Architektura pamięci: od mechanizmów konsolidacji i symulacji przyszłości po neurobiologię żałoby w świetle książki How to Change a Memory Steve'a Ramireza.

AUTOR

Fundacja Dobre Państwo

STRESZCZENIE / ABSTRACT

Artykuł analizuje dynamiczną naturę pamięci, koncentrując się na procesach zachodzących podczas snu NREM i spokojnego czuwania. Kluczowym elementem jest zjawisko replay oraz ostre fale z szybkimi oscylacjami (sharp-wave ripples), które umożliwiają skompresowaną reaktywację doświadczeń w hipokampie. Procesy te nie są prostym kopiowaniem danych, lecz złożoną reorganizacją relacji neuronalnych i komunikacją między hipokampem a korą nową. Autor podkreśla, że pamięć nie jest statycznym magazynem, lecz generatywnym systemem, który priorytety zuje istotne informacje, wzmacnia konkretne połączenia i pozwala na symulację przyszłych zdarzeń (preplay). Całość rzuca nowe światło na neurobiologiczne podstawy tożsamości oraz mechanizmy przetwarzania informacji w trybie offline.

The article analyzes the dynamic nature of memory, focusing on processes occurring during NREM sleep and quiet wakefulness. A key element is the phenomenon of replay and sharp-wave ripples, which enable the compressed reactivation of experiences in the hippocampus. These processes are not simple data copying, but a complex reorganization of neuronal relationships and communication between the hippocampus and the neocortex. The author emphasizes that memory is not a static warehouse, but a generative system that prioritizes relevant information, strengthens specific connections, and allows for the simulation of future events (preplay). Overall,

this sheds new light on the neurobiological foundations of identity and the mechanisms of offline information processing.

Artykuł rzuca wyzwanie tradycyjnemu postrzeganiu pamięci jako statycznego archiwum, prezentując ją jako dynamiczny i generatywny proces. Autor analizuje mechanizmy takie jak replay i preplay, dowodząc, że mózg w stanach offline (np. podczas snu) nie tylko konsoliduje przeszłość, ale aktywnie symuluje potencjalne scenariusze przyszłości, czyniąc granicę między retrospekcją a prospekcją przepuszczalną. Ta biologiczna infrastruktura ma fundamentalne znaczenie dla konstrukcji tożsamości relacyjnej; drugi człowiek staje się częścią naszych wewnętrznych modeli predykcyjnych i systemów regulacyjnych. W tym kontekście żałoba zostaje zdefiniowana nie tylko jako emocjonalna strata, lecz jako kosztowny proces aktualizacji błędnych predykcji – walka systemu, który wciąż oczekuje obecności osoby, której świat już nie dostarcza. Tekst stawia tezę, że każda ingerencja w engramy niesie ogromny ciężar aksjologiczny: modyfikując ślady pamięciowe, nie zmieniamy jedynie tego, co pamiętamy, ale redefiniujemy nasze oczekiwania wobec przyszłości i samą strukturę naszego „Ja", która jest w znacznej mierze splotem reprezentacji innych ludzi.

SŁOWA KLUCZOWE

architektura pamięci | konsolidacja systemowa | sharp-wave ripples | replay i preplay | neurobiologia żałoby | engramy pamięciowe | komórki miejsca | symulacja przyszłości | relacyjna natura tożsamości | representational drift | continuing bonds | hipokamp-kora komunikacja | synaptic homeostasis | przetwarzanie offline

Dynamiczna natura pamięci i mechanizmy replay

Nocne laboratorium mózgu: replay, sharp-wave ripples, sen i neuronalne szkicowanie przyszłości

Pamięć jest procesem dynamicznym. Jej trwałość nie wymaga niezmienności pojedynczych elementów neuronalnych, co sprawia, że szczególnego znaczenia nabierają okresy, w których mózg pozostaje odłączony od intensywnego napływu nowych informacji, lecz nie przestaje pracować nad materiałem doświadczenia. Sen i spokojne czuwanie nie są neuronalną pustką pomiędzy kolejnymi

epizodami działania. W ich trakcie układ nerwowy spontanicznie reaktywuje reprezentacje wcześniejszych zdarzeń: wzmacnia niektóre relacje, wygasza inne, reorganizuje dostęp do informacji oraz koordynuje komunikację pomiędzy hipokampem a rozległymi sieciami korowymi. Autor książki opisuje ten proces poprzez zjawiska replay i preplay oraz ostre fale z szybkimi oscylacjami (sharp-wave ripples – SWRs), pojawiające się zwłaszcza podczas snu NREM i spokojnego czuwania. Taka interpretacja jest zgodna z głównym nurtem współczesnej neurobiologii pamięci, wymaga jednak istotnego doprecyzowania: replay posiada silne podstawy empiryczne jako element procesów konsolidacji, natomiast przejście od preplay do twierdzenia, że mózg "wyobraża sobie przyszłość", pozostaje kwestią znacznie bardziej interpretacyjną.

Sharp-wave ripples należą do najbardziej charakterystycznych zdarzeń elektrofizjologicznych hipokampa. Są to krótkotrwałe epizody zsynchronizowanej aktywności, podczas których fala generowana w obwodach hipokampalnych współwystępuje z szybką oscylacją populacji neuronalnej. Obserwuje się je najczęściej podczas bezruchu, spokojnego czuwania oraz snu NREM. Współczesna literatura traktuje je nie jako przypadkowe wyładowania odpoczywającego mózgu, lecz jako kluczowe okna czasowe, w których dochodzi do uporządkowanej reaktywacji zespołów komórek aktywnych podczas wcześniejszego zachowania. Przeglądy badań engramowych wskazują, że sekwencje te bywają silnie skompresowane w czasie – mogą przebiegać wielokrotnie szybciej niż pierwotne doświadczenie. Ich selektywne zakłócanie pogarsza późniejszą pamięć, podczas gdy eksperymentalne wydłużanie niektórych ripple może poprawiać konsolidację.

Klasycznym punktem odniesienia dla tego programu były badania komórek miejsca. Podczas przemieszczania się zwierzęcia po przestrzeni różne neurony hipokampa aktywują się preferencyjnie w określonych lokalizacjach, dzięki czemu ruch po trasie można reprezentować jako uporządkowaną sekwencję aktywacji populacji. Gdy zwierzę później odpoczywa albo śpi, podobne sekwencje mogą pojawiać się ponownie, mimo że organizm nie wykonuje już odpowiadającego im ruchu. Właśnie to zjawisko nazwano replay. Nie jest ono wiernym neuronalnym "filmem" rozgrywanym z normalną prędkością; sekwencje są silnie skondensowane, mogą występować w kolejności zgodnej z wcześniejszą trajektorią albo odwróconej, a także być selektywne wobec niektórych doświadczeń i zależne od aktualnego znaczenia informacji. Już ta właściwość każe odejść od wyobrażenia snu jako okresu prostego kopiowania zdarzeń z całego dnia. Replay oznacza raczej ponowne wykorzystanie wzorca w warunkach odmiennego stanu sieci. Odtworzenie skompresowanej sekwencji może sprzyjać wzmacnianiu relacji pomiędzy neuronami oraz komunikacji hipokampa z korą, jednak system nie musi odtwarzać wszystkich doświadczeń z równym prawdopodobieństwem. Nowsze modele zwracają uwagę, że replay może priorytetyzować doświadczenia istotne, niedostatecznie skonsolidowane, powiązane z nagrodą albo szczególnie użyteczne z punktu widzenia przyszłego działania.

Pamięć jako dynamiczna reorganizacja i generatywność

Coraz trudniej zatem utrzymać prostą wizję, według której mózg podczas snu jedynie mechanicznie przenosi kopie informacji z jednego magazynu do drugiego. W klasycznych teoriach konsolidacji systemowej hipokamp odgrywa rolę struktury szybko wiążącej rozproszone elementy epizodu, podczas gdy długotrwałe przechowywanie wiedzy angażuje stopniowo reorganizowane sieci korowe.

Sen, zwłaszcza faza NREM, sprzyja koordynacji tych układów. Współczesne modele podkreślają sprzężenie kilku rytmów: wolnych oscylacji korowych, wrzecion snu i hipokampalnych ripple. Ich precyzyjne zgranie czasowe może tworzyć okna, w których aktywność związana z wcześniejszym doświadczeniem zostaje ponownie przedstawiona sieciom korowym, co umożliwia dalszą plastyczność i integrację. Nowsze przeglądy systemowej konsolidacji traktują właśnie takie sprzężenie jako jednego z najpoważniejszych kandydatów na mechanizm komunikacji hipokamp-kora podczas snu. Nie oznacza to jednak prostego "przenoszenia pliku" z hipokampa do kory nowej. Pamięć systemowa prawdopodobnie polega na stopniowej reorganizacji relacji pomiędzy strukturami, zależnej od typu informacji, wieku śladu i istniejących schematów wiedzy. Hipokamp może pozostawać istotny dla bogatych, szczegółowych komponentów epizodu znacznie dłużej, niż sugerowałaby prosta metafora przeprowadzki danych. Kora nie jest również biernym magazynem końcowym, lecz aktywnie uczestniczy w integracji nowej informacji z wiedzą wcześniejszą. Sen należy więc rozumieć jako stan sprzyjający reorganizacji sieci, a nie wyłącznie przesyłowi informacji pomiędzy dwoma anatomicznymi pojemnikami. Równie istotne jest to, że replay nie jest ograniczony do snu; występuje także podczas krótkich przerw w zachowaniu, spoczynku oraz w momentach poprzedzających lub następujących po decyzjach.

