1073/pnas.1714248114

Źródło

[14] "Heterophilic Type II Cadherins Are Required for High-Magnitude Synaptic Potentiation in the Hippocampus"

Raunak Basu, Xin Duan, Matthew R. Taylor, E. Anne Martin, Shruti Muralidhar

2017 | Neuron | DOI: 10.1016/j.neuron.2017.09.009

Źródło

[15] "Functional, sustained recovery of hearing in Otoferlin-deficient mice using DB-OTO, a hair-cell-specific AAV-based gene therapy"

Yoojin Chung, Seth D. Koehler, Sarah Cancelarich, Tyler M. Gibson, Gabriela Pregernig, Lillian M. Smith

2025 | Molecular Therapy — Methods & Clinical Development | DOI: 10.1016/j.omtm.2025.101577

Źródło

[16] "Alzheimer's Disease-Associated β-Amyloid Is Rapidly Seeded by Herpesviridae to Protect against Brain Infection"

William A. Eimer, Deepak Kumar Vijaya Kumar, Nanda Kumar N. Shanmugam, Alex S. Rodriguez, Teryn Mitchell

2018 | Neuron | DOI: 10.1016/j.neuron.2018.06.030

Źródło

[17] "Development of Molecular and Quantitative Spatiotemporal Modeling of Physics Informed Neural Network (PINN) with in Vitro-Driven Validation Modeling for Blood-Tumor Barrier Transport, Resistance Dynamics, and Therapeutic Penetration Mechanisms in Patient-Specific Glioblastoma Surgery"

Shivi Kumar, Deirdre Richardson, Osama H Elzaafarany, Teryn Mitchell, Katheryn Dampos

2026 | Journal of Cancer Science and Clinical Therapeutics | DOI: 10.26502/jcsct.5079280

Źródło

[18] "Long-term dynamics of CA1 hippocampal place codes"

Yaniv Ziv, Laurie D. Burns, Eric D. Cocker, Elizabeth Otto Hamel, Kunal K Ghosh

2013 | Nature Neuroscience | DOI: 10.1038/nn.3329

Źródło

[19] "Microglia activated by IL-4 or IFN-γ differentially induce neurogenesis and oligodendrogenesis from adult stem/progenitor cells"

Oleg Butovsky, Yaniv Ziv, Adi Schwartz, Gennady Landa, Adolfo E. Talpalar

2005 | Molecular and Cellular Neuroscience | DOI: 10.1016/j.mcn.2005.10.006

Źródło

[20] "Synergy between immune cells and adult neural stem/progenitor cells promotes functional recovery from spinal cord injury"

Yaniv Ziv, Hila Avidan, Stefano Pluchino, Gianvito Martino, Michal Schwartz

2006 | Proceedings of the National Academy of Sciences | DOI: 10.1073/pnas.0603747103

Źródło

[21] "Hippocampal ensemble dynamics timestamp events in long-term memory"

Alon Rubin, Nitzan Geva, Liron Sheintuch, Yaniv Ziv

2015 | eLife | DOI: 10.7554/elife.12247

Źródło

[22] "Dynamic Reorganization of Neuronal Activity Patterns in Parietal Cortex"

Laura N. Driscoll, Noah L. Pettit, Matthias Minderer, Selmaan N. Chettih, Christopher D. Harvey

2017 | Cell | DOI: 10.1016/j.cell.2017.07.021

Źródło

[23] "Representational drift: Emerging theories for continual learning and experimental future directions"

Laura N. Driscoll, Lea Duncker, Christopher D. Harvey

2022 | Current Opinion in Neurobiology | DOI: 10.1016/j.conb.2022.102609

Źródło

[24] "Stable task information from an unstable neural population"

Michael E. Rule, Adrianna Loback, Dhruva V. Raman, Laura N. Driscoll, Christopher D. Harvey

2020 | eLife | DOI: 10.7554/elife.51121

Źródło

[25] "Organizing recurrent network dynamics by task-computation to enable continual learning"

Lea Duncker, Laura N. Driscoll, K.V. Shenoy, Maneesh Sahani, David Sussillo

2020 | UCL Discovery (University College London)

Źródło

[26] "Exploring Psychological Themes Through Life-Narrative Accounts"

Dan McAdams

2012 | Varieties of Narrative Analysis | DOI: 10.4135/9781506335117.n2

Źródło

[27] "Mental illness and personal recovery: A narrative identity framework."

