Neuroetyka i technologie modyfikacji pamięci: między terapią a ulepszaniem człowieka w świetle książki How to Change a Memory Steve'a Ramireza

AUTOR

Fundacja Dobre Państwo

STRESZCZENIE / ABSTRACT

Tekst analizuje dylematy etyczne związane z technologiami modyfikacji pamięci, opierając się na publikacji Steve'a Ramireza. Głównym problemem jest rozróżnienie między terapią (przywracaniem funkcji) a ulepszaniem (neuroenhancementem), gdzie ta sama technologia może pełnić obie role w zależności od celu użycia. Autor krytykuje bio statystyczne podejście do normy zdrowia, proponując w zamian 'capability approach' inspirowany Amartyą Senem i Marthą Nussbaum. W tym ujęciu zdrowie i sprawność pamięci nie są oceniane przez pryzmat statystycznej średniej gatunkowej, lecz przez realne możliwości działania i zdolność jednostki do realizacji życiowych celów oraz budowania tożsamości. Podejście to przesuwa punkt ciężkości z biologicznej normalności na podmiotowe sprawstwo i jakość życia.

The text analyzes ethical dilemmas associated with memory modification technologies, based on the publication by Steve Ramirez. The main problem is the distinction between therapy (restoring function) and enhancement (neuroenhancement), where the same technology can serve both roles depending on the purpose of use. The author criticizes the bio-statistical approach to health norms, proposing instead the 'capability approach' inspired by Amartya Sen and Martha Nussbaum. In this view, memory health and efficiency are not judged by a statistical species average, but by real opportunities for action and an individual's ability to achieve life goals and build identity. This approach shifts the focus from biological normality to subjective agency and quality of life.

Artykuł stanowi krytyczną analizę etycznych i technicznych aspektów modyfikacji pamięci, wychodząc od tezy, że ocena neurotechnologii nie może opierać się na prostym zwiększaniu parametrów retencji danych czy statystycznych normach zdrowia. Autor argumentuje, że prawdziwe „ulepszenie" (enhancement) powinno być mierzone nie ilością zapamiętanych informacji, lecz realnym sprawstwem człowieka i jego zdolnością do prowadzenia wartościowego życia (capability approach). Kluczowym punktem analizy jest rehabilitacja procesu zapominania, który zostaje przedstawiony nie jako defekt, lecz jako aktywny mechanizm adaptacyjny, niezbędny do generalizacji wiedzy i zachowania higieny psychicznej. Tekst dekonstruuje wizje „cyfrowej edycji" wspomnień, wskazując na realistyczny gradient technologii – od farmakologicznej modulacji rekonsolidacji po systemy zamkniętej pętli (closed-loop) i AI. Ostatecznie artykuł ostrzega przed pułapką optymalizacji systemowej, w której zwiększenie sprawności poznawczej może paradoksalnie prowadzić do utraty autonomii lub stworzenia społecznego wyścigu zbrojeń, gdzie człowiek pamięta więcej nie po to, by żyć szerzej, lecz by spełniać coraz wyższe wymagania produktywności.

SŁOWA KLUCZOWE

neuroetyka | modyfikacje pamięci | neuroenhancement | capability approach | adaptacyjne zapominanie | zespoły engramowe | closed-loop TMR | sprawstwo rozproszone | biokonserwatyzm | transhumanizm | konsolidacja pamięci podczas snu | neuroproteza | granica terapia-ulepszanie | dynamika engramów | bioetyka pamięci

Terapia i ulepszanie jako kwestia celu użycia

Naprawić pamięć czy ulepszyć człowieka? Terapia, enhancement i paradoks adaptacyjnego zapominania

Granica między terapią a ulepszaniem człowieka wydaje się intuicyjna tak długo, jak medycyna zajmuje się stanami jednoznacznie interpretowanymi jako uszkodzenie funkcji. Przywrócenie pamięci osobie po urazie, ograniczenie patologicznej generalizacji lęku w PTSD czy zwiększenie dostępu do zachowanego engramu we wczesnym modelu zaburzeń pamięci można bez trudu zaklasyfikować jako leczenie. Trudność pojawia się jednak wtedy, gdy tę samą technologię można

zastosować u osoby zdrowej, aby zapamiętywała szybciej, trwalej i obszerniej, mniej dotkliwie przeżywała porażki, usuwała niepożądane skojarzenia lub skuteczniej przekształcała doświadczenie w przyszłe działanie. Wówczas pytanie neurobiologiczne o sprawność mechanizmu staje się pytaniem filozofii medycyny o kryterium normalności, bioetyki o zakres dopuszczalnego samoprzekształcania, teorii sprawiedliwości o dystrybucję poznawczych przewag oraz antropologii filozoficznej o to, czy istnieją właściwości ludzkiej kondycji, których optymalizacja może paradoksalnie uczynić człowieka mniej zdolnym do dobrego życia.

Autor książki wprowadza w ten spór z perspektywy terapeutycznej. Opisuje wykorzystanie pozytywnych engramów jako potencjalnego mechanizmu modulowania zachowań anhedonicznych i stresowych, traktując manipulację pamięcią przede wszystkim jako szansę na przyszłe leczenie cierpienia. Nie rozwija jednak teorii enhancementu ani filozoficznego rozróżnienia między leczeniem a ulepszaniem. W tym miejscu konieczne jest zatem uzupełnienie programu autora o literaturę bioetyczną. Jest to szczególnie uzasadnione, gdyż najnowsza wersja opracowania Stanford Encyclopedia of Philosophy z 2025 roku ponownie podkreśla, że "enhancement" nie oznacza odrębnej klasy technologii. Ten sam lek, implant, procedura chirurgiczna czy metoda neuromodulacji może być terapią w jednym przypadku i ulepszaniem w innym; klasyfikacja zależy przede wszystkim od celu użycia oraz punktu odniesienia, względem którego oceniana jest zmiana funkcji. Najprostsza koncepcja zakłada, że terapia przywraca funkcjonowanie do zakresu normalnego, natomiast enhancement przesuwa zdolności ponad poziom niezbędny do zachowania zdrowia.

Model ten nawiązuje do naturalistycznych teorii zdrowia, w których szczególną rolę odegrał biostatystyczny model Christophera Boorse'a. Zdrowie jest w nim rozumiane zasadniczo jako normalne funkcjonowanie organizmu względem odpowiedniej klasy referencyjnej, podczas gdy choroba stanowi odchylenie obniżające efektywność biologicznej funkcji.

Kryterium możliwości działania zamiast statystycznej normy

Rozróżnienie zastosowane do pamięci wydaje się na pierwszy rzut oka klarowne: leczeniem byłoby przywrócenie zdolności przypominania osobie z amnezją, ulepszaniem zaś wyposażenie zdrowego człowieka w pamięć znacznie przewyższającą przeciętną sprawność jego grupy. W literaturze przedmiotu odwołanie do funkcjonowania typowego dla gatunku stanowi jedną z podstawowych prób operacjonalizacji granicy między terapią a ulepszaniem. Pozorna jasność znika jednak po dokładniejszej analizie.

„Normalność” jest kategorią statystyczną, lecz medycyna posługuje się nią również normatywnie. Człowiek z pamięcią znacznie słabszą od średniej może funkcjonować sprawnie, podczas gdy osoba mieszcząca się w statystycznej normie może doświadczać poważnych ograniczeń w realizacji swoich życiowych celów. Kryterium gatunkowo typowej sprawności komplikuje dodatkowo proces starzenia: osłabienie niektórych funkcji pamięciowych jest częste w późniejszych dekadach życia, jednak powszechność tej zmiany nie rozstrzyga, czy medycyna powinna powstrzymywać się od jej ograniczania.

Próba zdefiniowania celu terapii poprzez czystą statystykę prowadzi zatem do pomieszania tego, co częste, z tym, co dobre albo wystarczające dla działania. Filozofia medycyny rozwija w związku z tym konkurencyjne modele funkcjonalne i normatywne. Lennart Nordenfelt wiązał zdrowie ze zdolnością realizacji życiowo istotnych celów, natomiast podejścia inspirowane Amartyą Senem i Marthą Nussbaum przesuwają punkt ciężkości na realne możliwości działania – **capabilities**. Zdrowie nie jest w tym ujęciu wyłącznie zgodnością organizmu ze statystyczną normą, lecz elementem rzeczywistej wolności człowieka do osiągania wartościowych sposobów życia. Literatura wykorzystująca capability approach w medycynie podkreśla zdolność radzenia sobie z wymaganiami życia, realne możliwości działania oraz podmiotowe sprawstwo, zamiast traktować biologiczną normalność jako jedyny punkt odniesienia.

Perspektywa capabilities szczególnie dobrze nadaje się do analizy pamięci. Jest ona bowiem funkcją instrumentalnie powiązaną z ogromną liczbą innych zdolności: uczeniem się, komunikacją, utrzymywaniem relacji, pracą zawodową, orientacją przestrzenną, odpowiedzialnością, planowaniem i konstruowaniem tożsamości. Człowiek nie potrzebuje „maksymalnej pamięci” jako wartości samej w sobie; potrzebuje pamięci dostatecznie sprawnej, by realizować określone sposoby życia. Ulepszenie zwiększające liczbę zapamiętywanych szczegółów może więc paradoksalnie nie zwiększać capabilities, jeżeli równocześnie obniża zdolność selekcji, generalizacji, zapominania albo emocjonalnego dystansowania się od doświadczeń.

Zapominanie jako aktywny mechanizm selekcji i adaptacji

W tym właśnie punkcie neurobiologia zapominania podważa naiwną arytmetykę enhancementu. Przez większą część historii badań pamięć analizowano tak, jakby jej nadrzędną wartością była maksymalna trwałość zapisu, a samo zapominanie traktowano jedynie jako systemową niedoskonałość. Współczesne badania wskazują jednak, że naturalny proces zapominania opiera się na aktywnych mechanizmach plastyczności, które zmieniają dostępność engramów. Frankland i

jego współpracownicy proponują rozumienie tego zjawiska jako przechodzenia zespołów engramowych ze stanu dostępnego dla naturalnych wskazówek do stanu funkcjonalnie mniej dostępnego – proces ten może być modulowany przez zgodność pamięci z aktualnymi warunkami środowiskowymi. Przegląd neurobiologicznych mechanizmów zapominania opublikowany w 2025 roku jeszcze mocniej podkreśla, że nie istnieje jeden, jednolity mechanizm zaniku pamięci. Na różnych skalach czasu zmieniają się stany mózgu, dostępność zespołów engramowych i struktura obwodów, a wspólnym efektem jest priorytetyzacja informacji bardziej aktualnych lub istotnych. Zapominanie jawi się zatem jako forma selekcji informacyjnej.

Organizm dysponuje ograniczonymi zasobami, a środowisko nieustannie ewoluuje. Zachowywanie pełnej szczegółowości wszystkich doświadczeń byłoby nie tylko kosztowne, lecz mogłoby wręcz utrudniać dostrzeganie regularności. Richards i Frankland zaproponowali w 2017 roku wpływową koncepcję, według której trwałość i przemijanie informacji realizują dwa współzależne cele inteligentnego systemu. Trwałość pozwala zachować dane użyteczne dla przewidywania, podczas gdy przemijanie ogranicza wpływ informacji nieistotnych lub nieaktualnych, co ułatwia generalizację i adaptacyjne podejmowanie decyzji. W takim ujęciu idealna pamięć nie jest tą, która zachowuje wszystko, lecz taką, która zachowuje i zapomina we właściwych proporcjach.