Współczesne badania nad awake replay wskazują, że hipokamp może wówczas reaktywować trajektorie niedawno przebyte, odległe, prowadzące do celu, a czasem także sekwencje odpowiadające alternatywnym możliwościom. Właśnie ten obszar badań zbliża neurobiologię pamięci do problemu planowania. Jeżeli układ odtwarza nie tylko to, co bezpośrednio się wydarzyło, ale również sekwencje istotne dla wyboru przyszłego działania, granica pomiędzy retrospektywnym przypominaniem i prospektywnym obliczaniem staje się funkcjonalnie mniej wyraźna. Należy jednak bardzo starannie odróżnić replay od świadomej wyobraźni. Neuronalna sekwencja reprezentująca przestrzenną trajektorię nie jest jeszcze dowodem, że zwierzę fenomenologicznie "wyobraża sobie" tę trasę. Mówienie o "symulowaniu przyszłości" jest uzasadnione na poziomie funkcjonalnym wtedy, gdy aktywność sieci reprezentuje możliwe stany przestrzeni przed wykonaniem działania i wiąże się z późniejszym wyborem.

Nie daje to jednak automatycznie dostępu do subiektywnego przeżycia. To rozróżnienie odpowiada zasadzie stosowanej wcześniej w odniesieniu do mysich engramów: neurobiologia może wykazać reprezentację, związek przyczynowy i funkcję behawioralną, lecz musi zachować ostrożność przy przypisywaniu bogatej treści świadomej. W tym kontekście szczególne znaczenie zdobył termin **preplay**. George Dragoi i Susumu Tonegawa opisali w 2011 roku sekwencje aktywności hipokampalnych zespołów komórkowych pojawiające się podczas okresu spoczynku **przed** pierwszą eksploracją nowego środowiska, które częściowo odpowiadały sekwencjom komórek miejsca obserwowanym później podczas rzeczywistego przemieszczania się zwierzęcia. Wynik ten podważał prostą wersję modelu, według której każda sekwencja przestrzenna powstaje dopiero w wyniku danego doświadczenia, a następnie zostaje odtworzona podczas snu. Sugerował on raczej, że hipokamp posiada wcześniej istniejące struktury dynamiczne, które nowe doświadczenie może wykorzystać i dopasować do aktualnej przestrzeni. Preplay nie oznacza jednak, że mózg proroczo zna przyszłą trasę. Bardziej prawdopodobne jest, że sieć dysponuje repertuarem potencjalnych sekwencji wynikających z jej wewnętrznej architektury, a rzeczywiste doświadczenie rekrutuje niektóre z nich do reprezentowania konkretnego środowiska. Różnica jest zasadnicza.

W pierwszej, sensacyjnej interpretacji mózg "widzi przyszłość"; w drugiej posiada generatywną dynamikę zdolną do tworzenia struktur, które później mogą zostać powiązane z rzeczywistym doświadczeniem. Ta druga interpretacja jest zarazem bardziej interesująca teoretycznie, ponieważ sugeruje, że pamięć nie jest systemem pisanym wyłącznie przez świat zewnętrzny. Układ neuronalny wnosi do uczenia własne ograniczenia, priorytety i gotowe możliwości organizacyjne. Autor książki nazywa preplay "kodowaniem antycypacyjnym" i wiąże je bezpośrednio z symulacją wyobrażeniową. Pierwsza część tego określenia może być użyteczna, druga wymaga większej rezerwy.

Dane wspierają tezę, że hipokamp może generować sekwencje odnoszące się do możliwych lub przyszłych trajektorii, ale nie dowodzą, iż preplay jest biologicznym odpowiednikiem ludzkiej wyobraźni. U człowieka symulacja przyszłości angażuje nie tylko hipokamp, lecz rozległą sieć obejmującą obszary przyśrodkowej kory przedczołowej, tylne okolice sieci default mode, struktury ciemieniowe, systemy wartościowania i funkcje wykonawcze. Hipokamp dostarcza ważnego mechanizmu konstrukcji relacyjnej, ale nie wyczerpuje pojęcia wyobraźni.

Wielofunkcyjność replay jako most między pamięcią a prospekcją

Inne znaczenie ma replay występujący przed podjęciem decyzji. Badania nad nawigacją wskazują, że w chwilach zatrzymania sekwencje hipokampalne mogą reprezentować możliwe drogi prowadzące od aktualnego położenia ku przyszłym lokalizacjom. W części doświadczeń zawartość tych sekwencji koreluje z późniejszym wyborem zwierzęcia, co wspiera interpretację replayu jako elementu planowania. Jednocześnie przeglądy literatury podkreślają wielofunkcyjność tego procesu: może on służyć konsolidacji, przypominaniu, ocenie wartości, aktualizacji mapy poznawczej oraz planowaniu. Nie ma dziś podstaw, by każdemu zdarzeniu replay przypisać jedną nadrzędną funkcję; taka elastyczność jest zgodna z ekonomią złożonego układu biologicznego.

Ewolucja nie musiała tworzyć osobnych mechanizmów dla utrwalania przeszłości i przewidywania przyszłości, skoro uporządkowane odtwarzanie sekwencji może uczestniczyć w obu tych procesach. Przeszła trajektoria bywa reaktywowana, by wzmocnić pamięć, lecz jej elementy mogą jednocześnie służyć do oceny kolejnej drogi. To samo doświadczenie dostarcza informacji o tym, co było, i o prawdopodobnych konsekwencjach przyszłych działań. Funkcjonalna granica między pamięcią a prospekcją staje się zatem przepuszczalna nie dlatego, że są one identyczne, lecz ponieważ wykorzystują częściowo wspólne reprezentacje. Dobrze obrazuje to perspektywa reinforcement learning: system podejmujący decyzje musi aktualizować wartości stanów i działań na podstawie zgromadzonego doświadczenia.

Fizyczne ponowne przebywanie wszystkich możliwych tras byłoby kosztowne i niebezpieczne. Jeśli jednak sieć potrafi w trybie offline reaktywować poznane wcześniej sekwencje, może aktualizować model wartości bez konieczności rzeczywistego wykonywania każdego działania. Współczesne próby integracji replayu z modelami uczenia ze wzmocnieniem traktują go właśnie jako mechanizm priorytetyzowanego przetwarzania doświadczeń o dużej spodziewanej użyteczności dla przyszłych decyzji. W ten sposób replay zyskuje znaczenie wykraczające poza klasyczną konsolidację – organizm nie tylko wzmacnia to, co przeżył.

Może on przeliczać konsekwencje własnej historii, aktualizować relacje między stanami i reorganizować priorytety. Z punktu widzenia wcześniejszych rozważań nad pamięcią prospektywną jest to istotne uzupełnienie: przyszłość nie musi być generowana dopiero w świadomej refleksji. Część infrastruktury przygotowującej działanie może funkcjonować automatycznie, zanim jednostka sformułuje jawny plan. Sen staje się w tym ujęciu jednym z głównych stanów umożliwiających przetwarzanie offline. Podczas fazy NREM zmniejsza się napływ bodźców zewnętrznych, a rytmy korowo-hipokampalne tworzą warunki do reaktywacji informacji bez

konieczności bezpośredniego działania w świecie. Pamięć uruchamia się w środowisku wewnętrznym, w którym system nie musi obsługiwać pełnej presji aktualnej percepcji i zachowania. Sen daje mózgowi szczególną formę czasu obliczeniowego: nie jest on całkowicie odłączony od świata, lecz część zasobów zostaje przesunięta ku przetwarzaniu zgromadzonych doświadczeń.

Nie oznacza to jednak, że sen służy wyłącznie pamięci. Regulacja metaboliczna, odpornościowa, homeostaza synaptyczna i liczne inne funkcje są równie istotne; współczesne teorie nie redukują snu do jednego mechanizmu konsolidacyjnego. Nawet w obszarze pamięci istnieją konkurencyjne, choć częściowo komplementarne modele. Obok teorii aktywnej konsolidacji funkcjonuje hipoteza synaptic homeostasis, zgodnie z którą sen może między innymi przeciwdziałać globalnemu wzrostowi siły synaptycznej powstającemu podczas czuwania, zwiększać stosunek sygnału do szumu i przygotowywać sieć do dalszego uczenia.

Sen jako selektywna reorganizacja i symulacja pamięci

Przeglądy literatury wskazują raczej na potrzebę integracji różnych teorii niż wybór jednej z nich. Z punktu widzenia tożsamości szczególnie istotne jest to, że konsolidacja nie polega na prostym utrwalaniu wszystkich szczegółów. Długotrwałe przechowywanie informacji może wiązać się z transformacją reprezentacji: wydobywaniem regularności, integrowaniem epizodu z wcześniejszą wiedzą oraz osłabianiem danych peryferyjnych na rzecz elementów kluczowych. Jeśli tak jest, sen nie służy jedynie konserwacji przeszłości, lecz współuczestniczy w selekcjonowaniu jej przyszłej postaci. Człowiek budzi się zatem niekoniecznie z dokładniejszą fotograficzną kopią dnia poprzedniego, lecz z systemem pamięciowym, którego relacje zostały częściowo przeorganizowane.

