

Ciało jako archiwum: mikrochimeryzm i biologiczna historyczność organizmu w świetle książki Lise Barneoud *Hidden Guests*



AUTOR

Fundacja Dobre Państwo

STRESZCZENIE / ABSTRACT

Artykuł analizuje koncepcję organizmu jako materialnego archiwum, w którym ciało przechowuje ślady przeszłości nie tylko poprzez pamięć psychiczną, ale przede wszystkim biologiczną. Kluczowym przykładem jest mikrochimeryzm – obecność obcych komórek (np. płodowych), które stanowią trwały zapis relacji biologicznych. Autor odróżnia psychologiczną pamięć od biologicznego „śladu”, nawiązując do teorii Paula Ricoeura i Jacquesa Derridy. Biologiczna historyczność przejawia się w sedimentacji procesów: od blizn i przeciwciał, przez zmiany epigenetyczne (metylacja DNA), aż po remodeling tkanek. Organizm nie jest zatem strukturą istniejącą wyłącznie w teraźniejszości, lecz dynamicznym układem, którego aktualny stan jest wynikiem trajektorii rozwojowej i materialnych konsekwencji zdarzeń z przeszłości.

The article analyzes the concept of the organism as a material archive, in which the body preserves traces of the past not only through psychic memory, but primarily biological memory. A key example is microchimerism—the presence of foreign cells (e.g., fetal), which constitute a permanent record of biological relationships. The author distinguishes psychological memory from the biological 'trace', referring to the theories of Paul Ricoeur and Jacques Derrida. Biological historicity manifests in the sedimentation of processes: from scars and antibodies, through epigenetic changes (DNA methylation), to tissue remodeling. The organism is therefore not a structure existing solely in the present, but a dynamic system whose current state is the result of its developmental trajectory and the material consequences of past events.

Artykuł stawia tezę, że organizm ludzki nie jest statycznym monolitem genetycznym, lecz dynamicznym archiwum biologicznym, w którym mikrochimeryzm – trwała obecność obcych komórek (np. pochodzących z relacji matka-dziecko) – stanowi materialny zapis przeszłości. Autor argumentuje, że tożsamość biologiczna jednostki nie opiera się na homogeniczności materii czy identyczności genomu każdej komórki, lecz na ciągłości organizacji procesów i zdolności systemu do integracji heterogenicznych elementów. Wykorzystując perspektywę teorii systemów, autopoiesis oraz pojęcie biologicznej sedimentacji, tekst dowodzi, że ciało funkcjonuje jako system historyczny: aktualny stan fizjologiczny jest funkcją przebytej trajektorii rozwojowej i immunologicznej. W tym ujęciu mikrochimeryzm przestaje być biologiczną ciekawostką, a staje się dowodem na to, że granice organizmu są porowate, a jego jedność jest nieustannie wytwarzanym efektem regulowania wielości. Przejście od „medycyny stanów” do „medycyny trajektorii” pozwala zatem widzieć pacjenta nie jako aktualny zestaw parametrów, lecz jako ucieleśnioną historię relacji i zdarzeń.

SŁOWA KLUCZOWE

mikrochimeryzm

biologiczna historyczność organizmu

pamięć epigenetyczna

ciało jako archiwum

histereza biologiczna

trained immunity

trajektoria rozwojowa

biologiczny indeks

teoria systemów zagnieżdżonych

developmental systems theory

DOHaD

metaorganizm

pluralizm komórkowy

sedymencja biologiczna

Organizm jako materialne archiwum biologicznych śladów

Ciało jako archiwum czasu: mikrochimeryzm, pamięć biologiczna, epigenetyka, ślad immunologiczny i zależność od przebytej drogi

Mikrochimeryzm wymusza przesunięcie perspektywy: od pytania o granice organizmu ku pytaniu o jego czasowość. Jeśli komórki nabyte w czasie ciąży mogą pozostawać w organizmie przez lata lub dekady, przestaje on jawić się jako struktura biologiczna istniejąca wyłącznie w teraźniejszości. Staje się układem, w którym wcześniejsze zdarzenia pozostawiają materialne konsekwencje,

wpływające na późniejsze możliwości reakcji. Autor książki rozwija tę intuicję, opisując człowieka jako wielopokoleniową sieć, w której przeszłość matki, potomstwa i dawnych zdarzeń reprodukcyjnych trwa w postaci stałych populacji komórek.