D. K. Thomsen, Henry R. Cowan, D. McAdams

2025 | Clinical Psychology Review | DOI: 10.1016/j.cpr.2025.102546

Źródło

[28] "Selves Creating Stories Creating Selves: A Process Model of Self-Development"

Kate C. McLean, Monisha Pasupathi, Jennifer L. Pals

2007 | Personality and Social Psychology Review | DOI: 10.1177/1088868307301034

Źródło

[29] "The Oxford Handbook of Identity Development"

Kate C. McLean, Moin Syed

2015 | Oxford University Press eBooks | DOI: 10.1093/oxfordhb/9780199936564.001.0001

Źródło

[30] "Personal, Master, and Alternative Narratives: An Integrative Framework for Understanding Identity Development in Context"

Kate C. McLean, Moin Syed

2015 | Human Development | DOI: 10.1159/000445817

Źródło

[31] "Personal Identity"

Derek Parfit

1971 | The Philosophical Review | DOI: 10.2307/2184309

Źródło

[32] "Future People, the Non-Identity Problem, and Person-Affecting Principles"

Derek Parfit

2017 | Philosophy &amp Public Affairs | DOI: 10.1111/papa.12088

Źródło

[33] "Тождество личности = D. Parfit. Personal Identity / перевод с англ. Р. Л. Кочнева"

D. Parfit

2019

Źródło

Artykuły naukowe autora:

[34] "Optogenetic stimulation of a hippocampal engram activates fear memory recall"

Xu Liu, Steve Ramirez, Petti T. Pang, Corey B. Puryear, Arvind Govindarajan

2012 | Nature | DOI: 10.1038/nature11028

Źródło

[35] "Creating a False Memory in the Hippocampus"

Steve Ramirez, Xu Liu, Pei-Ann Lin, Junghyup Suh, Michele Pignatelli

2013 | Science | DOI: 10.1126/science.1239073

Źródło

[36] "Memory Engram Cells Have Come of Age"

Susumu Tonegawa, Xu Liu, Steve Ramirez, Roger L. Redondo

2015 | Neuron | DOI: 10.1016/j.neuron.2015.08.002

Źródło

[37] "Bidirectional switch of the valence associated with a hippocampal contextual memory engram"

Roger L. Redondo, Joshua Kim, Autumn L. Arons, Steve Ramirez, Xu Liu

2014 | Nature | DOI: 10.1038/nature13725

Źródło

[38] "Activating positive memory engrams suppresses depression-like behaviour"

Steve Ramirez, Xu Liu, Christopher J. MacDonald, Anthony Moffa, Joanne Y. Zhou

2015 | Nature | DOI: 10.1038/nature14514

Źródło

[39] "Assessments of dentate gyrus function: discoveries and debates"

Mia Borzello, Steve Ramirez, Alessandro Treves, Inah Lee, Helen E. Scharfman

2023 | Nature reviews. Neuroscience | DOI: 10.1038/s41583-023-00710-z

Źródło

[40] "Inception of a false memory by optogenetic manipulation of a hippocampal memory engram"

Xu Liu, Steve Ramirez, Susumu Tonegawa

2013 | Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences | DOI: 10.1098/rstb.2013.0142

Źródło

[41] "Artificially Enhancing and Suppressing Hippocampus-Mediated Memories"

Briana K. Chen, Nathen J. Murawski, Christine Cincotta, Olivia P. McKissick, Abby Basya Finkelstein, Steve Ramirez

2019 | Current Biology | DOI: 10.1016/j.cub.2019.04.065

Źródło

[42] "Identification and optogenetic manipulation of memory engrams in the hippocampus"

Steve Ramirez, Susumu Tonegawa, Xu Liu

2014 | Frontiers in Behavioral Neuroscience | DOI: 10.3389/fnbeh.2013.00226

Źródło

[43] "An implantable piezoelectric ultrasound stimulator (ImPULS) for deep brain activation"

Jason F. Hou, Md Osman Goni Nayeem, Kian A. Caplan, Evan A. Ruesch, Albit J. Caban, Steve Ramirez

2024 | Nature Communications | DOI: 10.1038/s41467-024-48748-6

Źródło

Treść tworzy Fundacja Dobre Państwo.
Redaguje i publikuje APA ONE, autorski system redakcyjny Fundacji oparty na AI.
APA ONE Publishing System
Fundacja Dobre Państwo © 2026
Article ID: 710f8ae0-011e-495c-8067-1caad7b4317b