Ta właściwość pozwala ostrożnie powrócić do kwestii snów. Autor książki przedstawia sen i świadome śnienie jako swoiste biologiczne środowisko symulacyjne, w którym fragmenty engramów mogą być rekombinowane poza bieżącą kontrolą sensoryczną. Intuicja ta jest zgodna z obserwacją, że treści snów wykorzystują elementy doświadczeń niedawnych i odległych, jednak nie należy utożsamiać marzeń sennych z replayem rejestrowanym elektrofizjologicznie. Replay to precyzyjnie zdefiniowane zjawisko aktywności zespołów neuronalnych; sen natomiast jest stanem znacznie bardziej złożonym, zarówno fenomenologicznie, jak i neurobiologicznie. Nie wiadomo, w jakiej mierze konkretny replay hipokampalny odpowiada określonej treści zapamiętanego snu. Podobnie ostrożnie należy traktować popularną hipotezę, według której faza REM umożliwia ponowne przetwarzanie emocjonalnych wspomnień w warunkach niskiej aktywności noradrenergicznej, co miałoby pozwolić na zachowanie treści zdarzenia przy jednoczesnym

zmniejszeniu jego ładunku emocjonalnego. Koncepcja ta odegrała ważną rolę w badaniach nad snem i emocjami, znajdując uzasadnienie w specyficznej neuromodulacji fazy REM, jednak pozostaje hipotezą, a nie ustalonym prawem neurobiologii.

Nowsze przeglądy oraz metaanalizy wskazują na złożone, a czasem niespójne zależności między fazą REM, pamięcią emocjonalną i późniejszą reaktywnością afektywną. Systematyczny przegląd badań nad deprywacją REM z 2024 roku podkreśla znaczenie tej fazy, ale jednocześnie zwraca uwagę na dużą heterogeniczność metod i wyników. Wobec tego twierdzenie autora książki, że podczas snów dochodzi do "odłączenia afektywnego ciężaru traumy od jej komponentu deklaratywnego", należy potraktować jako interesującą hipotezę interpretacyjną, a nie bezpośrednio wykazany mechanizm. Sen niewątpliwie wpływa na przetwarzanie emocjonalne, a faza REM posiada specyficzne właściwości neurochemiczne, lecz nie ma podstaw do twierdzenia, że każdy traumatyczny engram jest nocą systematycznie desensytyzowany. Zjawiska PTSD pokazują wręcz, że u części osób sen i marzenia senne mogą stać się miejscem powtarzalnych, silnie afektywnych reaktywacji, a nie prostego wygaszania emocji. Ta komplikacja jest poznawczo wartościowa, gdyż dowodzi, że nocna reorganizacja pamięci nie zawsze działa w kierunku adaptacyjnym. System biologiczny może utrwalać wzorce zarówno korzystne, jak i patologiczne. Jeśli określone doświadczenie zostanie nadmiernie uprzywilejowane przez uwagę, stres lub wielokrotną reaktywację, procesy konsolidacyjne mogą ustabilizować reprezentację, która w przyszłości utrudnia funkcjonowanie.

Pamięć jako proces aktywnego podtrzymywania

Sen nie jest zatem automatycznym terapeutą, lecz stanem, w którym zachodzą procesy mogące uczestniczyć zarówno w adaptacyjnym porządkowaniu pamięci, jak i w utrwalaniu niekorzystnych wzorców. Z kolei świadome śnienie (**lucid dreaming**), choć fascynujące dla badań nad metapoznaniem i kontrolą stanów świadomości, nie dostarcza obecnie podstaw do budowania szerokiej teorii „edytowania engramów podczas snu”. Choć można w pewnym zakresie rozpoznać, że się śni, i czasem wpływać na przebieg marzenia sennego, przełożenie tego zjawiska na precyzyjną modyfikację konkretnego śladu pamięciowego pozostaje jedynie spekulacją. Nauka o engramach wymaga tutaj szczególnej odporności na atrakcyjność języka technologicznego.

To, że sen tworzy warunki dla reorganizacji pamięci, nie oznacza, iż świadomość może dowolnie sterować tym procesem. Znacznie silniejsza empirycznie jest teza dotycząca roli NREM i SWRs w konsolidacji. Zakłócanie ripple może osłabiać późniejszą pamięć, a ich czasowe powiązanie z korowymi wrzecionami i wolnymi oscylacjami wskazuje na mechanizm skoordynowanej

komunikacji między hipokampem a korą. Oznacza to, że przeszłe doświadczenie zostaje reaktywowane w stanie, gdy organizm nie wykonuje odpowiadającego mu zachowania, a ta wewnętrzna aktywność rzutuje na późniejszy dostęp do informacji. Pamięć okazuje się więc podtrzymywana nie tylko przez strukturę, lecz przez okresowe ponowne uruchamianie odpowiednich dynamik sieciowych. To spostrzeżenie wymusza korektę metafory archiwum: dokument w bibliotece może pozostawać nienaruszony przez lata bez konieczności okresowego „odtwarzania", podczas gdy biologiczna pamięć działa inaczej.

Stabilność informacji może wymagać jej reaktywowania, integracji i reorganizacji. Pamiętać to zatem nie tylko posiadać ślad, lecz utrzymywać system zdolny do jego okresowego używania; pamięć biologiczna jest konserwowana przez aktywność. Pojawia się tu związek z problemem representational drift. Jeżeli pojedyncze neurony zmieniają właściwości, a mimo to informacja pozostaje funkcjonalnie stabilna, powtarzana reaktywacja podczas snu i odpoczynku może należeć do mechanizmów ciągłego „kalibrowania" sieci. Nie oznacza to, że replay bezpośrednio naprawia każdy przejaw dryfu, lecz oba zjawiska wpisują się w model pamięci jako aktywnie podtrzymywanego procesu. Stabilność osiągana jest przez nieustanną pracę systemu, a nie przez zatrzymanie jego dynamiki.

Na poziomie psychologicznym ma to istotną konsekwencję: człowiek nie kontroluje pełnego procesu, dzięki któremu jego historia jest biologicznie podtrzymywana. Znaczna część pracy pamięci zachodzi poza świadomością – podczas snu, spoczynku, spontanicznych reaktywacji czy automatycznych skojarzeń, w stanach, w których podmiot nie podejmuje intencjonalnej decyzji o konsolidacji konkretnego wspomnienia.

Autobiograficzne „Ja", które doświadcza siebie jako autora historii, jest zatem częściowo wspierane przez procesy, których nie jest autorem. Obserwacja ta ogranicza skrajnie woluntarystyczne koncepcje samokształtowania. Człowiek może świadomie kierować uwagą, uczyć się, powtarzać materiał czy reinterpretować zdarzenia, lecz końcowa organizacja pamięci jest rezultatem współdziałania procesów kontrolowanych i automatycznych. Nie możemy po prostu zdecydować, że określone wspomnienie zostanie utrwalone dokładnie w takiej postaci, jakiej chcemy; mózg dokonuje własnej selekcji zgodnie z regułami biologicznymi, historią uczenia, stanem emocjonalnym i strukturą sieci.

Równocześnie właśnie dlatego technologia ingerująca w sen lub SWRs mogłaby w przyszłości uzyskać szczególnie głęboki wpływ na pamięć. Jeśli procesy offline decydują o tym, które reprezentacje zostaną wzmocnione i jak zintegrowane z istniejącą wiedzą, selektywne sterowanie nimi oznaczałoby wpływanie na przyszłą dostępność doświadczeń bez konieczności modyfikowania ich w chwili świadomego przypominania. Już dziś eksperymenty nad targeted memory reactivation

wykorzystują bodźce prezentowane podczas snu, aby modulować konsolidację wcześniej uczonego materiału, choć skala i precyzja tych efektów pozostają nieporównanie mniejsze od fantazji o nocnym programowaniu osobowości. Aksjologicznie byłaby to zmiana fundamentalna.

Interwencja w świadome wspomnienie pozostawia osobie przynajmniej możliwość rozpoznania, że jej pamięć jest przedmiotem oddziaływania. Manipulacja procesami konsolidacji podczas snu mogłaby natomiast zachodzić w stanie ograniczonej zdolności do monitorowania. Z tego względu przyszła neuroetyka pamięci będzie musiała analizować nie tylko to, co jest modyfikowane, ale również kiedy, w jakim stanie świadomości i z jaką możliwością cofnięcia zgody. Sen ujawnia zatem niezwykle ważną własność pamięci: autobiografia jest częściowo redagowana poza autobiograficzną świadomością. Układ nerwowy po zakończeniu działania nadal przetwarza ślady aktywności, reorganizuje ich relacje oraz przygotowuje warunki późniejszego zachowania. Człowiek żyje więc nie tylko z pamięci przeszłości, lecz z rezultatów nieustannej, w znacznej mierze nieświadomej pracy wykonywanej na tej przeszłości.