Nie należy jednak mówić o „pamięci” bez sprecyzowania poziomu analizy. Biologia operuje wieloma mechanizmami zachowywania informacji o przeszłości, z których pamięć psychiczna jest tylko jednym. W pierwszym przybliżeniu można wyróżnić pamięć neuronalną, immunologiczną, epigenetyczną, rozwojową i strukturalną – każda z nich opiera się na innych procesach. Pamięć autobiograficzna zależy od funkcjonowania układu nerwowego i rekonstrukcji doświadczenia; immunologiczna polega na zmianach w populacjach i właściwościach komórek odpowiedzi odpornościowej; epigenetyczna oznacza zdolność utrzymywania stanów ekspresji genów mimo kolejnych podziałów komórkowych, natomiast rozwojowa ujawnia się w trwałych następstwach zdarzeń ontogenetycznych.

Mikrochimeryzm wprowadza jednak jeszcze inną możliwość: samą persistencję nośnika zdarzenia. Komórki nabyte w konkretnym momencie historii organizmu mogą pozostać jego częścią długo po ustaniu procesu, który umożliwił ich transfer. Rozróżnienie to jest kluczowe, gdyż słowo „pamięć” często prowokuje nieuprawnione analogie. Komórka płodowa obecna w organizmie matki po trzydziestu latach nie „pamięta dziecka” w sensie psychologicznym, lecz stanowi biologiczny ślad konkretnego zdarzenia z przeszłości. Jej genom, lokalizacja, fenotyp i historia klonalna niosą informację o wcześniejszej relacji biologicznej.

Ciało staje się więc archiwum nie dlatego, że wspomina, lecz ponieważ zachowuje materialne następstwa własnej historii. W tym miejscu przydatne jest pojęcie śladu z hermeneutyki Paula Ricoeura. W pracy **La mémoire, l'histoire, l'oubli** Ricoeur odróżnia pamięć – rozumianą jako doświadczenie teraźniejszej obecności przeszłego wydarzenia – od śladu, czyli materialnej lub symbolicznej pozostałości po czymś, czego już nie ma. Ślad nie jest samym wydarzeniem, lecz jego pozostałością umożliwiającą rekonstrukcję. Ta dystynkcja precyzyjnie oddaje naturę mikrochimeryzmu.

Komórka potomstwa w organizmie matki nie jest minionym stanem ciąży ani obecnością dziecka jako osoby; jest biologicznym śladem procesu, którego materialne konsekwencje trwają nadal. Takie ujęcie pozwala uniknąć dwóch błędów: redukowania mikrochimeryzmu do obojętnej resztki pozbawionej znaczenia oraz utożsamiania śladu z tym, czego jest on śladem. W medycynie ślad może mieć znaczenie funkcjonalne – komórka może uczestniczyć w regulacji, regeneracji lub odpowiedzi immunologicznej – nie staje się jednak przez to „obecnością osoby”, od której pochodzi. Materialna trwałość i osobowa ciągłość to kategorie różnych poziomów.

Jacques Derrida radykalizował pojęcie śladu, wskazując, że teraźniejszość nigdy nie jest w pełni samowystarczalna, gdyż zawiera skutki tego, co ją poprzedziło, oraz odniesienia do tego, co może nastąpić. Nie należy oczywiście traktować mikrochimeryzmu jako biologicznego dowodu dekonstrukcji; zbieżność ta ma charakter strukturalny. Stan organizmu w danej chwili nie jest wyłącznie wynikiem aktualnego składu, lecz także sedimentacją wcześniejszych procesów. Organizm istnieje historycznie. Ta historyczność jest dobrze znana medycynie: blizna to historia urazu zapisana w strukturze tkanki, a przeciwciała i komórki pamięci są śladem kontaktu z antygenem.