Ta zmiana perspektywy ma fundamentalne znaczenie dla neuroenhancementu. Gdyby technologia zwiększała globalną retencję bez mechanizmu selekcji, jej działanie wcale nie musiałoby poprawiać funkcji poznawczych. Człowiek dysponujący niezwykle trwałymi reprezentacjami każdego szczegółu mógłby mieć większą trudność z abstrahowaniem od informacji historycznie poprawnych, lecz aktualnie nieistotnych. System poznawczy potrzebuje bowiem nie tylko pamięci, ale przede wszystkim hierarchii ważności. Zwiększenie trwałości wszystkich śladów mogłoby przypominać system informatyczny, który archiwizuje każdy możliwy zapis, lecz nie potrafi skutecznie ustalić, który z nich powinien kierować aktualnym działaniem. Problem nie sprowadza się więc wyłącznie do ilości danych.

Równie istotna jest emocjonalna dostępność wspomnień. Adaptacyjne zapominanie lub ograniczenie dostępności może chronić teraźniejszość przed ciągłą konkurencją przeszłości. Analizowany wcześniej przypadek traumy pokazuje sytuację skrajną: niebezpieczeństwo wynika tu nie z utraty pamięci, lecz z jej nadmiernej zdolności do narzucania się aktualnemu przetwarzaniu. Ulepszanie pamięci poprzez systematyczne zwiększanie jej dostępności mogłoby zatem w określonych warunkach wzmacniać funkcję, której prawidłowa regulacja wymaga właśnie możliwości wyciszenia. Pojawia się stąd paradoks poznawczy: człowiek może potrzebować zdolności zapominania po to, aby skutecznie pamiętać. Zapomnienie elementów drugorzędnych zwiększa bowiem względną dostępność informacji kluczowych. Redukcja szczegółów umożliwia

tworzenie kategorii i schematów, a osłabienie dawnych skojarzeń pozwala na aktualizację modelu środowiska.

Optymalizacja zamiast maksymalizacji: sprawstwo jako kryterium ulepszania pamięci

Ograniczenie afektywnej intensywności pozwala funkcjonować mimo doświadczenia krzywdy czy straty. Mózg, który zachowywałby wszystkie ślady z identyczną siłą, byłby mniej adaptacyjny niż system posiadający aktywną politykę utraty dostępu. W tym punkcie granica między terapią a enhancementem zaczyna przecinać się z teorią optymalizacji: „więcej" nie oznacza automatycznie „lepiej". Nie dotyczy to wyłącznie pamięci. Większa czujność może prowadzić do lęku, silniejsza kontrola wykonawcza do nadmiernej sztywności, zwiększona motywacja do zachowań kompulsywnych, a wyższa zdolność dostrzegania zagrożeń do patologicznej ostrożności.

Literatura bioetyczna słusznie zauważa, że ulepszanie konkretnych funkcji ma charakter cząstkowy i wymaga analizy trade-offs – interwencja poprawiająca jeden wymiar może pogarszać inne. Mózg nie jest zbiorem niezależnych potencjometrów, których każdą wartość należy przesunąć maksymalnie w górę. Właśnie tak należy rozumieć różnicę pomiędzy optimum i maksimum. Ewolucyjny system poznawczy opiera się zazwyczaj na kompromisach: między szybkością a dokładnością, stabilnością a plastycznością, eksploracją a eksploatacją, pamiętaniem a zapominaniem czy generalizacją a szczegółowością. Enhancement projektowany bez uwzględnienia tej architektury może poprawić wskaźnik laboratoryjny, jednocześnie obniżając adaptacyjność całego organizmu. Bioetyka pamięci wymaga zatem przejścia od pytania „czy technologia poprawia wynik testu?" do pytania „jak zmienia cały repertuar możliwości człowieka w dłuższym czasie?".

W tym miejscu capability approach dostarcza kryterium bardziej użytecznego niż statystyczna normalność. Interwencję można oceniać nie przez porównanie liczby zapamiętanych elementów przed i po zabiegu, lecz pytając, czy zwiększa ona rzeczywistą zdolność osoby do prowadzenia wybranego przez nią życia. Autorzy próbujący łączyć enhancement z teorią capabilities wskazują, że zarówno terapia, jak i pewne ulepszenia mogą być zgodne z celami medycyny, o ile zwiększają realną wolność podmiotu do realizowania własnego dobra. Taki model pozwala uniknąć dwóch skrajności: naturalizmu, który uznaje za zasadne wyłącznie przywracanie statystycznej normy, oraz prostego welfaryzmu, traktującego każdą interwencję zwiększającą subiektywne zadowolenie jako ulepszenie wymagające aprobaty. Przykład pamięci obnaża słabość czystego welfaryzmu wyjątkowo ostro. Wyobraźmy sobie technologię pozwalającą systematycznie osłabiać każde wspomnienie powodujące dyskomfort. Subiektywny dobrostan mógłby wzrosnąć, ale człowiek mógłby

jednocześnie utracić dostęp do informacji niezbędnych do unikania powtarzanych błędów, dochodzenia sprawiedliwości czy rozpoznawania osób, którym nie powinien ufać. Maksymalizacja przyjemności nie gwarantuje maksymalizacji sprawstwa. Capability approach pyta natomiast, czy osoba zachowuje rzeczywiste możliwości działania, namysłu, relacji i praktycznego rozumowania, które pozwalają jej samodzielnie określać dobro.

Na poziomie antropologii filozoficznej spór ten odzwierciedla szerszy konflikt między transhumanizmem a biokonserwatyzmem. Stanowiska transhumanistyczne, kojarzone m.in. z Nickiem Bostromem, traktują technologiczne zwiększanie ludzkich zdolności jako pożądane rozszerzenie odwiecznego projektu przekraczania biologicznych ograniczeń. Edukacja, medycyna, pismo, okulary czy komputery już teraz zmieniają naturalne możliwości człowieka; neurotechnologia byłaby z tej perspektywy kolejnym etapem świadomego powiększania repertuaru ludzkiego działania. Literatura bioetyczna nie przypisuje enhancementu do jednego obozu, lecz wskazuje transhumanizm jako nurt otwarty na radykalne przekształcanie możliwości człowieka oraz biokonserwatyzm jako zbiór argumentów akcentujących ryzyka dla godności, równości i wspólnej ludzkiej kondycji. W odniesieniu do pamięci argument transhumanistyczny jest szczególnie silny, gdyż człowiek od dawna eksternalizuje pamięć. Pismo, biblioteki, fotografia czy internet zwiększyły zdolność zachowywania informacji w skali nieosiągalnej biologicznie.

Jeżeli korzystanie z notatnika lub wyszukiwarki nie jest uznawane za naruszenie ludzkiej natury, dlaczego farmakologiczne lub neuronalne zwiększenie funkcji pamięciowej miałoby być jakościowo niedopuszczalne? Granica biologicznej skóry nie dostarcza sama z siebie argumentu normatywnego. Odpowiedź biokonserwatywna nie musi jednak opierać się na sakralizacji biologicznego status quo.

Leon Kass, Michael Sandel czy Jürgen Habermas formułowali odmienne warianty obaw dotyczących dążenia do technologicznej kontroli ludzkich cech, zmiany stosunku do zależności od przypadku, społecznej presji na perfekcję oraz nierówności między projektującymi a projektowanymi. Stanford Encyclopedia podkreśla w aktualnym przeglądzie, że argumenty biokonserwatywne koncentrują się m.in. na podatności człowieka, moralnej równości i obawie przed przekształcaniem właściwości związanych z człowieczeństwem w przedmiot technologicznego projektu.

Kontrola nad pamięcią między autentycznością a sprawiedliwością

W przypadku pamięci obawa ta przybiera specyficzną postać. To, czego nie pamiętamy, współtworzy nasze życie w stopniu równym temu, co pozostaje w naszej świadomości. Człowiek nie sprawuje pełnej kontroli nad procesem tworzenia własnej autobiografii; wiele wydarzeń zanika, inne wracają niespodziewanie, a ich znaczenie ewoluuje wraz z wiekiem. Technologia oferująca coraz większą władzę nad tym procesem mogłaby zmienić stosunek człowieka do własnej historii z hermeneutycznego na inżynieryjny: zamiast interpretować życie, zacząłby on optymalizować je poprzez selekcjonowanie biologicznych warunków pamiętania. Nie ma jednak powodu, by uznawać taką zmianę za z definicji szkodliwą. Psychoterapia również wpływa na sposób interpretacji wspomnień, edukacja celowo wzmacnia jedne ślady pamięciowe kosztem innych, a rytuały społeczne reorganizują znaczenie przeszłości.

Neurotechnologia różni się od tych praktyk przede wszystkim bezpośredniością i potencjalną precyzją, a nie samym faktem oddziaływania. Problem bioetyczny sprowadza się zatem do wyznaczenia warunków, w których większa kontrola zwiększa sprawstwo podmiotu, oraz takich, w których przekształca podmiot w obiekt własnej lub cudzej optymalizacji. W tym miejscu przydatna okazuje się koncepcja autentyczności rozumianej procesualnie. Jeśli człowiek świadomie decyduje się osłabić patologicznie dominujące wspomnienie, by odzyskać zdolność działania zgodnego z innymi, długotrwale podzielanymi wartościami, interwencja ta może zwiększyć autentyczność jego życia. Gdyby jednak technologia służyła dostosowaniu pamięci i preferencji jednostki do wymagań instytucji, mogłaby prowadzić do alienacji od wcześniejszych zobowiązań i przekonań. O autentyczności nie decyduje zatem „naturalność" zmiany, lecz jej relacja do zdolności osoby do rozpoznania własnego projektu życia jako własnego.

Podobnie problematyczna jest uproszczona koncepcja wysiłku i zasługi. Krytycy ulepszeń (enhancementu) obawiają się czasem, że technologicznie wspomagana pamięć zdewaluowałaby pracę niezbędną do zdobycia wiedzy. Argument ten wydaje się jednak słabszy, niż sugeruje pierwsze wrażenie. Korzystanie z książek, kalkulatorów, komputerów czy korekcji wzroku również rozszerza nasze możliwości bez proporcjonalnego „naturalnego" wysiłku. Moralna wartość osiągnięcia nie zależy wyłącznie od biologicznej trudności; w wielu dziedzinach liczy się bowiem skuteczność wykonania zadania, a nie cierpienie towarzyszące jego realizacji. Kwestia zasługi staje się jednak bardziej złożona w systemach konkurencyjnych.

Jeśli niewielka grupa uzyska dostęp do bezpiecznego, lecz kosztownego narzędzia zwiększającego zdolność uczenia się, przewaga jednostkowa może przełożyć się na strukturalną nierówność w

dostępie do edukacji, stanowisk i kapitału. Wówczas pytanie bioetyczne przestaje dotyczyć prawa pojedynczej osoby do poprawy pamięci, a zaczyna dotyczyć tego, jak agregacja takich decyzji zmieni strukturę szans społecznych. Enhancement jest zatem jednocześnie problemem etyki indywidualnej i sprawiedliwości dystrybutywnej. Norman Daniels rozwinął Rawlsowską koncepcję fair equality of opportunity w odniesieniu do zdrowia, argumentując, że choroba ma istotne znaczenie moralne m.in. dlatego, iż ogranicza normalny zakres możliwości życiowych. Z tej perspektywy terapia znajduje szczególne uzasadnienie jako przywracanie dostępu do szans, z których człowiek został wykluczony przez chorobę. Ulepszanie powyżej poziomu normalnego funkcjonowania jest trudniejsze do uzasadnienia w ramach zasobów publicznych, gdyż nie przywraca utraconego minimum, lecz może tworzyć nieuzasadnioną przewagę konkurencyjną. Aktualna literatura filozoficzna nadal wskazuje granicę treatment-enhancement jako istotną m.in. dla określania obowiązków systemu ochrony zdrowia, choć sama linia demarkacyjna pozostaje sporna. Capability approach pozwala tę koncepcję skorygować.