Pamięć jako generatywny fundament wyobraźni i przyszłości

W tym miejscu mechanizmy replay i preplay można zestawić, nie utożsamiając ich jednak ze sobą. Replay dowodzi, że wcześniejsza sekwencja może zostać reaktywowana poza realnym działaniem. Preplay z kolei wskazuje, że sieć może dysponować uporządkowanymi sekwencjami jeszcze przed konkretnym doświadczeniem lub dokonaniem wyboru. Wraz z badaniami nad prospekcją rysuje to obraz hipokampa nie jako biernego archiwum, lecz generatora relacyjnych konfiguracji, który wykorzystuje przeszłość, strukturę sieci i aktualne cele do organizacji możliwych stanów przyszłych. Nie jest to jeszcze pełna teoria wyobraźni, lecz biologiczna infrastruktura, bez której wyobrażenie przyszłego działania byłoby znacznie trudniejsze. To właśnie tutaj pamięć ukazuje swoją najbardziej paradoksalną właściwość: jej wartość nie kończy się na zachowaniu tego, co rzeczywiście się wydarzyło.

Układ potrafi reaktywować doświadczenie w formie skompresowanej, łączyć je z innymi reprezentacjami, wykorzystywać do oceny alternatywnych tras i wpisywać w strukturę przyszłych decyzji. Przeszłość staje się materiałem obliczeniowym. Biologiczna pamięć jest zatem jednocześnie konserwatywna i generatywna: musi zachować wystarczająco wiele z doświadczenia, by można było mu ufać, a jednocześnie przekształcać je na tyle swobodnie, by służyło w sytuacjach zupełnie nowych. Ta generatywność zbliża replay do wyobraźni, lecz zarazem pokazuje, dlaczego nie wolno ich utożsamiać. Ludzka wyobraźnia tworzy bowiem przyszłości społeczne, moralne, polityczne,

technologiczne i metafizyczne, których nie da się sprowadzić do hipokampalnej trajektorii przestrzennej.

Korzysta ona z języka, wiedzy semantycznej, norm kulturowych i wielopoziomowego wnioskowania. Hipokamp dostarcza mechanizmów wiązania i sekwencjonowania elementów doświadczenia, jednak pełna wyobraźnia wyłania się na poziomie całej architektury poznawczej. Neurobiologia replay wnosi do filozofii wyobraźni jedną zasadniczą korektę: twórcza przyszłość nie powstaje w opozycji do pamięci, lecz częściowo dzięki temu, że pamięć nigdy nie jest wyłącznie przechowywaniem.

Ten sam układ, który po doświadczeniu reaktywuje przeszłą trajektorię, potrafi również generować sekwencje związane z potencjalnym dalszym ruchem. Mechanizm konserwacji informacji i mechanizm generowania możliwości okazują się ze sobą splecione. Jeśli wcześniejsze rozważania autora prowadziły od engramu do pytania o edycję wspomnienia, ta część odsłania jeszcze głębszy wymiar problemu. Człowiek ingerujący w mechanizmy pamięci nie wpływa wyłącznie na zapis przeszłości; może potencjalnie modyfikować procesy, za pomocą których układ wybiera, utrwala i ponownie zestawia fragmenty doświadczenia służące konstruowaniu przyszłości. To znacząco zwiększa ciężar aksjologiczny neurotechnologii. Manipulowanie engramem nie musi kończyć się zmianą odpowiedzi na pytanie „co pamiętam?", lecz może zmienić także odpowiedź na pytania: „czego się spodziewam?", „czego unikam?", „do czego zmierzam?" i „jakie możliwości potrafię w ogóle przedstawić sobie jako własną przyszłość?".

W tym punkcie pamięć, wyobraźnia i tożsamość ponownie zbiegają się w jednym problemie temporalnym. Pamięć dostarcza materiału, sen i procesy offline go reorganizują, prospekcja wykorzystuje do budowania modeli przyszłości, a narracyjne „Ja" integruje oba te wymiary w historię życia. Człowiek nie jest zatem istotą uwięzioną w teraźniejszości z dwoma dodatkowymi modułami do patrzenia wstecz i naprzód. Jest systemem stale przemieszczającym informację między czasami: przeszłość modyfikuje teraźniejszość, teraźniejszość przepisuje znaczenie przeszłości, a obie wspólnie wyznaczają ramy przestrzeni przyszłości.

Żałoba jako proces aktualizacji błędnych predykcji

Ten układ stanie się jeszcze bardziej przejrzysty, gdy przejdziemy do doświadczenia, w którym przyszłość ulega brutalnemu zerwaniu – do utraty drugiego człowieka. Śmierć osoby bliskiej nie usuwa engramów relacji; pozostawia mózg wyposażony w tysiące predykcji, nawyków i wspomnień dotyczących kogoś, kogo świat przestał dostarczać. Powstaje wówczas szczególny konflikt między pamięcią a rzeczywistością: wewnętrzny model nadal przewiduje obecność osoby, której już nie ma.

Żałoba może być dzięki temu analizowana nie tylko jako emocja straty, lecz jako długotrwały proces aktualizacji predykcyjnej, w którym system pamięciowy musi nauczyć się świata zmienionego przez nieobecność.

Śmierć bliskiej osoby stawia przed teorią pamięci problem szczególny. Wydarzenie zewnętrzne zmienia rzeczywistość natychmiast, podczas gdy mózg nie jest zdolny równie szybko przebudować całego systemu reprezentacji wytworzonego przez lata wspólnego życia. Człowiek może wiedzieć, że ktoś umarł, a jednocześnie przez długi czas zachowywać automatyczne oczekiwania jego obecności: sięgać po telefon, by przekazać wiadomość, odruchowo spoglądać w stronę drzwi na dźwięk znajomego kroku czy planować przyszłość z uwzględnieniem osoby, której fizycznie już nie ma.

Żałoba ujawnia tym samym głęboką różnicę między deklaratywnym poznaniem faktu a stopniową aktualizacją modelu świata. Śmierć można zrozumieć w jednej chwili, ale jej konsekwencje muszą zostać „nauczone" przez system predykcyjny poprzez wielokrotne doświadczenie nieobecności. Autor książki ujmuje ten konflikt za pomocą pojęcia **prediction error**.

W przedstawionej przez niego interpretacji relacja z drugim człowiekiem tworzy rozbudowany system oczekiwań dotyczących głosu, zachowań i obecności bliskiej osoby oraz wspólnej przyszłości. Śmierć gwałtownie przeczy tym oczekiwaniom, powodując trwałą rozbieżność między wewnętrznym modelem świata a napływającą informacją sensoryczną. Podejście to nie powinno być jednak traktowane jako kompletna neurobiologiczna teoria żałoby. Współczesne badania pokazują bowiem, że proces ten angażuje przywiązanie, uczenie, pamięć autobiograficzną, regulację afektu, system nagrody, stres oraz poznanie społeczne. Przegląd neuroobrazowania opublikowany w 2026 roku podkreśla zresztą, że neuronalne mechanizmy **bereavement** pozostają częściowo niejasne, a dotychczasowe wyniki są metodologicznie heterogeniczne. Szczególnie produktywną teorię zaproponowały Mary-Frances O'Connor i Saren Seeley, ujmując żałobę jako swoistą formę uczenia.

Ich model "gone-but-also-everlasting" wychodzi od paradoksu charakterystycznego dla silnej więzi. Człowiek posiada semantyczną wiedzę, że osoba bliska istnieje w świecie w sposób trwały i jest potencjalnie dostępna, oraz niezliczone epizodyczne wspomnienia potwierdzające jej obecność. Po śmierci pojawia się nowa wiedza: osoba odeszła nieodwracalnie.

Żałoba jako proces aktualizacji błędnych predykcji

Te dwie struktury informacji nie integrują się natychmiast. Układ przywiązania i wyuczone przewidywania nadal funkcjonują zgodnie z modelem budowanym przez lata, podczas gdy

rzeczywistość dostarcza kolejnych sygnałów o trwałej nieobecności. O'Connor i Seeley sugerują zatem, że żałoba wymaga stopniowej aktualizacji predykcji dotyczących dostępności figury przywiązania – proces ten z natury potrzebuje czasu i powtarzalnego doświadczenia. Mechanizm ten można opisać w języku uczenia predykcyjnego.

Przed śmiercią model relacji zakłada wysokie prawdopodobieństwo ponownego spotkania po czasowej separacji. Bliska osoba może wyjść z domu, udać się w podróż lub nie odpowiadać przez kilka godzin, lecz doświadczenie wcześniejszych powrotów podtrzymuje przekonanie, że nieobecność jest przejściowa. Przywiązanie wymaga wręcz zdolności do utrzymywania reprezentacji drugiego człowieka podczas jego chwilowego braku. Właściwość ta jest adaptacyjna: niemowlę, partner czy członek wspólnoty nie może przy każdej fizycznej separacji traktować relacji jako unicestwionej. Śmierć jest jednak zdarzeniem wyjątkowym właśnie dlatego, że przekształca ten mechanizm adaptacyjny w źródło systematycznego błędu. Model, który przez lata trafnie przewidywał powrót, zaczyna generować predykcję, której świat już nigdy nie potwierdzi.

W takim ujęciu ból żałoby nie wynika jedynie z poznawczej świadomości faktu, że „ktoś nie żyje". Jest on również konsekwencją wielokrotnego zderzania się istniejącego modelu relacji z doświadczeniem trwałej nieobecności. Każda sytuacja, w której wcześniej obecna była bliska osoba, może stać się sygnałem błędu predykcji. Puste miejsce przy stole, brak wiadomości o zwykłej porze, wejście do domu, w którym nikt już nie czeka, fragment muzyki, zapach, trasa spaceru czy święto rodzinne – wszystko to aktywuje oczekiwania wypracowane w okresie wspólnego życia, a następnie obnaża ich niezgodność z aktualnym stanem świata. Właśnie dlatego żałoba może powracać falami nawet u kogoś, kto intelektualnie od dawna rozumie nieodwracalność śmierci.