Ciało jako archiwum

Biologiczna pamięć jako zapis trajektorii rozwojowej

Remodeling serca może przechowywać konsekwencje dawnego przeciążenia, podobnie jak fibroza stanowi trwałe następstwo wcześniejszych procesów zapalnych. Zmiana epigenetyczna potrafi sprawić, że komórka po wielu podziałach reaguje w określony sposób tylko dlatego, że jej przodkowie zostali poddani konkretnemu bodźcowi. Mikrochimeryzm poszerza tę rodzinę zjawisk o trwałość populacji komórkowej obcej genealogicznie. Współczesna epigenetyka dostarcza precyzyjnej teorii tak rozumianej pamięci: stan ekspresji genów może być utrzymywany mimo podziałów komórkowych dzięki metylacji DNA, modyfikacjom histonów, organizacji chromatyny oraz sprzężeniom zwrotnym stabilizującym aktywność regulatorów transkrypcyjnych. Przegląd z 2025 roku podkreśla właśnie rolę takich pętli w utrzymywaniu stanów ekspresji przez kolejne generacje komórek. „Pamięć komórkowa” jest tu terminem technicznym – komórka nie posiada reprezentacji przeszłości, lecz zachowuje stan regulacyjny będący wynikiem wcześniejszych zdarzeń.

Mai to kluczowe znaczenie dla mikrochimeryzmu. Jeśli komórka pochodząca od płodu lub matki przetrwa w nowym organizmie, jej funkcja nie musi zależeć wyłącznie od genomu; wpływa na nią również wcześniejszy program epigenetyczny oraz jego późniejsze remodelowanie w nowej niszy tkankowej. Komórka zachowuje zatem jednocześnie kilka historii: genealogiczną historię pochodzenia, historię różnicowania oraz historię kontaktu z nowym mikrośrodowiskiem. Z perspektywy biologii systemowej jest to obiekt o wielowarstwowej czasowości. Warto w tym miejscu odrzucić naiwny model DNA jako kompletnego archiwum biografii komórki. Sekwencja genomu mówi niezwykle wiele o pochodzeniu, lecz nie zapisuje wprost całej historii funkcjonalnej. Dwie komórki o identycznym genomie mogą mieć radykalnie różne fenotypy właśnie dlatego, że rozwój i środowisko ukształtowały inne stany epigenetyczne. Komórka mikrochimeryczna w

wątrobie i komórka tej samej genealogii obecna we krwi mogą więc różnić się biologicznie bardziej, niż sugerowałoby samo porównanie DNA.

W tym punkcie pojawia się głębsze pojęcie pamięci rozwojowej. Conrad Waddington opisywał rozwój za pomocą metafory krajobrazu epigenetycznego: komórka w toku różnicowania schodzi w coraz bardziej określone „doliny”, a wcześniejsze decyzje rozwojowe ograniczają jej późniejszy repertuar możliwości. Choć współczesna biologia rozwoju dalece przekracza pierwotny model Waddingtona, sama intuicja pozostaje aktualna – rozwój jest procesem zależnym od historii. To, gdzie system znajduje się dziś, zależy od drogi, którą do tego miejsca dotarł. Podobną strukturę w naukach społecznych i ekonomicznych opisuje pojęcie path dependence (zależności od przebytej drogi). Paul David i Brian Arthur pokazywali, że w systemach historycznych wczesne zdarzenia mogą uruchamiać mechanizmy samowzmacniające i ograniczać późniejsze możliwości. W biologii odpowiednikiem nie jest instytucjonalne „zamknięcie ścieżki”, lecz rozwojowe ograniczenie przestrzeni stanów. Raz uruchomiony program różnicowania, przebudowana tkanka czy ustalona tolerancja immunologiczna mogą zmienić zakres reakcji dostępnych w przyszłości. Badania nad ograniczeniami rozwojowymi pokazują szerzej, że silne powiązania procesów ontogenetycznych ograniczają dopuszczalne kierunki zmian ewolucyjnych. Mikrochimeryzm można wpisać właśnie w taki model zależności historycznej: ciąża nie jest zdarzeniem, po którym organizm po prostu „wraca” do stanu poprzedniego.

Histereza i biologiczne nośniki pamięci relacyjnej

Proces ten zmienia układ hormonalny, naczyniowy, metaboliczny i immunologiczny, a ponadto może pozostawić trwałe populacje komórkowe. Kolejna ciąża zachodzi zatem w organizmie o innej historii niż przed pierwszą. Nie oznacza to, że wcześniejsza ciąża determinuje późniejsze losy, lecz że modyfikuje zestaw warunków początkowych.