Sprawstwo i podejście możliwości jako alternatywa dla normy statystycznej

Dwie osoby z identycznym wynikiem testu pamięci mogą dysponować różnymi realnymi możliwościami, jeśli jedna żyje w środowisku dostosowanym do jej potrzeb, a druga w systemie stawiającym przed nią wyjątkowe wymagania. Sprawiedliwość nie polega więc wyłącznie na doprowadzeniu wszystkich mózgów do statystycznie podobnego punktu. Powinna ona uwzględniać relację między zdolnością jednostki a otoczeniem, które może tę możliwość działania zwiększać lub ograniczać. Senowska kategoria capability ma charakter relacyjny: odróżnia posiadaną cechę od realnej szansy na wykorzystanie jej do prowadzenia życia według własnego wyboru. W takim ujęciu niektóre interwencje, formalnie klasyfikowane jako enhancement, mogą być uzasadnione bardziej przekonująco niż pewne terapie. Jeśli niewielkie wzmocnienie funkcji poznawczych pozwala osobie z trwałą niepełnosprawnością na samodzielny udział w życiu społecznym, ścisłe trzymanie się statystycznej granicy "normalności" staje się mniej istotne moralnie niż rzeczywiste zwiększenie jej sprawstwa. Z kolei interwencja medyczna przywracająca parametr do normy, która jednak nie przekłada się na realną zdolność funkcjonowania, może mieć niewielką wartość praktyczną. Literatura proponująca capabilities enhancement jako cel medycyny argumentuje, że zarówno terapia, jak i ulepszanie mogą mieścić się w uzasadnionych ramach opieki zdrowotnej, o ile zwiększają wolność pacjenta i jego realne możliwości.

To przesunięcie akcentu z normalności ku sprawstwu nie rozwiązuje jednak problemu perfekcjonizmu. Jeśli przyjmiemy, że medycyna powinna powiększać capabilities, musimy określić, które z nich są szczególnie istotne. Nussbaum proponuje katalog centralnych capabilities obejmujących między innymi życie, zdrowie cielesne, zmysły, wyobraźnię i myślenie, emocje, praktyczny rozum, afiliację oraz kontrolę nad własnym środowiskiem. Katalogu tego nie należy traktować jako neurologicznej tabeli docelowych parametrów, choć ma on kluczowe znaczenie dla neuroetyki pamięci. Dobra interwencja nie powinna maksymalizować jednej funkcji kosztem systematycznego niszczenia innych. Literatura poświęcona wykorzystaniu capability approach w obszarze enhancement sugeruje zatem ocenę ulepszeń przez pryzmat ich wpływu na szerszy zespół centralnych możliwości człowieka.

W przypadku pamięci szczególnie wyraźny jest konflikt między zdolnością zapamiętywania a praktycznym rozumem. Pamięć dostarcza materiału niezbędnego do podejmowania decyzji, jednak gdy określone wspomnienie całkowicie dominuje nad oceną teraźniejszości, jego nadmierna dostępność może ograniczać wolność wyboru. Podobnie zwiększenie pamięci emocjonalnej może pogorszyć zdolność afiliacji, jeśli jednostka przestanie być zdolna do wygaszania dawnych urazów. Ulepszenie mierzone w jednym wymiarze neuropsychologicznym może zatem obniżyć capability na poziomie całej osoby. To rozumowanie prowadzi ku zasadzie proporcjonalności poznawczej.

Kryterium sprawstwa zamiast naturalności i wydajności

Optymalna interwencja powinna zwiększać zdolność działania przy minimalnym zakłóceniu pozostałych funkcji systemu. W neurotechnologii pamięci oznacza to preferowanie procedur poprawiających dostęp w sytuacjach jego patologicznego osłabienia, zamiast globalnego zwiększania trwałości wszystkich reprezentacji; zmianę walencji traumatycznej przy zachowaniu wiedzy faktograficznej zamiast usuwania całego epizodu czy wzmacnianie zdolności kontekstualizacji zamiast maksymalizowania intensywności przypomnienia. Biologia engramu sugeruje zatem komponentowe, a nie totalne rozumienie terapii.

W tym miejscu powraca zasada ostrożności. Nie oznacza ona nakazu wstrzymania każdej nowej technologii do czasu udowodnienia jej absolutnej nieszkodliwości – taki standard praktycznie sparaliżowałby rozwój medycyny. W rozsądniejszej wersji wymaga ona dostosowania skali dowodów i zabezpieczeń do nieodwracalności, zakresu oraz niepewności potencjalnej szkody. Interwencja odwracalna, krótkotrwała i dobrze monitorowana wymaga innego ciężaru uzasadnienia niż trwała modyfikacja procesów związanych z autobiograficzną ciągłością osoby. W przypadku enhancementu pamięci znaczenie zasady ostrożności rośnie, gdyż skutki uboczne mogą

nie przejawiać się jako klasyczne objawy medyczne. Człowiek może pozostać neurologicznie sprawny, a jednak podejmować inne decyzje, ponieważ zmieniła się relacyjna struktura jego wspomnień. Szkoda neurotechnologiczna nie musi bowiem przyjąć postaci martwicy, drgawek czy deficytu poznawczego. Może być biograficzna: utrata znaczenia ważnej relacji, zmiana systemu preferencji albo osłabienie emocji, którą człowiek chciał zachować. Równocześnie jednak odmowa zastosowania technologii również może powodować szkody.

Zbyt silny biokonserwatyzm mógłby romantyzować ludzką podatność i uznawać cierpienie za wartościowe tylko dlatego, że jest „naturalne". Człowiek od tysiącleci korzysta z medycyny właśnie po to, by przeciwstawiać się naturalnym ograniczeniom. Ból zęba, zakażenie czy krótkowzroczność są naturalne, a mimo to ich leczenie nie jest traktowane jako utrata autentycznego człowieczeństwa. Podobnie patologiczna dominacja traumatycznej pamięci nie staje się wartościowa przez sam fakt swojej biologicznej genezy.

Współczesna neuroetyka słusznie odchodzi od prostego konfliktu „transhumaniści przeciw biokonserwatystom" na rzecz bardziej zniuansowanych stanowisk, które dopuszczają korzyści z enhancementu, wymagając jednocześnie regulacji i uwzględnienia kontekstu społecznego. Najważniejszym kryterium nie może być zatem naturalność, lecz wpływ na osobowe sprawstwo. Technologia jest etycznie przekonująca wtedy, gdy pomaga człowiekowi odzyskać zdolność prowadzenia życia zgodnego z refleksyjnie podzielanymi wartościami. Staje się problematyczna, gdy celem jest uczynienie człowieka sprawniejszym według kryterium narzuconego przez konkurencję, rynek, instytucję lub kulturę perfekcjonizmu. Ta sama poprawa pamięci może być emancypacyjna dla osoby tracącej funkcje w wyniku choroby i przymusowa dla ucznia czy pracownika żyjącego w środowisku, w którym ulepszenie stanie się faktycznym warunkiem utrzymania pozycji. W takim układzie pojawia się zjawisko arms race. Jeśli ulepszenie daje przewagę konkurencyjną, racjonalność indywidualna może prowadzić do rezultatu zbiorowo niepożądanego. Każda osoba ma powód, by zastosować technologię, ponieważ robią to inni, choć wszyscy woleliby świat, w którym nie są zmuszeni do ponoszenia kosztów ulepszania. Jest to struktura dobrze znana z teorii gier i analizy dopingu sportowego.

Neuroenhancement może reprodukować podobną dynamikę w edukacji i pracy: dobrowolność znika nie wskutek formalnego nakazu, lecz przez zmianę progu konkurencyjnego. W przypadku pamięci taki wyścig byłby szczególnie paradoksalny. Im bardziej środowisko wymagałoby zwiększonej retencji, tym silniej systemy edukacji i pracy dostosowywałyby wymagania do ulepszonych zdolności, przez co korzyść jednostkowa zostałaby skonsumowana przez wzrost normy. Enhancement nie prowadziłby wtedy do większej wolności czasu czy poznania, lecz do przesunięcia standardu produktywności. Człowiek pamiętałby więcej nie po to, aby żyć szerzej, lecz

by spełnić wyższe wymagania stworzone przez samą możliwość lepszego zapamiętywania. Teoria capabilities dostarcza tu cennego testu: jeżeli technologiczne zwiększenie funkcji prowadzi jedynie do wzrostu obowiązków bez powiększenia rzeczywistej wolności wyboru, trudno mówić o realnym zwiększeniu ludzkich możliwości. Capability jest bowiem realną możliwością wybierania między wartościowymi sposobami życia, a nie samą zdolnością wykonywania większej liczby zadań. Człowiek, który dzięki neurostymulacji może pracować piętnaście godzin dziennie, nie staje się przez to automatycznie bardziej wolny.

Ryzyka neuroenhancementu w rozwoju dzieci i modyfikacji moralnych

Szczególną grupę problemów stanowią dzieci i młodzież. Ulepszanie pamięci zastosowane przed osiągnięciem dojrzałości decyzyjnej nie jest zwykłym przypadkiem autonomicznego samodoskonalenia; w tym scenariuszu rodzice i instytucje edukacyjne współdecydują o kształcie zdolności osoby, która dopiero buduje własny system wartości. Pojawia się tu klasyczny problem "prawa do otwartej przyszłości": dorośli podejmują decyzje wpływające na późniejsze możliwości dziecka, choć nie powinni bez potrzeby zamykać mu drogi do samodzielnego określania własnego życia.

Z punktu widzenia neurobiologii sytuację komplikuje rozwojowa plastyczność mózgu. Interwencja w okresie, gdy system pamięciowy i wykonawczy dopiero się reorganizuje, może przynieść konsekwencje odmienne od tych samych działań u osoby dorosłej. Nie wystarczy zatem wykazać krótkoterminowej poprawy wyników pamięciowych; konieczne jest ocenienie wpływu na rozwój strategii poznawczych, motywacji, regulacji emocji oraz zdolności do samodzielnego uczenia się. Neuroulepszanie w dzieciństwie nie dotyczy więc jedynie poprawy funkcji istniejącej osoby, lecz częściowego współkształtowania trajektorii jej rozwoju.

Podobnie złożony jest problem biologicznego wzmacniania cech moralnych (moral enhancement). Możliwość modulowania wspomnień, lęku, empatii czy afektywnej oceny doświadczeń rodzi pokusę wykorzystania neurotechnologii do stymulowania zachowań uznanych społecznie za pożądane. Literatura przedmiotu obejmuje już dyskusje nad możliwością biologicznego wzmacniania altruizmu, samokontroli i innych cech ocenianych moralnie. W przypadku pamięci oznaczałoby to potencjalne wzmocnienie doświadczeń empatycznych lub afektywnego znaczenia własnych krzywdzących działań. Problem polega jednak na tym, że moralność nie jest pojedynczą funkcją mózgu – zwiększenie jednej dyspozycji może osłabiać inną.

Większa empatia wobec osoby znajdującej się bezpośrednio przed nami może bowiem zwiększać stronniczość wobec osób odległych; silniejsza awersja do krzywdzenia może utrudniać działania konieczne w sytuacjach tragicznego wyboru, a większe poczucie winy może motywować do naprawy szkody lub doprowadzić do patologicznego samopotępienia.

Brak neutralnego parametru lepszej pamięci

Projektowanie "moralnego mózgu" wymagałoby uprzedniego rozwiązania sporów etycznych, których neuronauka rozstrzygnąć nie potrafi. Enhancement ujawnia tym samym ograniczenia nauk empirycznych. Nauka może wskazać, jak zwiększyć trwałość określonej reprezentacji, ale sama nie odpowie na pytanie, które wspomnienia powinny być trwalsze. Może opisać mechanizm redukcji lęku, lecz nie rozstrzygnie, kiedy strach jest moralnie właściwym ostrzeżeniem. Może ujawnić obwody nagrody, ale nie określi, jakie cele są warte pragnienia. Każda technologia ulepszania człowieka wymaga zatem wcześniejszej teorii dobra, nawet jeśli jej projektant próbuje ukryć normatywność pod technicznym językiem optymalizacji. Algorytm optymalizujący pamięć zawsze potrzebuje funkcji celu. Jeśli celem jest maksymalna retencja, otrzymamy inny system niż w przypadku dążenia do trafności decyzji, dobrostanu, zdolności uczenia się czy autobiograficznej spójności. Nie istnieje neutralny parametr "lepszej pamięci". Jest jedynie pamięć lepsza **do czegoś**.