Taki model pomaga również wyjaśnić pozornie irracjonalne odruchy obserwowane po stracie. Człowiek może przez chwilę oczekiwać telefonu od zmarłego, pomyśleć o kupieniu dla niego konkretnego przedmiotu lub automatycznie formułować zdanie, które chciałby mu później przekazać. Nie musi to oznaczać zaburzenia rozpoznania rzeczywistości; może wynikać z bezwładności dobrze utrwalonych modeli predykcyjnych i nawyków. O'Connor i Seeley przywołują przykład osoby, która długo po śmierci matki odruchowo chce do niej zadzwonić w chwili, gdy wydarzy się coś wartego opowiedzenia.

Nowa wiedza semantyczna jest już obecna, lecz proceduralne i relacyjne przewidywanie wymaga dalszej aktualizacji. Żałoba jest zatem procesem uczenia wyjątkowym, ponieważ jego celem nie jest zapomnienie więzi. System musi przyswoić dwa pozornie sprzeczne fakty: że osoba nie powróci fizycznie oraz że jej znaczenie nie zostało przez śmierć unieważnione. Gdyby adaptacja wymagała całkowitego usunięcia reprezentacji zmarłego, zdrowienie oznaczałoby rodzaj amnezji relacyjnej. Tymczasem psychologia żałoby od dawna odchodzi od takiej koncepcji. Dawne modele często

akcentowały konieczność „odłączenia” energii emocjonalnej od zmarłego i ponownego skierowania jej na świat żywych. Współczesne podejścia dotyczące **continuing bonds** wskazują natomiast, że więź może ulec transformacji, nie znikając całkowicie. Systematyczny przegląd badań nad continuing bonds z 2024 roku ujmuje utrzymywanie więzi poprzez wspomnienia, działania, przedmioty, wewnętrzny dialog, poczucie obecności i inne formy symbolicznej relacji ze zmarłym. Wyniki te nie pozwalają jednak na prostą konkluzję, że utrzymywanie więzi jest zawsze korzystne. Może ono przynosić pocieszenie, wspierać rekonstrukcję znaczenia i tożsamości, ale w niektórych okolicznościach współwystępuje również z nasilonym cierpieniem. Znaczenie zależy od formy więzi, charakteru relacji przed śmiercią, sposobu jej interpretacji, kontekstu kulturowego i przebiegu samej żałoby.

Wcześniejsze przeglądy dochodziły do podobnego wniosku: ani całkowite „zerwanie” więzi, ani jej utrzymywanie nie może zostać uznane za uniwersalną receptę adaptacyjną.

To rozróżnienie pozwala precyzyjniej zinterpretować biograficzny wątek Xu Liu. Autor książki przedstawia więź Steve'a Ramireza z Liu jako relację jednocześnie naukową, przyjacielską i formacyjną. Po przedwczesnej śmierci Liu wspomnienie wspólnej pracy, rozmów i rytuałów miało pozostać centralnym elementem sposobu, w jaki Ramirez rozumiał własny program badawczy; sama książka **How to Change a Memory** zostaje opisana jako rodzaj symbolicznego „engramu relacyjnego”, poprzez który pamięć o współpracowniku zostaje włączona w dalszą działalność żyjącej osoby.

Biologiczne i systemowe podstawy pamięci relacyjnej

Należy zachować rozróżnienie poziomów: książka nie jest oczywiście engramem w neurobiologicznym sensie zespołu komórek. Metafora ta pozostaje jednak interesująca antropologicznie, gdyż pokazuje, jak ślad relacji może zostać eksternalizowany w tekście, idei, instytucji czy dalszym działaniu. Sformułowanie Ramireza przytoczone w książce, zgodnie z którym "wszyscy zawieramy w sobie engramy siebie nawzajem", powinno zostać potraktowane jako synteza biologiczno-humanistyczna, a nie ścisła definicja neuroanatomiczna. Precyzyjniej można ująć to tak: interakcje społeczne pozostawiają w mózgu reprezentacje umożliwiające rozpoznawanie konkretnych osobników, przewidywanie ich zachowań, przywoływanie wspólnych doświadczeń oraz regulację własnego postępowania w relacji z nimi. Nie istnieje jednak pojedynczy "engram człowieka", który odpowiadałby całej złożoności relacji.

Pamięć drugiej osoby jest rozproszona między systemami odpowiedzialnymi za rozpoznawanie twarzy i głosu, pamięć epizodyczną, wiedzę semantyczną, afekt, przywiązanie, nagrodę, język oraz

reprezentację społeczną. Badania na modelach zwierzęcych pokazują mimo to, że pamięć społeczna posiada identyfikowalne komponenty hipokampalne. Hitti i Siegelbaum wykazali, że selektywne zaburzenie funkcji neuronów piramidowych regionu CA2 hipokampa u myszy głęboko upośledza zdolność rozpoznawania wcześniej spotkanego osobnika, przy jednoczesnym zachowaniu ogólnej socjalności i części innych funkcji pamięciowych. Dzięki temu CA2 okazało się ważnym węzłem przetwarzania pamięci społecznej. Nie oznacza to, że region ten "przechowuje przyjaźń", lecz dowodzi, iż rozpoznanie konkretnego innego organizmu korzysta ze specjalizowanych mechanizmów neuronalnych. Jeszcze bardziej bezpośrednią demonstrację przedstawił w 2016 roku zespół Teruhiro Okuyamy, Takashiego Kitamury, Dheeraja Roya i Susumu Tonegawy.

W badaniu opublikowanym w "Science" wykazano, że populacje neuronów brzusznego CA1 hipokampa reagują na znajome osobniki, a ich projekcje do powłoki jądra półleżącego uczestniczą w pamięci społecznej. Optogenetyczna reaktywacja komórek odpowiadających znajomej myszy umożliwiła wydobycie reprezentacji tego osobnika, a same neurony można było włączać w nowe asocjacje. Wynik ten stanowi jeden z najmocniejszych eksperymentalnych argumentów za tym, że mózg może tworzyć selektywne zespoły uczestniczące w reprezentowaniu konkretnego partnera społecznego. Granica translacji pozostaje jednak zasadnicza. Rozpoznawanie myszy przez inną mysz nie jest równoważne ludzkiej przyjaźni, miłości, rodzicielstwu czy wspólnocie naukowej. Relacja człowieka jest dodatkowo konstruowana przez język, normy, wspólne projekty, zobowiązania moralne, symbole i narrację autobiograficzną.

Badania nad CA2 i vCA1 dostarczają jednak biologicznej podstawy dla ogólnej tezy, że drugi osobnik nie pozostaje dla mózgu anonimowym bodźcem. Historia interakcji zmienia układ nerwowy w taki sposób, aby konkretna istota mogła zostać rozpoznana jako znajoma, a wcześniejsze doświadczenia wpływały na kolejne spotkanie. W ludzkiej relacji skala tego procesu zostaje zwielokrotniona; wieloletni partner staje się częścią ogromnej liczby modeli przewidywania.

Wiemy, co prawdopodobnie powie w określonej sytuacji, jakie potrawy wybiera, czego nie lubi, jak reaguje na konflikt, jakie ma plany, kiedy zwykle wraca do domu czy jak brzmi jego krok na schodach. Wiedza ta nie musi być stale uświadamiana deklaratywnie – znaczna jej część istnieje w postaci automatycznych oczekiwań i nawyków. Relacja zostaje zatem wbudowana w model środowiska, a drugi człowiek staje się jednym z elementów, z którymi system regularnie koordynuje własne działanie. Teoria przywiązania pozwala zrozumieć, dlaczego utrata takiej osoby jest czymś więcej niż utratą pojedynczego bodźca.

Figura przywiązania uczestniczy w regulacji poczucia bezpieczeństwa, poszukiwaniu wsparcia i organizowaniu zachowania. W dojrzałej relacji jej reprezentacja może wpływać na decyzje nawet podczas fizycznej nieobecności partnera. O'Connor i Seeley ujmują ten proces radykalnie: po

utworzeniu silnej więzi funkcjonalny model jednostki zostaje częściowo przekształcony w model diady.

Żałoba jako kosztowna reorganizacja modeli predykcyjnych

Śmierć usuwa z rzeczywistości jeden element systemu, lecz reprezentacyjne i regulacyjne konsekwencje więzi nie znikają w tej samej chwili. Stąd wyjątkowa siła prediction error po stracie. W zwykłym uczeniu błąd predykcji prowadzi do stosunkowo prostego dostosowania oczekiwań – jeśli restauracja, która zazwyczaj jest otwarta, pozostaje zamknięta kilka razy z rzędu, model zostaje szybko zaktualizowany. W przypadku śmierci aktualizacji przeciwstawia się jednak ogromna liczba wcześniejszych doświadczeń oraz szczególna struktura więzi. Tysiące potwierdzonych predykcji o istnieniu i dostępności osoby konkurują z nowym faktem, który jest jednocześnie wyjątkowy i ostateczny. Proces uczenia musi więc przezwyciężyć statystyczny ciężar wieloletniej historii. Intensywność żałoby można zatem częściowo rozumieć jako koszt głębi przywiązania. Im szerzej druga osoba została włączona w nawyki, plany, wspomnienia i system regulacji, tym więcej elementów modelu wymaga aktualizacji po śmierci. Nie oznacza to jednak prostego równania "silniejsza miłość = silniejsza lub dłuższa żałoba"; przebieg bereavement zależy od wielu czynników, w tym charakteru śmierci, wcześniejszej relacji, zasobów społecznych, zdrowia psychicznego i znaczenia przypisywanego stracie. Pokazuje to jednak, dlaczego żałoby nie można sprowadzić do jednego stanu emocjonalnego.