W teorii systemów taki proces określa się mianem histerezy. Stan układu zależy w niej nie tylko od aktualnych parametrów, ale także od jego przeszłości. Dwa organizmy, znajdujące się obecnie w podobnym stanie fizjologicznym, mogą reagować odmiennie, ponieważ przebyły inne trajektorie. Histereza jest znana w biologii regulacji genów, sieciach sygnałowych, odpowiedzi stresowej i dynamice komórkowej. Mikrochimeryzm może stanowić jeden z materialnych mechanizmów, dzięki którym przeszłe zdarzenia reprodukcyjne pozostają wpisane w późniejszy stan organizmu.

Zasada ta jest jeszcze wyraźniejsza w immunologii. Klasyczna pamięć adaptacyjna opiera się na klonalnej ekspansji i długotrwałym utrzymywaniu limfocytów B i T oraz komórek pamięci, zdolnych do szybszej reakcji przy ponownym kontakcie z antygenem. W ostatnich kilkunastu latach

rozwinęła się jednak także koncepcja trained immunity, czyli długotrwałego przeprogramowania odporności wrodzonej. Współczesne przeglądy wskazują, że komórki wrodzone i ich prekursorzy mogą po wcześniejszej ekspozycji utrzymywać zmieniony stan funkcjonalny dzięki przebudowie epigenetycznej i metabolicznej. Ma to zasadnicze znaczenie teoretyczne: „pamięć biologiczna” przestaje być monopolem wyspecjalizowanych limfocytów, a staje się właściwością rozproszonego systemu komórkowego. Badania z 2025 roku podkreślają również, że pamięć zapalna obejmuje nie tylko klasyczne komórki odpornościowe, lecz może występować w komórkach strukturalnych i innych typach komórek dzięki trwałym zmianom epigenetycznym. Granica między pamięcią odpornościową a tkankową staje się więc coraz mniej ostra. Mikrochimeryzm tworzy tu nową hipotezę badawczą: trwała populacja komórek pochodzących od innego organizmu może nie tylko być śladem historii, lecz także sama posiadać własną pamięć epigenetyczną i uczestniczyć w modyfikowaniu późniejszych reakcji gospodarza.

Należy traktować to jako program badawczy, a nie ustalony fakt. Autor książki wspiera tezę o wieloletniej obecności mikrochimerycznych populacji i uznaje ją za podstawę biologicznej historyczności organizmu, jednak nie dostarcza wystarczających danych, by przypisać im specyficzny mechanizm pamięci epigenetycznej. To rozróżnienie pozwala zaproponować cztery poziomy pamięci mikrochimerycznej. Pierwszy jest czysto genealogiczny: obecność komórki świadczy o wcześniejszym transferze. Drugi jest demograficzny: klon może utrzymywać się i zmieniać swoją liczebność w czasie. Trzeci jest funkcjonalny: komórki mogą zachowywać fenotyp ukształtowany przez wcześniejsze bodźce. Czwarty jest systemowy: ich obecność może potencjalnie zmieniać późniejsze reakcje organizmu. Tylko pierwszy z tych poziomów wynika bezpośrednio z samej persystencji; pozostałe wymagają dodatkowych danych mechanistycznych. Z tej perspektywy kluczowe staje się pojęcie czasowej głębi organizmu. Organizm posiada nie tylko strukturę przestrzenną, ale i temporalną. Współczesny stan tkanki jest skumulowanym wynikiem embriogenezy, dojrzewania, infekcji, urazów, zmian hormonalnych, ekspozycji środowiskowych i procesów starzenia. Mikrochimeryzm wpisuje w tę strukturę również historię relacji reprodukcyjnych.

Maurice Halbwachs, rozwijając teorię pamięci zbiorowej, argumentował, że ludzka pamięć jest organizowana przez ramy społeczne. Człowiek nie wspomina wyłącznie jako biologicznie izolowany mózg; rekonstruuje przeszłość w języku, kategoriach i relacjach dostarczonych przez wspólnotę. Mikrochimeryzm nie jest pamięcią zbiorową w sensie Halbwachsa, lecz tworzy ciekawy kontrpunkt: również biologiczna historia jednostki może zawierać materialne ślady relacji z innymi. Należy jednak pilnować poziomu analizy. Halbwachs mówi o społecznym organizowaniu wspomnienia, mikrochimeryzm zaś o fizycznej obecności komórek. Nie są to analogiczne mechanizmy.