W tym punkcie technologia odsłania normatywną strukturę, która w klasycznej medycynie była mniej widoczna. Leczenie infekcji ma stosunkowo jednoznaczny cel biologiczny; projektowanie optymalnego systemu pamięciowego wymaga natomiast decyzji o tym, jaki styl poznawczego życia uznajemy za wartościowy. Warto zatem ponownie przemyśleć samą kategorię "ulepszania". Człowiek o pamięci absolutnej nie musi być ulepszoną wersją osoby z pamięcią selektywną. Borgesowski Funes, który pamiętał niemal wszystko, nie jest wzorcem doskonałego umysłu, lecz literackim obrazem poznania paraliżowanego przez szczegół. Neurobiologia nadaje tej intuicji podstawę funkcjonalną: generalizacja wymaga redukcji, adaptacja aktualizacji, a uczenie się zarówno stabilności, jak i utraty dostępności części śladów. Idea maksymalnej pamięci może być więc równie błędna, co idea maksymalnego napięcia mięśniowego – funkcja jest wartościowa tylko w relacji do zadań całego organizmu.

Szczególnie interesujący jest związek zapominania z wyobraźnią. Jeśli przyszłość konstruujemy poprzez rekombinowanie elementów doświadczenia, zbyt silne przywiązanie do dokładnych konfiguracji z przeszłości może ograniczać elastyczność tej konstrukcji. System potrzebuje pewnego poziomu abstrakcji, aby wykorzystać elementy pamięci poza kontekstem ich pierwotnego

wystąpienia. Zapominanie szczegółów sprzyja w określonych warunkach generalizacji, a ta z kolei umożliwia transfer wiedzy na nowe sytuacje. Pamięć idealna z punktu widzenia archiwisty może zatem być mniej wartościowa dla organizmu projektującego przyszłość.

W tym miejscu enhancement pamięci ponownie łączy się z tożsamością. Człowiek potrzebuje ciągłości wspomnień, aby zachować autobiograficzne "Ja", ale jednocześnie zdolności do reinterpretacji. Gdyby każde wspomnienie zachowywało tę samą intensywność afektywną i niezmienną interpretację przez całe życie, tożsamość stałaby się sztywna. Możliwość dorastania moralnego i psychologicznego zależy częściowo od tego, że zdarzenia mogą nabrać nowego znaczenia. Doskonalenie pamięci nie może więc oznaczać zakonserwowania człowieka w pierwszej wersji jego autobiografii. Obserwacja ta prowadzi do jeszcze jednej postaci prawa do zapominania – już nie informacyjnego, lecz antropologicznego. Człowiek może potrzebować nie tyle absolutnego usunięcia faktu, co prawa do tego, by przeszłość stopniowo traciła zdolność całkowitego definiowania teraźniejszości. Społeczne prawo do rehabilitacji sprawcy, możliwość przebaczenia, zmiana reputacji czy osobista zdolność wyjścia poza dawny błąd mają wspólną strukturę: człowiek nie powinien być na zawsze redukowany do jednego momentu własnej historii. Neurobiologiczna zdolność osłabiania dostępności części śladów ma zatem odległy, lecz istotny odpowiednik w normatywnym prawie do biograficznej zmiany.

Nie oznacza to jednak prawa do fałszowania historii. Zapominanie i kłamstwo pozostają odrębnymi kategoriami. Społeczeństwo potrzebuje dokumentów, sądów, archiwów i pamięci instytucjonalnej właśnie dlatego, że pamięć jednostkowa jest selektywna. Człowiek może psychicznie oddalić się od dawnego zdarzenia, ale nie może z tego wyprowadzać roszczenia do unieważnienia faktów dotyczących odpowiedzialności innych osób. Neuroetyka musi zatem stale oddzielać dobrostan podmiotu od epistemicznej struktury prawdy historycznej.

Optymalizacja systemowa zamiast maksymalizacji parametrów pamięci

Najbardziej przekonujące stanowisko wobec enhancementu pamięci nie opiera się zatem ani na prostym transhumanistycznym przekonaniu, że „więcej możliwości jest zawsze lepsze”, ani na biokonserwatywnym dogmacie, iż naturalna pamięć wyznacza moralnie właściwą granicę człowieka. Bardziej adekwatny wydaje się model wielowymiarowy, w którym interwencję ocenia się przez pryzmat jej wpływu na autonomię, capabilities, dobrostan, sprawiedliwość, odwracalność, tożsamość i relacje społeczne, a także przez analizę zachowania adaptacyjnego balansu między

pamiętaniem a zapominaniem. Neuroenhancement jest bowiem problemem optymalizacji systemowej, a nie prostego zwiększania parametrów.

Takie podejście nie unika wartościowania, lecz je ujawnia. Każda decyzja o tym, co leczyć, co poprawiać, a czego nie zmieniać, niesie ze sobą określoną koncepcję człowieka. Nawet utrzymanie status quo nie jest aksjologicznie neutralne, gdyż uprzywilejowuje ono zastane ograniczenia biologiczne. Z kolei technologiczna zmiana nie staje się neutralna tylko dlatego, że opisano ją językiem efektywności. Pytanie „jakim człowiekiem powinno się być?" nie znika w laboratorium – zostaje jedynie wpisane w kryteria sukcesu eksperymentu. Neurobiologia engramu doprowadza nas tutaj do klasycznego problemu filozofii praktycznej: technologia poszerza zbiór tego, co możliwe, ale z samej możliwości nie wynika powinność.

David Hume sformułował problem przejścia od "jest" do "powinno", a współczesna neuroetyka nie jest od niego zwolniona. Fakt, że potrafimy zmienić walencję wspomnienia, nie mówi nam, kiedy powinniśmy to zrobić. To, że możemy zwiększyć dostępność śladu, nie dowodzi, iż większa dostępność będzie dobrem. Możliwość zwiększenia pamięci u zdrowego człowieka nie rozstrzyga natomiast, czy społeczeństwo powinno finansować, regulować lub ograniczać taką praktykę. Im większą techniczną władzę uzyskujemy nad pamięcią, tym bardziej istotna staje się wiedza o funkcji jej ograniczeń. Naturalny system nie jest doskonały, lecz jego niedoskonałości nie zawsze są przypadkowymi awariami.

Część z nich stanowi cenę adaptacyjnego kompromisu. Rekonstrukcyjność umożliwia wyobraźnię kosztem podatności na błąd. Zapominanie chroni zdolność aktualizacji kosztem utraty szczegółu. Generalizacja pozwala przenosić wiedzę, lecz naraża na nadmierne rozszerzenie lęku. Walencja nadaje zachowaniu kierunek, ryzykując afektywne uprzedzenie. Ulepszenie jednego wymiaru bez zrozumienia tej sieci kompromisów może uszkodzić funkcję systemu, który próbujemy poprawić. Dlatego najdojrzalszym celem przyszłej neurotechnologii pamięci nie powinno być stworzenie człowieka, który pamięta najwięcej, lecz przywracanie i poszerzanie zdolności człowieka do dobrego zarządzania własną temporalnością: zachowania tego, czego potrzebuje do uczenia się i budowania tożsamości, aktualizowania treści, które przestały odpowiadać rzeczywistości, osłabiania destrukcyjnej dominacji pewnych śladów oraz pozostawiania przestrzeni dla nowych doświadczeń i przyszłych możliwości. Taka perspektywa jest bliższa koncepcji capabilities niż technologicznej maksymalizacji. Właśnie tutaj autor dochodzi do kolejnego progu rozprawy.

Spór o terapię i enhancement rozgrywa się jeszcze przy założeniu, że człowiek sam chce zmodyfikować określoną funkcję. Znacznie trudniejsze pytanie pojawia się wtedy, gdy neurotechnologia łączy się z systemami predykcyjnymi, interfejsami mózg-komputer, adaptacyjną neuromodulacją i sztuczną inteligencją. Wówczas interwencja może przestać być jednorazowym

zabiegiem, a stać się zamkniętą pętlą: urządzenie obserwuje stan mózgu, klasyfikuje go, podejmuje decyzję i modyfikuje aktywność, by następnie ponownie ocenić rezultat. W takim systemie pytanie „kto zmienia pamięć?" staje się niezwykle złożone. Pacjent? Lekarz? Producent urządzenia? Model AI? Algorytm aktualizowany na podstawie zachowania? Zespół, który zdefiniował funkcję celu? A może wszystkie te podmioty równocześnie?

Modulacja procesów zamiast edycji treści wspomnień

Neuroetyka przechodzi w tym punkcie od problemu indywidualnej interwencji do kwestii **sprawstwa rozproszonego**. Będzie to oś kolejnej części analizy: przejście od klasycznej optogenetyki i laboratoryjnych światłowodów ku realistycznemu gradientowi przyszłych technologii – obejmującemu farmakologiczną modyfikację rekonsolidacji, DBS, adaptacyjną neuromodulację, stymulację w pętli zamkniętej (closed-loop), BCI, neurofeedback, obrazowanie oraz integrację neurodanych ze sztuczną inteligencją. Dopiero taka perspektywa pozwala odróżnić naukowo prawdopodobną przyszłość inżynierii pamięci od medialnych wizji dowolnego „wgrywania", „kasowania" czy „kopiowania" ludzkich wspomnień.

Od farmakologii rekonsolidacji do zamkniętej pętli mózg-algorytm: realistyczny gradient technologii ingerowania w pamięć

Po przejściu od biologii engramu ku neuroetyce i sporowi między terapią a ulepszaniem (enhancement), łatwo ulec złudzeniu, że rozwój neurotechnologii podąża jedną, prostą trajektorią: od dzisiejszych eksperymentów na myszach do przyszłej możliwości zapisywania, usuwania i odtwarzania ludzkich wspomnień z techniczną precyzją właściwą operacjom na plikach cyfrowych. Taka narracja jest atrakcyjna, lecz naukowo błędna. Technologie wpływające na pamięć nie tworzą jednej drabiny postępu; są raczej zbiorem częściowo niezależnych strategii ingerujących na różnych poziomach systemu: neurochemicznym, synaptycznym, oscylacyjnym, sieciowym, sensorycznym, informacyjnym i behawioralnym. Niektóre z nich są już stosowane u ludzi, choć cechują się niską selektywnością; inne osiągają znacznie większą precyzję w modelach zwierzęcych, pozostając jednak daleko od zastosowania w obszarze ludzkiej autobiografii.

Najbardziej realistyczna przyszłość inżynierii pamięci będzie zatem prawdopodobnie wynikiem konwergencji wielu technologii o niepełnej selektywności, a nie pojawienia się jednego uniwersalnego „edytora wspomnień". Autor książki antycypuje część tej trajektorii, wskazując na farmakologiczne i neurostymulacyjne oddziaływanie na pamięć traumatyczną, DBS i neurofeedback jako potencjalne narzędzia psychiatryczne oraz próby przywracania dostępu do

śladów pamięciowych w modelach neurodegeneracyjnych. Wymaga to jednak zasadniczego doprecyzowania stopnia dojrzałości tych rozwiązań.

Obecnie nie istnieje kliniczna metoda, która pozwoliłaby lekarzowi odnaleźć konkretny ludzki engram autobiograficzny i zmienić jego walencję w sposób porównywalny z eksperymentami optogenetycznymi u myszy, pozostawiając jednocześnie wszystkie pozostałe właściwości pamięci nienaruszone. Istnieją natomiast metody modulowania procesów, od których pamięć zależy. Różnica między modulacją procesu a edycją konkretnej treści jest kluczowa dla każdej realistycznej prognozy. Najbliżej praktyki klinicznej znajduje się farmakologiczne oddziaływanie na warunki konsolidacji i rekonsolidacji. Założenie to jest teoretycznie eleganckie: jeśli odpowiednio reaktywowane wspomnienie wchodzi w stan podatny na aktualizację, podanie substancji zmieniającej neuromodulację w tym konkretnym przedziale czasowym może wpłynąć na jego późniejszą ekspresję.