Jest ona reorganizacją modelu świata. O'Connor i Seeley wskazują, że aktualizacja dotyczy przynajmniej kilku poziomów jednocześnie: muszą zostać zmienione automatyczne nawyki związane z drugą osobą, reprezentacja własnego "Ja" musi uwzględnić jej trwałą nieobecność, a system przywiązania musi częściowo zreorganizować hierarchię relacji pozwalających realizować potrzeby społeczne. Jest to proces biologiczny, psychologiczny i społeczny jednocześnie, dlatego nie wystarczy jedynie "zaakceptować fakt" w sensie deklaratywnym.

Trzeba nauczyć całe zachowanie świata, w którym dotychczasowy partner relacyjny nie jest już dostępny. Szczególną rolę odgrywa tu pamięć prospektywna, której znaczenie analizowaliśmy wcześniej. Relacja jest zakotwiczona nie tylko we wspomnieniach tego, co było, lecz również w modelach tego, co miało nadejść. Partnerzy planują wakacje, starość, wspólne przedsięwzięcia, kolejne rozmowy, posiłki i banalne czynności dnia następnego. Śmierć unicestwia zatem nie tylko przyszłą realizację planów, ale cały zbiór mentalnych symulacji, w których zmarły zajmował określoną pozycję. Żałoba jest dlatego również utratą części przyszłości. Ten aspekt pozwala

dostrzec związek między pamięcią a wyobraźnią w szczególnie dramatycznej formie. Wcześniej wskazaliśmy, że autobiograficzna pamięć dostarcza materiału do konstruowania scenariuszy przyszłości; jeżeli ogromna część tego materiału dotyczy określonej osoby, jej reprezentacja w naturalny sposób pojawia się także w prospekcji. Po śmierci system musi nauczyć się generować przyszłość, w której człowieka tego fizycznie nie będzie, zachowując zarazem przeszłość, w której był. Adaptacja wymaga więc nie usunięcia engramów relacji, lecz zmiany ich temporalnej funkcji. Tę przemianę dobrze opisuje koncepcja continuing bonds.

Zdrowa reorganizacja więzi może polegać na przejściu od oczekiwania realnego powrotu do wewnętrznej reprezentacji osoby jako elementu pamięci, wartości i tożsamości. Zmarły może pozostać ważnym punktem odniesienia moralnego lub autobiograficznego bez traktowania go jako fizycznie dostępnego uczestnika teraźniejszości. Systematyczne przeglądy podkreślają rolę continuing bonds w rekonstrukcji znaczenia i relacyjnej tożsamości, wskazując jednocześnie, że skutki zależą od formy więzi i kontekstu. Można zatem rozróżnić więź internalizowaną od więzi opartej na nieustającym oczekiwaniu fizycznego spotkania. Pierwsza może wspierać autonomię: człowiek zachowuje wartości, sposób myślenia lub symboliczne dziedzictwo zmarłego i wykorzystuje je w dalszym życiu. Niektóre badania nad continuing bonds łączą właśnie takie internalizowane reprezentacje z pozytywnymi aspektami adaptacji i rozwoju. Druga forma może w pewnych warunkach utrzymywać konflikt z rzeczywistością i utrudniać aktualizację modelu nieobecności. Granica ta nie jest jednak prosta, ponieważ doświadczenia poczucia obecności zmarłego mogą występować także w normatywnej żałobie i same w sobie nie przesądzają o patologii. To rozróżnienie chroni przed medykalizacją samego przywiązania.

Żałoba jest bolesna, ale ból po śmierci osoby znaczącej nie jest automatycznie zaburzeniem psychicznym. Współczesna psychiatria rozpoznaje prolonged grief disorder jako odrębny stan kliniczny charakteryzujący się utrzymującymi się i funkcjonalnie upośledzającymi objawami, jednak istnienie tej diagnozy nie oznacza, że długotrwała pamięć o zmarłym albo continued bond jest patologiczna. Mechanizm klinicznego utrwalenia żałoby pozostaje złożony, a obecna neurobiologia nie pozwala sprowadzić PGD do jednego obwodu, neuroprzekaźnika czy "niezaktualizowanego engramu". Najnowszy przegląd neuroobrazowania z 2026 roku podkreśla wręcz ograniczoną liczebność badań i niejednorodność ich wyników. Wcześniejsze analizy zwracały uwagę na układy nagrody, w tym jądro półleżące, szczególnie w związku z tęsknotą i motywacyjnym aspektem poszukiwania osoby bliskiej. Nie należy jednak interpretować tych danych tak, jak gdyby żałoba była rodzajem uzależnienia od zmarłego.

Relacyjna trwałość pamięci poza biologicznym istnieniem

Układ nagrody bierze udział w znacznie szerszym zakresie przewidywania wartości, motywacji oraz zachowań ukierunkowanych na cel. Jeśli bliska osoba przez lata stanowiła źródło bezpieczeństwa i nagrody społecznej, bodźce z nią związane mogą nadal aktywować systemy, które wcześniej motywowały do poszukiwania kontaktu. Po śmierci zachowanie to nie może już osiągnąć swojego naturalnego celu, co podtrzymuje tęsknotę i proces uczenia się braku ponownego spotkania. Można zatem uznać, że żałoba jest w pewnej mierze procesem wygaszania predykcji ponownego fizycznego spotkania, choć samo słowo „wygaszanie" wymaga ostrożności. Człowiek nie powinien bowiem wygaszać całego znaczenia drugiej osoby; aktualizacji wymaga jedynie konkretna predykcja dotycząca jej dostępności w świecie.

Pamięć głosu, wspólnych doświadczeń, poglądów czy gestów może pozostać niezwykle żywa. Co więcej, właśnie dzięki zachowaniu tych reprezentacji osoba zmarła może nadal pośrednio wpływać na decyzje żyjącego człowieka. Tak rozumiane „przetrwanie" drugiego człowieka jest w pełni zgodne z materialistyczną neuronauką i nie wymaga twierdzenia, że biologiczna egzystencja osoby dosłownie trwa w cudzym mózgu. Wzorce neuronalne powstałe podczas relacji są realnymi zmianami w organizmie żyjącego. Rozmowy kształtują jego wiedzę, wspólne działania – nawyki, doświadczenia – wartościowania, a cała relacja wpływa na sposób przewidywania przyszłości. Po śmierci partnera część tych zmian pozostaje. Jeden człowiek może zatem faktycznie działać w świecie po swojej śmierci poprzez trwałe zmiany, które wcześniej wytworzył w innych ludziach. Proces ten wykracza poza mózg jednostki.

Pamięć relacji zostaje zachowana także w języku, listach, fotografiach, instytucjach, projektach i działaniach. Człowiek może kontynuować pracę rozpoczętą ze zmarłym, przekazywać jego idee kolejnym osobom lub realizować wartości przyswojone w relacji. W ten sposób ślad staje się rozproszony pomiędzy układem nerwowym, kulturą a środowiskiem materialnym. Biologiczne pojęcie engramu nie powinno być rozciągane na te struktury w sposób literalny, jednak analogia ta pozwala dostrzec, że ludzka pamięć jest systemem przekraczającym indywidualną czaszkę poprzez zewnętrzne nośniki i społeczne praktyki.

Przypadek Ramireza i Liu można odczytywać właśnie na tym poziomie. Autor książki nadaje ich relacji znaczenie niemal modelowego spotkania neurobiologii i żałoby: naukowcy badający fizyczną naturę pamięci zostają skonfrontowani z sytuacją, w której jeden z nich staje się dla drugiego przede wszystkim pamięcią. Trudno o mocniejsze zetknięcie teorii z egzystencjalnym znaczeniem przedmiotu badań. Engram przestaje być wówczas wyłącznie populacją komórek znakowaną c-Fos i

ChR2; staje się również intelektualnym narzędziem pozwalającym opisać, dlaczego doświadczenie relacji nie znika wraz z organizmem drugiej osoby. Nie należy jednak romantyzować tego związku.

Relacyjna natura tożsamości a proces żałoby

Biologiczny ślad osoby może także przechowywać konflikt, przemoc, lęk albo winę. Relacje społeczne nie tworzą bowiem wyłącznie pozytywnych engramów; człowiek po śmierci sprawcy może nadal reagować na reprezentację zagrożenia, tak jak po stracie osoby kochanej zachowuje reprezentację bezpieczeństwa.

"Noszenie innych w sobie" nie jest zatem samo w sobie wartością dodatnią, lecz konsekwencją społecznej natury uczenia się i pamięci. Ta dwoistość ma kluczowe znaczenie dla terapii żałoby. Celem nie powinno być mechaniczne wzmacnianie czy wygaszanie wszystkich reprezentacji zmarłego, lecz pomoc w ich reorganizacji tak, by pozwolić integrować rzeczywistość śmierci z ciągłością własnej biografii. W psychoterapii oznacza to często pracę nad znaczeniem straty: przyzwolenie na przeżywanie emocji, odbudowę aktywności, budowanie nowych relacji i reinterpretację więzi. Neurobiologia dostarcza modeli uczenia i aktualizacji, jednak nie zastępuje ona znaczeniowej pracy człowieka nad własną historią. Szczególnie istotna jest tutaj różnica między aktualizacją a wymazaniem.