Ograniczenia i mechanizmy technicznej modulacji pamięci

Najczęściej badanym przykładem pozostaje propranolol, antagonista receptorów β-adrenergicznych. W eksperymentach nad pamięcią awersyjną u ludzi wykazano jego wpływ na niektóre miary rekonsolidacji; zresztą systematyczny przegląd farmakologicznego oddziaływania na taką pamięć, opublikowany w 2026 roku, uznał dowody na skuteczność propranololu za relatywnie mocne na tle innych badanych związków.

Znacznie ostrożniej należy jednak mówić o terapii PTSD. Metaanalizy kliniczne nie tworzą spójnego obrazu. Przegląd z 2022 roku nie dostarczył wystarczających dowodów, by rekomendować rutynowe wykorzystywanie propranololu do zakłócania traumatycznych wspomnień u pacjentów z PTSD, wskazując na heterogeniczność dawek, protokołów oraz niewielkie liczebności prób. Z kolei nowsza metaanaliza, obejmująca badania do października 2024 roku, raportowała statystycznie istotną poprawę objawów po interwencjach z tym lekiem. Rozbieżność ta nie jest anomalią, lecz ilustracją trudności w translacji teorii rekonsolidacji: efekt zależy prawdopodobnie od sposobu reaktywowania pamięci, czasu podania substancji, właściwości śladu i konkretnej populacji klinicznej. Nie istnieje więc farmakologiczny odpowiednik polecenia "usuń traumę". Istnieje jedynie próba modyfikowania neurochemicznych warunków, w których reaktywowane wspomnienie jest ponownie stabilizowane.

Jest to zarazem doskonały przykład różnicy między treścią a ekspresją pamięci. Farmakologia nie "czyta", czego dotyczy wspomnienie. Lek oddziałuje na receptory i procesy neuromodulacyjne znacznie szerzej niż na pojedynczy engram. Selektywność uzyskuje się częściowo poprzez czas — podając substancję w momencie, gdy aktywne jest interesujące nas wspomnienie — oraz przez psychologiczną procedurę jego reaktywacji. Selektywność biologiczna pozostaje zatem pośrednia. Paradoksalnie to psychoterapia lub kontrolowany bodziec przypominający stają się częścią technologii farmakologicznej, gdyż to one mają określić, który ślad znajdzie się w stanie podatnym na modyfikację.

Drugi, stosunkowo realistyczny kierunek nie wymaga podawania leków ani implantacji elektrod. Targeted Memory Reactivation (TMR) wykorzystuje naturalne procesy reaktywacji podczas snu. Informacja w trakcie uczenia zostaje skojarzona z bodźcem sensorycznym — na przykład dźwiękiem lub zapachem — a następnie ten sam bodziec jest prezentowany w odpowiednim stadium snu, aby zwiększyć prawdopodobieństwo ponownej aktywacji związanej z nim reprezentacji. Przegląd z 2024 roku pokazuje, że TMR może wpływać na pamięć deklaratywną, proceduralną i emocjonalną, a rozwój systemów zamkniętej pętli pozwala na coraz dokładniejsze dopasowanie bodźca do fazy aktywności oscylacyjnej mózgu. Badania z 2025 roku potwierdzają, że kluczowy jest także moment prezentowania wskazówki względem fazy wolnej oscylacji snu. W literaturze z 2026 roku pojawia się już pojęcie "memory editing during sleep", obejmujące między innymi wzmacnianie wygaszania, reaktywowanie konkurencyjnych reprezentacji i wprowadzanie nowych bodźców podczas snu.

Termin ten należy jednak interpretować funkcjonalnie, nie informatycznie. TMR nie umożliwia swobodnego otwarcia konkretnego epizodu autobiograficznego i zamiany jego dowolnego elementu. Pozwala jedynie stronniczo modulować prawdopodobieństwo reaktywacji wcześniej skojarzonego materiału i w pewnych warunkach wpływać na późniejszą pamięć. Różnica między tymi możliwościami jest tak duża, jak różnica między ukierunkowanym powtarzaniem materiału a edytowaniem zapisu zdania w pliku komputerowym. Znaczenie TMR dla przyszłości wynika natomiast z potencjału automatyzacji.

Kiedy sensoryczne wskazówki zostaną połączone z EEG, rozpoznawaniem stadium snu i algorytmem decydującym o optymalnym momencie ekspozycji, powstanie nieinwazyjna forma zamkniętej pętli. System obserwuje stan mózgu, klasyfikuje go i dopiero wtedy wykonuje interwencję. To architektura tego samego typu, która w znacznie bardziej inwazyjnych urządzeniach będzie miała zasadnicze znaczenie: zamiast stymulować mózg w sposób ciągły, urządzenie reaguje na wykryty stan neuronalny.

Kolejną warstwę gradientu tworzy nieinwazyjna stymulacja mózgu — przede wszystkim TMS oraz różne formy stymulacji prądowej, takie jak tDCS i tACS. Technologie te nie posiadają selektywności komórkowej optogenetyki, ale mają przewagę translacyjną: nie wymagają wprowadzania opsyn ani implantacji światłowodów. Najnowsza metaanaliza procedur TMS pośrednio ukierunkowanych na sieć hipokampalną wskazuje, że odpowiednio dobrana stymulacja sieci parieto-hipokampalnych może poprawiać wyniki pamięci epizodycznej, przy czym efekty zależą od parametrów i rodzaju testu. Podobnie metaanaliza tACS opublikowana w 2026 roku wykazała umiarkowane korzyści poznawcze, szczególnie w obszarze pamięci u osób z łagodnymi zaburzeniami poznawczymi, choć odnotowano istotną heterogeniczność pomiędzy badaniami.

Dostrajanie sieci zamiast edycji treści

Technologie te obrazują kluczową zasadę: przyszła precyzja nie musi oznaczać stymulowania pojedynczego engramu, lecz może polegać na coraz dokładniejszym dostrajaniu stanu całej sieci. Jeśli konkretne wspomnienie wymaga odpowiedniej synchronizacji hipokampa, kory i innych struktur, skuteczniejszą metodą może być poprawa warunków, w których sieć realizuje swoją funkcję, zamiast bezpośredniego „zapisywania” treści. Jest to strategia bardziej podobna do strojenia orkiestry niż przepisywania partytury pojedynczego wspomnienia.

Na podobnej zasadzie rozwija się niskointensywne ogniskowane ultradźwiękowe neuromodulowanie mózgu. Szczególna atrakcyjność focused ultrasound (FUS) wynika z możliwości nieinwazyjnego oddziaływania na struktury położone głębiej niż typowe cele TMS. Przegląd i dane pilotażowe opublikowane w 2026 roku wskazują, że FUS może modyfikować funkcjonalną łączność sieci poznawczych; w małym badaniu fazy I u osób z amyloid-dodatnimi łagodnymi zaburzeniami poznawczymi wykazano bezpieczeństwo metody oraz mierzalne zmiany łączności hipokampalnej. Autorzy publikacji podkreślają jednak, że są to dane wstępne, wymagające kontrolowanych prób klinicznych. FUS stanowi zatem przykład technologii o dużym potencjale anatomicznym, ale nadal niewielkiej dojrzałości w zakresie leczenia pamięci.

Znacznie bardziej inwazyjnym rozwiązaniem jest deep brain stimulation (DBS). Autor książki przypisuje tej metodzie przyszłą możliwość selektywnego wzmacniania ścieżek związanych z pozytywnym afektem, choć obecne dowody nakazują traktować taką wizję jako hipotezę, a nie istniejącą terapię pamięci. DBS jest dojrzałą technologią w leczeniu niektórych zaburzeń ruchowych i części wskazań neuropsychiatrycznych, lecz jej wykorzystanie do poprawy pamięci pozostaje eksperymentalne. Szczególną uwagę poświęcono sklepieniu (**fornix**), będącemu jednym z głównych szlaków łączących hipokamp z innymi elementami obwodu Papeza.

Próby fornix-DBS w chorobie Alzheimera pokazują, dlaczego przyszłości neurotechnologii nie należy prognozować na podstawie pojedynczego, obiecującego badania. Metaanaliza opublikowana w marcu 2026 roku, obejmująca dziesięć badań, stwierdziła znaczną heterogeniczność wyników; randomizowane próby u osób z łagodną chorobą Alzheimera nie wykazały konsekwentnie klinicznie istotnej poprawy poznawczej.

Systemy closed-loop i precyzja czasowa w neuromodulacji pamięci

Co więcej, badanie wpływu stymulacji fornix na bieżące kodowanie epizodyczne wykazało, że metoda open-loop mogła wręcz pogarszać zapamiętywanie, szczególnie przy wyższych częstotliwościach. Wynik ten ma wartość teoretyczną większą niż zwykła negatywna próba: dowodzi, że w przypadku pamięci nie wystarczy zidentyfikować "właściwego obwodu". Kluczowy jest moment, stan sieci, częstotliwość, lokalizacja oraz relacja stymulacji do aktualnej fazy przetwarzania. Właśnie dlatego przyszłość neuromodulacji coraz częściej wiąże się z systemami **closed-loop**. W klasycznym układzie open-loop urządzenie stymuluje według wcześniej ustalonego harmonogramu; system zamkniętej pętli najpierw rejestruje sygnał neuronalny, następnie klasyfikuje stan, a stymulację wykonuje tylko w określonych warunkach.

W neurologii rozwiązania te nie są już wyłącznie koncepcją laboratoryjną. Responsive Neurostimulation stosuje się w lekoopornej padaczce jako system reagujący na wykrytą aktywność patologicznego obwodu; najnowsza metaanaliza analizuje również jego długoterminowe skutki neuropsychologiczne. Samo istnienie klinicznej closed-loop neurostimulation nie oznacza jednak, że analogiczne urządzenie potrafi wybierać i edytować wspomnienia.

Znacznie bardziej bezpośrednio z pamięcią związane jest badanie Youssefa Ezzyata i współpracowników przeprowadzone u pacjentów z padaczką poddawanych inwazyjnemu monitoringowi. Algorytm analizował aktywność mózgu podczas uczenia i przewidywał momenty, w których kodowanie prawdopodobnie zakończy się niepowodzeniem. Stymulację bocznej kory skroniowej uruchamiano właśnie w tych "złych" stanach pamięciowych, co poprawiało późniejsze przypominanie. Eksperyment ten ilustruje być może bardziej realistyczny model przyszłej neurotechnologii pamięci niż fantazja o "chipie z wiedzą": urządzenie nie wie, co znaczą zapamiętywane słowa i nie zapisuje ich treści, lecz rozpoznaje stan sieci sprzyjający niepowodzeniu i podejmuje interwencję w odpowiednim momencie.

Closed-loop przekształca zatem problem precyzji. Klasyczna inżynieria poszukuje coraz dokładniejszego miejsca stymulacji; inteligentna neuromodulacja dodaje drugi wymiar: coraz dokładniejszy **czas** stymulacji względem aktualnego stanu sieci. W dynamicznym układzie biologicznym ten drugi parametr może być równie ważny jak anatomia. Ta sama stymulacja wykonana podczas sprawnego kodowania może zakłócać proces, podczas gdy zastosowana w momencie dysfunkcji – może go wspierać. Pamięć jest bowiem procesem zależnym od stanu, nie urządzeniem o stałej odpowiedzi na identyczny sygnał wejściowy.

Jeszcze dalej idzie idea neuroprotezy hipokampalnej. Theodore Berger, Robert Hampson, Dong Song i współpracownicy rozwijali modele typu MIMO (multi-input, multi-output), próbując matematycznie opisać relację między wzorcami aktywności CA3 i CA1 hipokampa podczas skutecznego kodowania informacji. W badaniu z 2018 roku model wyznaczał wzorzec stymulacji odpowiadający aktywności związanej z poprawnym kodowaniem; jego zastosowanie u pacjentów z implantowanymi elektrodami poprawiało wyniki w badanym paradygmacie pamięciowym. Aktualizacja programu opublikowana w 2024 roku wykazała możliwość wpływania na kodowanie określonych kategorii materiału, choć rezultaty nie były jednolicie korzystne: w zależności od pacjenta, stanu pamięci oraz rodzaju stymulacji (jednostronnej lub obustronnej) obserwowano zarówno poprawę, jak i pogorszenie wyników. Korzyści występowały wyraźniej u osób z upośledzeniem pamięci poddawanych stymulacji obustronnej. Właśnie ta niejednorodność pokazuje, że określenie "memory prosthesis" należy interpretować ostrożnie. Jest to próba wspomagania transformacji aktywności w konkretnym zadaniu kodowania, a nie urządzenie przechowujące biografię człowieka.

Neuroproteza pamięci różni się więc zasadniczo od implantu ślimakowego czy protezy kończyny. Nie zastępuje ona jasno zdefiniowanego kanału wejścia lub wyjścia, lecz próbuje ingerować w transformację reprezentacji w systemie, którego kod pozostaje częściowo niepoznany. To ograniczenie nie jest jedynie detalem technicznym.

W 2025 roku ankieta obejmująca ponad trzystu neuronaukowców wykazała przewagę poglądu, że długotrwała pamięć zależy głównie od wzorców łączności i siły synaptycznej, jednak zabrakło zgody co do tego, które dokładnie cechy neurofizjologiczne i skale organizacji są konieczne dla przechowywania śladu. Inżynieria pamięci rozwija się więc w sytuacji, w której potrafimy skutecznie modulować część mechanizmów, nie posiadając kompletnej teorii kodu, który chcielibyśmy kiedyś odczytywać i zapisywać. Na tej granicy pojawia się BCI (brain-computer interface). W popularnej wyobraźni interfejs mózg-komputer bywa utożsamiany z bezpośrednim kanałem pomiędzy umysłem a maszyną, lecz naukowo jest to ujęcie zbyt szerokie.

BCI może dekodować określone wzorce neuronalne powiązane z intencją ruchową, mową lub innym stanem, a w niektórych systemach dostarczać informację zwrotną albo stymulować mózg. Sukces w odczytywaniu jednego rodzaju sygnału nie oznacza jednak istnienia uniwersalnego słownika neuronalnego.

Dekodowanie cech to nie odczyt wspomnień

Badania z 2025 roku wskazują na interesujący, choć ograniczony postęp w domenie autobiograficznej. W kontrolowanym eksperymencie fMRI badacze, korzystając z modelu semantycznego, zdołali rekonstruować część cech subiektywnie wyobrażanych scen autobiograficznych – mowa tu o właściwościach społecznych, komunikacyjnych, sensorycznych czy afektywnych. Nie oznacza to jednak "odczytywania wspomnień". Uczestnicy w skanerze świadomie przywoływali określone kategorie zdarzeń, a model odtwarzał jedynie część wymiarów opisujących ich mentalne obrazy. Nie rekonstruował on pełnego epizodu, nie ustalał niezależnie, czy zdarzenie faktycznie miało miejsce i nie uzyskiwał swobodnego dostępu do nieaktywnej autobiografii.

Różnica między dekodowaniem cech reprezentacji a odczytaniem pamięci jest zasadnicza. Jeśli klasyfikator rozpoznaje, że aktywność mózgu zawiera więcej komponentów społecznych niż przestrzennych, wciąż nie zna nazwiska osoby, zdań wypowiedzianych podczas wydarzenia ani historycznej prawdziwości wspomnienia. Jest to jak rozpoznanie gatunku muzycznego bez posiadania nagrania konkretnego utworu. Współczesne osiągnięcia w neural decoding są rzeczywiste i znaczące, ale nie tworzą urządzenia do ekstrakcji autobiograficznych filmów z mózgu.

Sztuczna inteligencja prawdopodobnie odegra kluczową rolę właśnie pomiędzy tymi poziomami. Jej najbardziej realistycznym zastosowaniem w inżynierii pamięci nie jest "stworzenie wspomnienia przez AI", lecz klasyfikowanie stanu neuronalnego, personalizowanie parametrów stymulacji, wykrywanie optymalnego momentu interwencji, integrowanie wielomodalnych danych oraz modelowanie odpowiedzi konkretnego pacjenta. System Ezzyata już opierał się na tej zasadzie: algorytm szacował prawdopodobieństwo udanego zapamiętania i na tej podstawie decydował o stymulacji. Im bogatsze staną się dane i modele, tym większą część procesu sterowania będzie można przenieść z sztywnego protokołu na system adaptacyjny. Wtedy jednak pojawia się problem kontroli. Klasyczny stymulator realizuje parametry ustalone przez klinicystę; system adaptacyjny może natomiast modyfikować własną strategię w zależności od reakcji pacjenta.

Jeśli funkcją celu będzie wynik testu pamięciowego, algorytm może nauczyć się strategii optymalnej dla samego testu, a niekoniecznie dla całej osoby.

Technologia jako narzędzie epistemiczne a pułapka optymalizacji

Problem ten przypomina klasyczne zjawisko Goodharta: gdy wskaźnik staje się celem, przestaje być rzetelnym miernikiem pełnego zjawiska. Lepszy wynik w testach recall nie musi bowiem oznaczać lepszej pamięci autobiograficznej, wyższej jakości życia czy sprawniejszego podejmowania decyzji. AI nie rozwiązuje zatem normatywnego problemu enhancementu; przeciwnie – czyni funkcję celu technicznie operacyjną. Konieczne staje się zdefiniowanie, co właściwie ma oznaczać „dobry stan pamięciowy". Czy jest to maksymalna retencja, najwyższa trafność, najniższy poziom lęku, największa zdolność uczenia się, czy może najlepsze funkcjonowanie kliniczne? Każde z tych kryteriów mogłoby prowadzić do zupełnie innej polityki stymulacji. Algorytm nie rozstrzyga pytania aksjologicznego; wykonuje je w postaci funkcji optymalizacyjnej.

Szczególną kategorię stanowi neurofeedback, który w przeciwieństwie do DBS nie musi bezpośrednio narzucać wzorca aktywności. Dostarcza on uczestnikowi sygnału zwrotnego o mierzoną stanie mózgu, co umożliwia naukę samoregulacji. Decoded Neurofeedback (DecNef) wykorzystuje wielowymiarowe wzorce fMRI oraz algorytmy klasyfikacyjne, aby wzmacniać określone reprezentacje – i to nawet wtedy, gdy uczestnik nie posiada pełnej świadomości, jaki konkretnie wzorzec jest nagradzany.

Choć badania eksperymentalne wykazały możliwość redukcji reakcji lękowej na bodźce awersyjne, przeglądy literatury wciąż wskazują na ograniczoną liczbę badań klinicznych i niepewność co do dokładnego mechanizmu działania. DecNef jest konceptualnie fascynujący, gdyż sytuuje się na granicy terapii psychologicznej i neurointerwencji. Zmiana wynika z uczenia się organizmu, jednak warunek tego procesu definiuje dekoder wzorca neuronalnego. Pacjent nie musi wiedzieć, że aktywuje reprezentację konkretnego bodźca; mamy tu do czynienia z formą neurobehawioralnego kształtowania. W tym modelu sztuczna inteligencja nie przesyła prądu bezpośrednio do engramu, lecz decyduje, kiedy dostarczyć nagrodę wzmacniającą określony stan sieci. Z perspektywy neuroetycznej technologie te są równie istotne co bezpośrednia stymulacja, ponieważ redefiniują znaczenie świadomego udziału w terapii.

Na przeciwległym końcu gradientu znajduje się optogenetyka, która zapewniła neuronauce engramu niezwykłą selektywność komórkową i czasową. To właśnie ona budzi pytanie, czy technologiczna anatomia Project X mogłaby zostać kiedyś przeniesiona na grunt ludzki.

Jeszcze kilka lat temu odpowiedź brzmiała niemal jednoznacznie negatywnie – barierami były konieczność dostarczenia opsyn, terapia genowa, implantacja urządzeń optycznych, reakcje

immunologiczne oraz trudności ze skalowaniem światła w dużym mózgu. Jednak w 2025 roku grupa badaczy, w tym Karl Deisseroth, opublikowała mapę translacji optogenetyki. Wskazano w niej na ogromne przeszkody, ale i fakt, że bezpośrednia interwencja w ludzki układ nerwowy osiągnęła poziom proof-of-principle w terapii wzroku. Nie zmienia to jednak statusu optogenetyki pamięci: nie istnieje kliniczna procedura pozwalająca optogenetycznie znakować ludzkie engramy autobiograficzne, a następnie sterować nimi za pomocą światła. Co więcej, autorzy translacyjnej roadmapy podkreślają, że wiele kluczowych korzyści klinicznych może mieć charakter pośredni. Technologia służy w modelach zwierzęcych do identyfikacji istotnych przyczynowo komórek i obwodów, a wiedza ta pozwala następnie projektować bezpieczniejsze leki, DBS, nieinwazyjną neuromodulację lub terapie genowe o innych mechanizmach. Jest to istotna korekta popularnego wyobrażenia o przyszłości: największym dziedzictwem optogenetyki nie musi być „optogenetyczny pacjent", lecz mapa obwodów, którą inne technologie wykorzystają do mniej selektywnych, ale klinicznie bezpieczniejszych interwencji.

Właśnie w ten sposób należy interpretować dzieje Project X – nie jako prototyp produktu do miniaturyzacji i wszczepienia człowiekowi, lecz jako narzędzie epistemiczne zmieniające naszą wiedzę o przyczynowej organizacji pamięci. Tonegawa, Liu i Ramirez wykazali, że określone populacje komórek są funkcjonalnie związane z wydobyciem pamięci. Późniejsze badania ujawniły plastyczność walencji, możliwość tworzenia fałszywych asocjacji oraz istnienie cichych engramów. Translacyjna wartość tych wyników polega na wskazaniu, które procesy warto próbować modulować, a nie na dostarczeniu gotowej instrukcji operacyjnej dla ludzkiego mózgu.

Istnieje jeszcze jedna grupa technologii, sytuująca się między światem klinicznym a eksperymentalnym: manipulowanie konsolidacją podczas snu. Closed-loop TMR (stymulacja akustyczna dostosowana do fazy wolnej oscylacji), TMS, tACS oraz algorytmy rozpoznające stadium snu mogą wspólnie tworzyć systemy subtelnie modyfikujące prawdopodobieństwo utrwalenia określonych reprezentacji. Badania wskazują, że efekty te zależą od jakości pierwotnego kodowania i momentu reaktywacji; eksperyment z 2025 roku wykazał związek neuronalnej reaktywacji po dźwięku z korzyścią pamięciową widoczną jeszcze po tygodniu. Nie jest to „nocne programowanie" człowieka, lecz dowód na to, że konsolidacja może być zewnętrznie ukierunkowywana w stanie ograniczonej świadomości.

Systemowa odpowiedzialność w dobie sprawstwa rozproszonego

Właśnie ten fakt może mieć najpoważniejsze znaczenie społeczne, gdyż technologie nieinwazyjne mogą osiągnąć znacznie większą skalę niż implanty chirurgiczne. Ryzyko neuroetyczne nie jest bowiem prostą funkcją biologicznej głębokości ingerencji. Precyzyjna operacja przeprowadzona u stu pacjentów może mieć mniejszy wpływ na społeczeństwo niż mało precyzyjna, lecz masowo stosowana interwencja w sen, procesy uczenia się lub uwagę. W analizie przyszłości należy zatem odróżniać precyzję jednostkową od skali populacyjnej.