System predykcyjny powinien nauczyć się, że zmarły nie powróci fizycznie, lecz nie musi uczyć się, że nigdy nie istniał lub że relacja utraciła wartość. W dobrze zintegrowanej żałobie fakt nieobecności i znaczenie obecności mogą współistnieć. Człowiek potrafi powiedzieć jednocześnie: "tej osoby już nie ma" oraz "ta osoba nadal jest częścią tego, kim jestem". Logicznie zdania te odnoszą się do różnych poziomów rzeczywistości, więc nie muszą pozostawać w sprzeczności. To właśnie tutaj continuing bonds spotyka tożsamość narracyjną. Zmarły może zostać włączony do historii życia nie jako przyszły partner działania, lecz jako osoba współtworząca wcześniejszą wersję "Ja", której wpływ nadal organizuje teraźniejsze wartości lub cele.

Rekonstrukcja tożsamości po stracie nie sprowadza się więc jedynie do usunięcia nieobecnej osoby z przyszłych planów. Oznacza ona przede wszystkim odpowiedź na pytanie, kim staje się podmiot po utracie relacji, która wcześniej definiowała jego samego. Prowadzi to ku problemowi relacyjnej natury podmiotu. Filozofia nowożytna często przedstawiała człowieka jako względnie samowystarczalne "Ja", do którego relacje społeczne dołączają dopiero później. Neurobiologia społeczna, teoria przywiązania i psychologia rozwojowa sugerują obraz przeciwny: zdolność do regulacji emocji, tworzenia modeli świata i konstruowania tożsamości rozwija się od początku w interakcji z innymi.

Jeśli tak, utrata bliskiego nie jest tylko stratą obiektu istniejącego "na zewnątrz" podmiotu. Może oznaczać naruszenie części systemu regulacyjnego, który w toku relacji został wbudowany w sam sposób funkcjonowania osoby.

Zatem zdanie „część mnie umarła razem z nim” nie musi być wyłącznie figurą poetycką. Nie oznacza ono literalnego unicestwienia fragmentu mózgu, lecz może trafnie opisywać utratę struktury relacyjnej, wokół której organizowane były zwyczaje, cele, oczekiwania i wyobrażenia przyszłości. Żałoba polega wtedy na przebudowie systemu tak, aby zachować ciągłość podmiotu pomimo usunięcia jednego z głównych elementów jego dotychczasowej architektury społecznej. Równocześnie nie wszystko wymaga przebudowy.

Transformacja relacji w symboliczną strukturę tożsamości

Część internalizowanej relacji pozostaje źródłem stabilności. Słowa zmarłego mogą nadal służyć jako wzorce interpretacji, jego zachowania jako standard moralny, a wspólne doświadczenia jako punkt odniesienia dla przyszłych decyzji. Ta zdolność do transformacji relacji fizycznej w symboliczną i autobiograficzną wydaje się jednym z najbardziej charakterystycznych ludzkich sposobów radzenia sobie ze śmiercią. Kultura dodatkowo wzmacnia ten mechanizm poprzez rytuały, groby, rocznice, fotografie, opowieści oraz instytucje pamięci.

Z neurobiologicznego punktu widzenia można mówić o stopniowej zmianie funkcji reprezentacji. Przed śmiercią wspomnienia i modele partnera wspierają przewidywanie realnych interakcji; po stracie te same reprezentacje muszą zostać oddzielone od oczekiwania fizycznego powrotu, choć mogą nadal uczestniczyć w autoregulacji, narracji i działaniu. Używając języka wcześniejszych części artykułu, zmianie nie musi ulec faktograficzny rdzeń pamięci; zmianie ulega jej walencja, dostępność, relacja do prospekcji oraz miejsce w modelu teraźniejszości. Przypomina to w pewnym stopniu analizowaną wcześniej zmianę walencji engramu, jednak analogii tej nie należy utożsamiać z jednym mechanizmem. W laboratorium można zmienić powiązanie kontekstu hipokampalnego z układami afektywnymi, natomiast ludzka żałoba obejmuje wieloletnią pamięć autobiograficzną, język, afekt, role społeczne i cele. Wspólna jest jedynie zasada procesualna: zachowany materiał doświadczenia może zyskać inną funkcję w aktualnej organizacji zachowania.

Równie istotne jest rozróżnienie między żałobą a traumą. Nagła lub gwałtowna śmierć może mieć komponent traumatyczny, lecz nie każda żałoba jest PTSD, podobnie jak nie każde PTSD wiąże się z bereavement. W żałobie centralnym problemem jest utrata i reorganizacja więzi; w PTSD

kluczowe są między innymi doświadczenie zagrożenia, intruzje, unikanie oraz utrwalona reaktywność obronna. Procesy te mogą współwystępować, ale ich utożsamienie prowadziłoby do błędnej terapii i uproszczenia biologii obu stanów. Ta precyzja jest szczególnie potrzebna w obliczu przyszłych technologii pamięci. Załóżmy, że możliwe byłoby osłabienie afektywnej intensywności konkretnego wspomnienia o zmarłej osobie.

Czy należałoby to zrobić? Jeśli wspomnienie wywołuje patologiczne, paraliżujące reakcje, interwencja mogłaby przynieść korzyść. Jeżeli jednak ból pełni funkcję procesu integrującego znaczenie relacji, zbyt głęboka ingerencja mogłaby utrudnić przebudowę autobiografii. Neurotechnologia nie powinna więc automatycznie traktować cierpienia jako sygnału, który należy maksymalnie wyciszyć. Ta sama ostrożność dotyczy możliwości reaktywowania pozytywnych wspomnień o zmarłym. W krótkiej perspektywie mogą one przynosić ukojenie, lecz w innych warunkach intensywna reaktywacja może nasilać tęsknotę. Badania nad continuing bonds dają właśnie dlatego niejednoznaczne wyniki.

Relacyjna natura tożsamości i granice neuroredukcjonizmu

Te same zachowania — oglądanie fotografii, prowadzenie wewnętrznego dialogu czy przechowywanie przedmiotów — mogą być elementem adaptacyjnej integracji lub mechanizmem blokującym reorganizację, zależnie od tego, jak funkcjonują w systemie danej osoby. Współczesna nauka o żałobie stanowi przykład tego, dlaczego neuroredukcjonizm okazuje się niewystarczający. Można badać hipokamp, jądro półleżące, systemy stresu i sieci społecznego poznania, lecz żadna pojedyncza struktura nie zawiera w sobie „żałoby". Stan ten wyłania się z relacji między pamięcią, przywiązaniem, wartościowaniem a ciałem, środowiskiem społecznym i kulturą. Nawet najbardziej szczegółowy opis neuronalny nie odpowie samodzielnie na pytanie, co utracone życie oznaczało dla człowieka ani jaką funkcję powinno pełnić jego wspomnienie.

Neurobiologiczne pojęcie engramu zyskuje w kontekście żałoby granicę własnej użyteczności. Wyjaśnia ono, dlaczego doświadczenia społeczne pozostawiają fizyczne ślady, jak reprezentacje innych są reaktywowane i w jaki sposób pamięć uczestniczy w przewidywaniu. Nie potrafi jednak opisać pełnego znaczenia relacji. Miłość nie jest pojedynczym engramem, podobnie jak przyjaźń nie jest jednym obwodem. Są formami życia rozciągniętymi w czasie i podtrzymywanymi przez ogromną liczbę powiązanych śladów.

Ta granica nie umniejsza neuronauce; przeciwnie — chroni jej rzeczywistą siłę wyjaśniającą. Nauka zyskuje na precyzji, gdy odmawia przekształcania każdej metafory w dosłowny mechanizm. Możemy wskazać fizyczne konsekwencje spotkania z drugim człowiekiem w naszym mózgu czy obwody konieczne dla określonych form pamięci społecznej. Możemy badać, jak przewidywania dotyczące osoby utrzymują się po jej śmierci, ale nie powinniśmy udawać, że dysponujemy molekularną formułą całej relacji. W tym miejscu warto wrócić do słów Ramireza o noszeniu w sobie engramów innych.

Siła tej myśli nie polega na anatomicznej precyzji, lecz na trafnym wskazaniu biologicznej konsekwencji społecznego życia: spotkanie z drugim człowiekiem może trwale zmienić mózg osoby spotykającej. Po śmierci partnera część tych zmian nadal wpływa na jej zachowanie. Drugi człowiek może więc przestać istnieć jako organizm, pozostając elementem przyczynowej historii żyjącego systemu. Żałoba nie jest z tej perspektywy próbą usunięcia tej historii, lecz mozolnym procesem uczenia się, że nie będzie ona kontynuowana w dotychczasowej formie. To, co było wspólną przyszłością, staje się pamięcią; oczekiwanie spotkania musi zmienić się w rozpoznanie nieobecności, a regulacja w diadzie zostać częściowo internalizowana lub rozdzielona między nowe relacje. Ślad nie znika, lecz zmienia swoje miejsce w architekturze życia. Transformacja ta ma kluczowe znaczenie dla problemu tożsamości.

Człowiek po głębokiej stracie nie powraca po prostu do stanu sprzed relacji. Gdyby tak było, żałoba polegałaby na cofnięciu biografii. Tymczasem zmarły pozostaje w historii podmiotu jako przyczyna tego, kim człowiek się stał. Adaptacja oznacza zatem dalszy rozwój systemu, który zachowuje skutki relacji mimo nieobecności jej drugiego uczestnika. To kolejna wersja Statku Tezeusza: konstrukcja pozostaje w ruchu, choć jeden z elementów, wokół którego przez lata organizowała swoje działanie, został bezpowrotnie utracony.

W takim ujęciu pamięć okazuje się zarazem biologiczna i relacyjna. Jest biologiczna, gdyż ślady doświadczenia istnieją w materialnej organizacji układu nerwowego; jest relacyjna, ponieważ znaczna część ich treści powstaje w spotkaniach z innymi. Tożsamość nie może być zatem przedstawiana wyłącznie jako samotny projekt mózgu. Człowiek tworzy „Ja” z materiału, którego ogromną część otrzymał od innych ludzi. Stąd prowadzi kolejny krok analizy autora książki: jeśli inni mogą pozostać w nas jako reprezentacje zdolne wpływać na zachowanie po ich fizycznym odejściu, trzeba zapytać, kto poza samym podmiotem może uzyskać dostęp do tych reprezentacji i próbować nimi zarządzać.

Dotychczas analizowaliśmy przede wszystkim eksperymentatora modyfikującego engram w laboratorium lub terapeutę wspierającego aktualizację traumatycznej pamięci. W społeczeństwie pamięć jest jednak stale kształtowana przez przesłuchania, media, propagandę, reklamę, rodzinę,

instytucje i systemy cyfrowe. Neurobiologia modyfikowalnego engramu spotyka się tutaj z socjologią wpływu i teorią władzy.

Skoro pamięć współtworzy preferencje, tożsamość i modele przyszłości, możliwość jej celowego kształtowania staje się szczególnym rodzajem sprawowania władzy. Problem kolejnej części nie będzie już dotyczył tylko tego, czy człowiek może zmieniać własne wspomnienia. Będzie dotyczył pytania znacznie bardziej niebezpiecznego: co dzieje się wtedy, gdy pamięć jednego człowieka staje się przedmiotem interesu drugiego człowieka, instytucji albo systemu technologicznego?

> Pamięć okazuje się zatem nie tyle zapisem tego, co było, co aktywnym narzędziem budowania tego, kim jesteśmy i dokąd zmierzamy. Jeśli nasza tożsamość jest w rzeczywistości mozaiką engramów osób, które nas ukształtowały, to pytanie o możliwość edycji wspomnień przestaje być kwestią techniczną, a staje się pytaniem o granice naszej wolności. Czy w świecie, w którym pamięć można programować, pozostaniemy autorami własnej historii, czy stanie się ona produktem zewnętrznych interesów i technologicznych systemów władzy?

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 na Uniwersytecie Bostońskim, a doktorat z neurobiologii w Massachusetts Institute of Technology, gdzie prowadził badania pod kierunkiem laureata Nagrody Nobla Susumu Tonegawy. Następnie odbył staż podyplomowy na Uniwersytecie Harvarda. Ramirez jest znany na całym świecie ze swojej pionierskiej pracy w dziedzinie manipulacji pamięcią i badania engramów pamięciowych. W przełomowych badaniach na gryzoniach, prowadzonych ze swoim zmarłym współpracownikiem Xu Liu, wykorzystał optogenetykę do identyfikacji, reaktywacji i sztucznego wszczepiania fałszywych wspomnień do mózgu. Jego laboratorium badawcze na Uniwersytecie Bostońskim bada mechanizmy obwodów neuronalnych leżące u podstaw przechowywania i odzyskiwania pamięci, badając, w jaki sposób ukierunkowana optogenetyczna modulacja pozytywnych i negatywnych engramów pamięciowych może być wykorzystana w leczeniu schorzeń psychiatrycznych i neurologicznych, w tym zespołu stresu pourazowego, lęku i depresji.

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 from Boston University and his Ph.D. in neuroscience from the Massachusetts Institute of Technology, where he conducted research under Nobel laureate Susumu Tonegawa. He subsequently held a Junior Fellowship at Harvard University. Ramirez is internationally recognized for his pioneering work in memory manipulation and the study of memory engrams. In groundbreaking rodent studies with his late collaborator Xu Liu, he used optogenetics to identify, reactivate, and artificially implant false memories in the brain. His research lab at Boston University investigates the neural circuit mechanisms underlying memory storage and retrieval, exploring how targeted optogenetic modulation of positive and negative memory engrams could be harnessed to treat psychiatric and neurological conditions, including post-traumatic stress disorder, anxiety, and depression.*

Boston University

Literatura uzupełniająca

Książki

Książki autora i dzieła przywołane w tekście:



[1] "Project Total Recall"

Steve Ramirez

2025 | Robinson Press | ISBN: 9781472141743

Artykuły naukowe

Prace autorów przywoływanych w tekście:

[1] "Spectral forecast: A general purpose prediction model as an alternative to classical neural networks"

Paul Aurelian Gagniuc, Constantin Ionescu-Tirgoviste, Elvira Gagniuc, M. Militaru, Lawrence Chukwudi Nwabudike, George Drăgoi

2020 | Chaos An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science | DOI: 10.1063/1.5120818

Źródło

[2] "Preplay of future place cell sequences by hippocampal cellular assemblies"

George Dragoi, Susumu Tonegawa

2010 | Nature | DOI: 10.1038/nature09633

Źródło

[3] "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

[4] "Memory engrams: Recalling the past and imagining the future"

Sheena A. Josselyn, Susumu Tonegawa

2020 | Science | DOI: 10.1126/science.aaw4325

Źródło

[5] "Requirement for Hippocampal CA3 NMDA Receptors in Associative Memory Recall"

Kazu Nakazawa, Michael C. Quirk, Raymond A. Chitwood, Masahiko Watanabe, Mark F. Yeckel, Susumu Tonegawa

2002 | Science | DOI: 10.1126/science.1071795

Źródło

[6] **"Complicated grief and related bereavement issues for DSM-5"**

M. Katherine Shear, Naomi M. Simon, Melanie M. Wall, Sidney Zisook, Robert A. Neimeyer, Mary-Frances O'Connor

2011 | Depression and Anxiety | DOI: 10.1002/da.20780

Źródło

[7] **"Craving love? Enduring grief activates brain's reward center"**

Mary-Frances O'Connor, David K. Wellisch, Annette L. Stanton, Naomi I. Eisenberger, Michael R. Irwin

2008 | NeuroImage | DOI: 10.1016/j.neuroimage.2008.04.256

Źródło

[8] **"Functional Neuroanatomy of Grief: An fMRI Study"**

Harald Gündel, Mary-Frances O'Connor, Lindsey D. Littrell, Carolyn L. Fort, Richard David Lane

2003 | American Journal of Psychiatry | DOI: 10.1176/appi.ajp.160.11.1946

Źródło

[9] **"Grief: A Brief History of Research on How Body, Mind, and Brain Adapt"**

Mary-Frances O'Connor

2019 | Psychosomatic Medicine | DOI: 10.1097/psy.0000000000000717

Źródło

[10] **"Changes in Functional Connectivity Following Treatment With Emotion Regulation Therapy"**

Matthew A. Scult, David Marc Fresco, Faith M. Gunning, Conor M. Liston, Saren H. Seeley

2019 | Frontiers in Behavioral Neuroscience | DOI: 10.3389/fnbeh.2019.00010

Źródło

[11] **"Grieving as a form of learning: Insights from neuroscience applied to grief and loss"**

Mary-Frances O'Connor, Saren H. Seeley

2021 | Current Opinion in Psychology | DOI: 10.1016/j.copsyc.2021.08.019

Źródło

[12] **"Functional neuroimaging of resilience to trauma: convergent evidence and challenges for future research"**

Agnes Norbury, Saren H. Seeley, M. Mercedes Pérez-Rodríguez, Adriana Feder

2023 | Psychological Medicine | DOI: 10.1017/s0033291723001162

Źródło

[13] "The Use of the Mirror Tracing Persistence Task as a Measure of Distress Tolerance in Generalized Anxiety Disorder"

Megan E. Renna, Shehan Chin, Saren H. Seeley, David Marc Fresco, Richard G. Heimberg

2017 | Journal of Rational-Emotive & Cognitive-Behavior Therapy | DOI: 10.1007/s10942-017-0274-2

Źródło

[14] "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

[15] "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

[16] "A Neural Mechanism Underlying Mating Preferences for Familiar Individuals in Medaka Fish"

Teruhiro Okuyama, Saori Yokoi, Hideki Abe, Yasuko Isoe, Yuji Suehiro

2014 | Science | DOI: 10.1126/science.1244724

Źródło

[17] "Social memory engram in the hippocampus"

Teruhiro Okuyama

2017 | Neuroscience Research | DOI: 10.1016/j.neures.2017.05.007

Źródło

[18] "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

[19] "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

Artykuły naukowe autora:

[20] "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

[21] "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

[22] "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

[23] "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

[24] "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

[25] "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

[26] "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

[27] "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

[28] "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

[29] "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: 9777a3ba-9285-44f0-b9db-ab8e3d9a2c8c