Z perspektywy teorii sterowania wszystkie te rozwiązania można umieścić na kontinuum – od układów otwartych po adaptacyjne pętle sprzężenia zwrotnego. Najprostsza interwencja podaje ten sam bodziec, niezależnie od bieżącego stanu mózgu. Rozwiązania bardziej zaawansowane mierzą fazę oscylacji, poziom aktywności lub prawdopodobieństwo udanego kodowania. Kolejny etap integruje historię odpowiedzi pacjenta, dostosowując parametry w czasie rzeczywistym, podczas gdy systemy najbardziej złożone mogłyby przewidywać długoterminową reakcję na podstawie danych multimodalnych i automatycznie dobierać strategię. Wraz z domykaniem pętli wzrasta skuteczność, ale jednocześnie rośnie liczba decyzji przeniesionych z jawnej interakcji lekarz-pacjent do infrastruktury technicznej. Powstaje wówczas zjawisko sprawstwa rozproszonego. Jeśli implant zmienia aktywność mózgu, ponieważ algorytm uznał dany stan neuronalny za patologiczny, trudno wskazać jeden punkt odpowiedzialności.

Klinicysta ustalił wskazania; inżynier zaprojektował model; producent określił parametry urządzenia; regulator dopuścił produkt do obrotu; pacjent wyraził zgodę; a algorytm podjął konkretną decyzję w milisekundzie działania. Systemowy charakter technologii wymaga zatem systemowego modelu odpowiedzialności. Nie można jej przypisać wyłącznie osobie, której mózg został zmodyfikowany, ani traktować algorytmu jako autonomicznego podmiotu moralnego. Sytuacja komplikuje się jeszcze bardziej, gdy urządzenie wpływające na pamięć zmienia warunki, w których pacjent później ocenia jego działanie. Jeśli system redukuje lęk, może wpłynąć na gotowość do kontynuowania terapii; jeśli usprawnia przywoływanie określonych doświadczeń, może zmienić autobiograficzną ocenę problemu. Pętla staje się więc nie tylko neurologiczna, lecz refleksyjna: interwencja oddziałuje na podmiot, który następnie ma wyrazić zgodę na dalszą interwencję. W przypadku takich technologii klasyczna świadoma zgoda udzielona przed zabiegiem może okazać się niewystarczająca; konieczna będzie zgoda dynamiczna oraz długofalowe monitorowanie osobowych konsekwencji terapii. Mimo gwałtownego rozwoju technologii, należy stanowczo wyznaczyć granicę obecnej wiedzy.

Inżynieria warunków pamiętania zamiast cyfrowej edycji wspomnień

Nie istnieje metoda, która pozwalałaby pobrać z mózgu ludzkie wspomnienie autobiograficzne w całości, zapisać je jako samodzielny obiekt cyfrowy, skopiować do drugiej osoby, precyzyjnie zmienić szczegóły wydarzenia i wgrać je ponownie. Nie wiemy nawet dokładnie, który poziom organizacji neuronalnej stanowi wystarczający opis długotrwałego śladu pamięciowego. Ankieta neuronaukowców z 2025 roku wykazała szerokie poparcie dla znaczenia łączności i siły synaptycznej, a jednocześnie brak konsensusu co do dokładnego substratu pamięci długotrwałej. Nie potrafimy również oddzielić pełnej treści epizodu od historii jego późniejszych przekształceń. Wspomnienie nie jest plikiem istniejącym w jednej kopii. Składa się z elementów rozproszonych, które są aktualizowane i wykorzystywane przez różne systemy.

Właśnie dlatego sukces w dekodowaniu fragmentu reprezentacji nie oznacza automatycznie możliwości odczytania całej pamięci. Nauka może identyfikować coraz więcej korelatów i kodów funkcjonalnych, jednak przejście od rozpoznania pojedynczej cechy do rekonstrukcji kompletnej autobiografii jest problemem jakościowo większym niż zwykłe zwiększanie rozdzielczości aparatury. Podobnie nie należy utożsamiać stymulowania mechanizmu kodowania z implantowaniem konkretnej treści. Neuroproteza może zwiększyć prawdopodobieństwo zapamiętania materiału prezentowanego pacjentowi, ale nie oznacza to, że sama generuje informację, której ten nie otrzymał. Closed-loop stimulation potrafi "uratować" słaby stan kodowania, lecz nie wie, jakie konkretnie zdanie należy zapisać. TMR może uprzywilejować reaktywację skojarzenia, jednak wymaga wcześniejszego utworzenia związku między bodźcem a informacją. Każda z tych technologii ingeruje w warunki pamiętania, a nie w pełny semantyczny zapis autobiograficzny. To rozróżnienie pozwala sformułować realistyczną wizję najbliższej przyszłości.

Prawdopodobne jest zwiększanie skuteczności interwencji stanowo zależnych: stymulowanie w odpowiedniej fazie snu, pobudzanie sieci podczas niekorzystnego stanu kodowania, farmakologiczne wspieranie lub osłabianie aktualizacji po kontrolowanej reaktywacji, dopasowanie parametrów neuromodulacji do indywidualnej architektury sieci oraz wykorzystywanie AI do przewidywania odpowiedzi. Możliwy jest rozwój coraz lepszych neuroprotez przywracających część funkcji u osób z uszkodzeniami mózgu, a także dekoderów rozpoznających bogatsze klasy stanów mentalnych. Znacznie mniej uzasadnione jest natomiast oczekiwanie w przewidywalnej przyszłości swobodnego eksportowania i importowania pełnych wspomnień autobiograficznych. Technologiczna rewolucja pamięci może być więc mniej widowiskowa niż w fantastyce naukowej,

lecz społecznie wcale nie mniej doniosła. Człowieka nie trzeba wyposażać w możliwość kopiowania całego życia, aby radykalnie zmienić jego relację z przeszłością. Wystarczy zwiększyć zdolność odzyskiwania utraconych informacji, regulować intensywność wspomnień traumatycznych, wzmacniać konsolidację określonego materiału, zmieniać prawdopodobieństwo jego późniejszego wydobycia lub automatycznie modulować sieć w chwili, gdy algorytm przewiduje błąd pamięciowy.

Małe ingerencje, wykonywane wielokrotnie na przestrzeni lat, mogą posiadać większą wagę biograficzną niż pojedyncza spektakularna operacja. Właśnie dlatego pojęcie "edycji pamięci" wymaga w naukowej rozprawie dekompozycji. Można zmieniać prawdopodobieństwo kodowania, siłę konsolidacji, dostępność śladu, jego ekspresję afektywną, relację z innym wspomnieniem, szansę na spontaniczną reaktywację lub warunki, w których reprezentacja uczestniczy w podejmowaniu decyzji. Są to odrębne operacje. Ich zlanie w jedno słowo tworzy technologiczny mit i utrudnia etyczną ocenę. Dojrzała neurotechnologia będzie prawdopodobnie zmierzać właśnie ku tej komponentowości.

Od kontroli mechanizmu do rozumienia znaczenia

Zamiast usuwać całe wspomnienie traumatyczne, technologia może próbować ograniczać patologiczne pobudzenie autonomiczne. Zamiast globalnie „przywracać pamięć”, może zwiększać prawdopodobieństwo właściwej aktywacji sieci w konkretnym zadaniu. Zamiast wzmacniać cały mózg, może synchronizować określone rytmy w danym przedziale czasowym. A zamiast odczytywać myśli – klasyfikować stan sieci niezbędny do podjęcia decyzji o stymulacji. Brzmi to mniej spektakularnie, ale jest znacznie bliższe logice systemów biologicznych.

Człowiek rzeczywiście dostał się do mózgu, lecz nie znalazł tam panelu sterowania z podpisanymi przyciskami "pamięć", "strach", "miłość" i "tożsamość". Znalazł dynamiczne sieci, których funkcje zależą od czasu, kontekstu, historii, stanu organizmu oraz relacji z innymi obwodami. Każdy kolejny sukces technologiczny ujawnia jednocześnie nowy poziom złożoności. Im sprawniej umiemy działać, tym wyraźniej widzimy, że operujemy w systemie, którego pełnej semantycznej architektury wciąż nie znamy. To może być najważniejsza lekcja przejścia od Project X do closed-loop neurotechnology. Początkowym triumfem było wykazanie, że światło potrafi reaktywować określony zespół neuronalny. Kolejny etap nie polega jednak na prostym zwiększaniu mocy tego światła, lecz na zrozumieniu: kiedy, w jakim stanie sieci, wobec którego komponentu pamięci i dla jakiego celu interwencja powinna nastąpić. Technologia dojrzewa wtedy, gdy przechodzi od demonstracji kontroli ku teorii ograniczeń własnej kontroli. Wraz ze wzrostem zdolności

manipulowania mechanizmem pojawia się właśnie pokusa utożsamienia znajomości mechanizmu ze znajomością znaczenia.

Możemy precyzyjnie opisać zmianę aktywności DG, BLA, CA1 czy kory skroniowej i nadal nie wiedzieć, czym dla konkretnego człowieka jest wspomnienie śmierci ojca, narodzin dziecka, zdrady, wojny albo pierwszego doświadczenia wolności. Mechanizm wyjaśnia, jak reprezentacja wpływa na zachowanie, ale nie wyczerpuje odpowiedzi na pytanie, co ta reprezentacja znaczy w życiu osoby. W tym miejscu autor książki przeciwstawia się neuroredukcjonizmowi – nie po to, by pomniejszyć znaczenie neuronauki, lecz aby precyzyjnie wyznaczyć jej poziom wyjaśniania. Konieczne jest zatem połączenie filozofii nauki, emergentyzmu, wielopoziomowych modeli wyjaśnienia, semantyki, kultury i psychologii narracyjnej. Dopiero wtedy będziemy mogli odpowiedzieć, dlaczego pełna mapa engramów człowieka - nawet gdyby kiedyś stała się technicznie możliwa - nadal nie byłaby tym samym co pełna mapa osoby.

> Wraz ze wzrostem naszej technicznej władzy nad mechanizmami mózgu pojawia się niebezpieczna pokusa utożsamienia znajomości biologicznego mechanizmu ze znajomością ludzkiego znaczenia. Możemy precyzyjnie sterować aktywnością neuronów, a jednak wciąż nie wiedzieć, czym dla konkretnej osoby jest wspomnienie straty czy wolności. Ostatecznie pełna mapa engramów człowieka – nawet gdyby stała się technicznie możliwa – nigdy nie będzie tożsama z mapą samej osoby.

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 oraz doktorat z nauk o mózgu i kognitywistyce w Massachusetts Institute of Technology, gdzie pracował w laboratorium Susumu Tonegawy. Następnie został mianowany młodszym pracownikiem naukowym Harvard Society of Fellows. Ramirez jest najbardziej znany z pionierskich badań nad engramami pamięci i optogenetyczną manipulacją wspomnieniami. Współpracując ze swoim zmarłym współpracownikiem Xu Liu, przeprowadził przełomowe eksperymenty, które wykazały, że wspomnienia strachu u myszy można sztucznie reaktywować, a fałszywe wspomnienia wszczepiać za pomocą światłoczułych obwodów neuronalnych. Jego laboratorium badawcze koncentruje się na odkrywaniu neuronalnych mechanizmów przechowywania, odzyskiwania i modulacji pamięci w celu opracowania nowatorskich interwencji terapeutycznych w zaburzeniach neuropsychiatrycznych, w tym zespole stresu pourazowego, lęku i depresji.

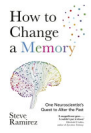
Steve Ramirez *(born 1988) is an American neuroscientist and Associate Professor of Psychological and Brain Sciences at Boston University. He earned his bachelor's degree in neuroscience from Boston University and his Ph.D. in Brain and Cognitive Sciences from the Massachusetts Institute of Technology, where he worked in the laboratory of Susumu Tonegawa. He subsequently was named a Junior Fellow at the Harvard Society of Fellows. Ramirez is best known for pioneering research in memory engrams and the optogenetic manipulation of memories. Working with his late collaborator Xu Liu, he conducted landmark experiments demonstrating that fear memories in mice could be artificially reactivated and false memories implanted using light-sensitive neural circuits. His research laboratory focuses on uncovering the neural mechanisms of memory storage, retrieval, and modulation to develop novel therapeutic interventions for neuropsychiatric disorders, including post-traumatic stress disorder, anxiety, and depression.*

Boston University

Literatura uzupełniająca

Książki

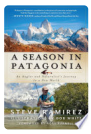
Książki autora i dzieła przywołane w tekście:



[1] "Project Total Recall"

Steve Ramirez

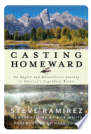
2025 | Robinson Press | ISBN: 9781472141743



[2] "A Season in Patagonia"

Steve Ramirez

2026 | Simon and Schuster | ISBN: 9781493091010



[3] "Casting Homeward"

Steve Ramirez

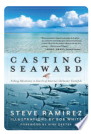
2024 | Simon and Schuster | ISBN: 9781493077700



[4] "Casting Forward"

Steve Ramirez

2020 | Simon and Schuster | ISBN: 9781493051465



[5] "Casting Seaward"

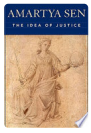
Steve Ramirez

2023 | Simon and Schuster | ISBN: 9781493070992

Książki autorów przywoływanych i literatura pokrewna:

[6] "India: Economic Development and Social Opportunity"

Amartya Sen



[7] "The Idea of Justice"

Amartya Sen

Harvard University Press | ISBN: 9780674036130



[8] "Anthropic Bias: Observation Selection Effects in Science and Philosophy"

Nick Bostrom

Routledge | ISBN: 9781136710995



[9] "Human Enhancement"

Nick Bostrom

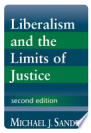
OUP Oxford | ISBN: 9780191559600



[10] "Global Catastrophic Risks"

Nick Bostrom

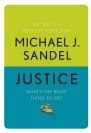
OUP Oxford | ISBN: 9780191547133



[11] "Liberalism and the Limits of Justice"

Michael Sandel

Cambridge University Press | ISBN: 9781139643290



[12] "Justice: What's the Right Thing to Do?"

Michael Sandel

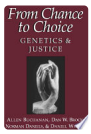
ISBN: 9781846142130



[13] "Justice and Justification"

Norman Daniels

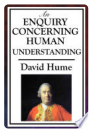
1996 | Cambridge University Press | ISBN: 9780521467117



[14] "From Chance to Choice"

Allen Buchanan, Dan W. Brock, Norman Daniels, Daniel Wikler

2001 | Cambridge University Press | ISBN: 9781316583937



[15] "An Enquiry Concerning Human Understanding"

David Hume

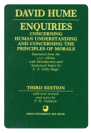
2012 | Simon and Schuster | ISBN: 9781625583161



[16] "An Inquiry Concerning the Principles of Morals"

David Hume

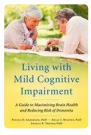
1957 | MacMillan Publishing Company | ISBN: 9780672602368



[17] "Enquiries concerning human understanding and concerning the principles of morals"

David Hume

1975 | ISBN: 9780198245360



[18] "Living with Mild Cognitive Impairment: A Guide to Maximizing Brain Health and Reducing Risk of Dementia"

Nicole D. Anderson, Kelly J. Murphy, Angela K. Troyer

2012 | Oxford University Press, USA | ISBN: 9780199978908

Artykuły naukowe

Prace autorów przywoływanych w tekście:

[1] "Essays, Moral, Political, and Literary"

David Hume

2021 | Oxford University Press eBooks | DOI: 10.1093/oseo/instance.00280189

Źródło

[2] "Premenstrual Syndrome and Criminal Responsibility"

Christopher Boorse

1987 | Springer eBooks | DOI: 10.1007/978-1-4684-5275-4_7

Źródło

[3] "On the Goals of Medicine, Health Enhancement and Social Welfare"

Lennart Nordenfelt

2001 | Health Care Analysis | DOI: 10.1023/a:1011350927112

Źródło

[4] "Targeted modulation of NF-κB1 in neurodegenerative diseases"

Priyanka Banerjee, Rabindra Nath Das, Amartya Sen, Monosiz Rahaman, S. K. Sanyal

2026 | Discover Neuroscience | DOI: 10.1186/s13064-026-00341-x

Źródło

[5] "Cognitive Enhancement: Methods, Ethics, Regulatory Challenges"

Nick Bostrom, Anders Sandberg

2009 | Science and Engineering Ethics | DOI: 10.1007/s11948-009-9142-5

Źródło

[6] "Existential Risk Prevention as Global Priority"

Nick Bostrom

2013 | Global Policy | DOI: 10.1111/1758-5899.12002

Źródło

[7] "Existential risks: analyzing human extinction scenarios and related hazards"

Nick Bostrom

2002 | Oxford University Research Archive (ORA) (University of Oxford)

Źródło

[8] "Human Genetic Enhancements: A Transhumanist Perspective"

Nick Bostrom

2003 | The Journal of Value Inquiry | DOI: 10.1023/b:inqu.0000019037.67783.d5

Źródło

[9] "The Beginning of Wisdom: Reading Genesis"

León R. Kass

2003 | DigitalGeorgetown (Georgetown University Library)

Źródło

[10] "Beyond therapy : biotechnology and the pursuit of happiness : areport of the President's Council on Bioethics"

León R. Kass, William Safire

2005

Źródło

[11] ""Alternative Sources of Human Pluripotent Stem Cells" (2005), by Leon Kass and the President's Council on Bioethics"

L. Kass, J. Rossant

2018

Źródło

[12] "Contents"

Michael J. Sandel

2018 | Harvard University Press eBooks | DOI: 10.4159/9780674982710-toc

Źródło

[13] "Learning from Chinese Philosophy"

Michael J. Sandel

2018 | Encountering China | DOI: 10.4159/9780674982710-012

Źródło

[14] "Political Communication in Media Society: Does Democracy Still Enjoy an Epistemic Dimension? The Impact of Normative Theory on Empirical Research"

Jürgen Habermas

2006 | Communication Theory | DOI: 10.1111/j.1468-2885.2006.00280.x

Źródło

[15] **"The European Nation State. Its Achievements and Its Limitations. On the Past and Future of Sovereignty and Citizenship"**

Jürgen Habermas

1996 | Ratio Juris | DOI: 10.1111/j.1467-9337.1996.tb00231.x

Źródło

[16] **"Concluding Comments on Empirical Approaches to Deliberative Politics"**

Jürgen Habermas

2005 | Acta Politica | DOI: 10.1057/palgrave.ap.5500119

Źródło

[17] **"Capabilities, opportunity, and health"**

Norman Daniels

2010 | Measuring Justice | DOI: 10.1017/cbo9780511810916.006

Źródło

[18] **"Enquiries Concerning Human Understanding and Concerning the Principles of Morals"**

David Hume

1777 | Oxford University Press eBooks | DOI: 10.1093/oseo/instance.00046349

Źródło

[19] **"An Enquiry concerning Human Understanding"**

David Hume

2008 | Oxford University Press eBooks | DOI: 10.1093/owc/9780199549900.001.0001

Źródło

[20] **"An Inquiry concerning human understanding"**

David Hume

1955

Źródło

[21] **"The Enigmatic temporal pole: a review of findings on social and emotional processing"**

Ingrid R. Olson, Alan Plotzker, Youssef Ezzyat

2007 | Brain | DOI: 10.1093/brain/awm052

Źródło

[22] "Closed-loop stimulation of temporal cortex rescues functional networks and improves memory"

Youssef Ezzyat, Paul A. Wanda, Deborah F. Levy, Allison Kadel, Ada Aka

2018 | Nature Communications | DOI: 10.1038/s41467-017-02753-0

Źródło

[23] "Similarity Breeds Proximity: Pattern Similarity within and across Contexts Is Related to Later Mnemonic Judgments of Temporal Proximity"

Youssef Ezzyat, Lila Davachi

2014 | Neuron | DOI: 10.1016/j.neuron.2014.01.042

Źródło

[24] "What Constitutes an Episode in Episodic Memory?"

Youssef Ezzyat, Lila Davachi

2010 | Psychological Science | DOI: 10.1177/0956797610393742

Źródło

[25] "Neuronal plasticity in the limbic system during classical conditioning of the rabbit nictitating membrane response. I. The hippocampus"

Theodore W. Berger, Richard F. Thompson

1978 | Brain Research | DOI: 10.1016/0006-8993(78)90866-1

Źródło

[26] "A cortical neural prosthesis for restoring and enhancing memory"

Theodore W. Berger, Robert E. Hampson, Dong Beom Song, Anushka V. Goonawardena, Vasilis Z. Marmarelis

2011 | Journal of Neural Engineering | DOI: 10.1088/1741-2560/8/4/046017

Źródło

[27] "Feedforward excitation of the hippocampus by afferents from the entorhinal cortex: redefinition of the role of the trisynaptic pathway."

Mark F. Yeckel, Theodore W. Berger

1990 | Proceedings of the National Academy of Sciences | DOI: 10.1073/pnas.87.15.5832

Źródło

[28] "Developing a hippocampal neural prosthetic to facilitate human memory encoding and recall"

Robert E. Hampson, Dong Beom Song, Brian S. Robinson, Dustin Fetterhoff, Alexander S. Dakos, Theodore W. Berger

2018 | Journal of Neural Engineering | DOI: 10.1088/1741-2552/aaaed7

Źródło

[29] "Systemic and Nasal Delivery of Orexin-A (Hypocretin-1) Reduces the Effects of Sleep Deprivation on Cognitive Performance in Nonhuman Primates"

Sam A. Deadwyler, Linda J. Porrino, Jerome M. Siegel, Robert E. Hampson

2007 | Journal of Neuroscience | DOI: 10.1523/jneurosci.3878-07.2007

Źródło

[30] "Effects of delta-9-tetrahydrocannabinol on delayed match to sample performance in rats: alterations in short-term memory associated with changes in task specific firing of hippocampal cells."

Charles J. Heyser, Robert E. Hampson, S. A. Deadwyler

1993 | Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics | DOI: 10.1016/s0022-3565(25)10268-1

Źródło

[31] "Millisecond-timescale, genetically targeted optical control of neural activity"

Edward S. Boyden, Feng Zhang, Ernst Bamberg, Georg Nagel, Karl A. Deisseroth

2005 | Nature Neuroscience | DOI: 10.1038/nn1525

Źródło

[32] "Driving fast-spiking cells induces gamma rhythm and controls sensory responses"

Jessica A. Cardin, Marie Carlén, Konstantinos Meletis, Ulf Knoblich, Feng Zhang, Karl A. Deisseroth

2009 | Nature | DOI: 10.1038/nature08002

Źródło

[33] "Structural and molecular interrogation of intact biological systems"

Kwanghun Chung, Jenelle L. Wallace, Sung-Yon Kim, Sandhiya Kalyanasundaram, Aaron S. Andalman, Karl A. Deisseroth

2013 | Nature | DOI: 10.1038/nature12107

Źródło

[34] "Optogenetics in Neural Systems"

Ofer Yizhar, Lief E. Fenno, Thomas J. Davidson, Murtaza Mogri, Karl A. Deisseroth

2011 | Neuron | DOI: 10.1016/j.neuron.2011.06.004

Źródło

Artykuły naukowe autora:

[35] "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

[36] "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

[37] "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

[38] "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

[39] "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

[40] "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

[41] "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

[42] "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

[43] "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

[44] "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: ededef7b-0cf2-4be6-bc46-e2bf5565422d