Łączy je bardziej ogólna teza: przeszłość jednostki nie jest konstruowana wyłącznie z materiału „własnego”, lecz może być kształtowana poprzez relacje. Jan i Aleida Assmann wprowadzili rozróżnienie pomiędzy pamięcią komunikacyjną a kulturową. Ta pierwsza jest podtrzymywana przez żywe relacje międzyludzkie; ta druga trwa dzięki materialnym nośnikom – tekstom, rytuałom, pomnikom czy instytucjom. Z perspektywy analizy autora książki szczególnie inspirująca jest sama struktura nośnika pamięci. Trwanie informacji zależy od istnienia medium zdolnego ją przechować. W biologii rolę takich mediów pełnią między innymi DNA, chromatyna, populacje komórek pamięci, przebudowane tkanki i – w szczególnym sensie – komórki mikrochimeryczne. Nie oznacza to, że ciało jest „tekstem” w banalnym znaczeniu; teoria informacji biologicznej wymaga znacznie większego rygoru. DNA zawiera sekwencyjną informację wykorzystywaną w biosyntezie i regulacji, stan epigenetyczny modyfikuje dostępność tej informacji, a struktura tkankowa przechowuje efekt wcześniejszego rozwoju. Komórka mikrochimeryczna zawiera natomiast informację o własnym pochodzeniu i historii klonalnej. „Archiwum” jest tu metaforą produktywną pod warunkiem, że nie sugeruje świadomego zapisu.

Komórka jako biologiczny indeks wymagający interpretacji

Kwestię tę można ująć w kategoriach semiotyki Charlesa Sandersa Peirce'a. Ślad jest tutaj indeksem, ponieważ pozostaje w fizycznym związku z tym, czego stanowi zapis: dym wskazuje na ogień, odcisk na obiekt, a komórka pochodzenia płodowego może indeksować wcześniejszą wymianę komórkową.

Nie jest to symbol w sensie konwencjonalnym ani ikona oparta na podobieństwie. Z perspektywy semiotycznej mikrochimeryczna komórka staje się biologicznym indeksem historii organizmu. Takie ujęcie rzuca światło również na proces diagnostyki: laboratorium odczytuje indeks, a następnie dokonuje inferencji o zdarzeniu, które go wytworzyło. Należy jednak pamiętać, że jeden indeks może mieć wiele źródeł. Obecność męskiego DNA u kobiety nie rozstrzyga jednoznacznie, czy jest wynikiem przebytej ciąży z synem, obecności bliźniaka, transfuzji czy innego mechanizmu.

Materialny ślad nie opowiada historii samodzielnie – wymaga kontekstu. Carlo Ginzburg w humanistyce opisywał paradygmat poszlakowy, polegający na rekonstruowaniu niewidocznych zdarzeń na podstawie drobnych fragmentów i śladów. Medycyna sądowa, diagnostyka i badania nad mikrochimerizmem funkcjonują w ramach podobnej epistemologii. Komórka, haplotyp czy rzadki marker są przesłankami, z których rekonstruuje się przeszłość. Siła wniosku zależy od tego, jak jednoznaczny jest związek między śladem a hipotetyczną przyczyną.

Taka perspektywa prowadzi do bayesowskiej teorii poznania. Informacja o mikrochimeryzmie powinna zmieniać prawdopodobieństwo określonej hipotezy proporcjonalnie do tego, jak silnie dane byłyby oczekiwane przy tej hipotezie w zestawieniu z alternatywami. Sama niezwykłość wyniku nie gwarantuje jego jednoznaczności; im więcej możliwych dróg powstania śladu, tym ostrożniej należy rekonstruować przeszłość. Ciało jako archiwum jest zatem archiwum wymagającym interpretacji.

Nie wszystkie zapisy są równie trwałe, jednoznaczne czy funkcjonalnie istotne. Niektóre zanikają szybko, inne utrzymują się przez dekady. Część z nich odzwierciedla konkretne zdarzenie, inne mogą mieć wiele źródeł; jedne przechowują jedynie informację genealogiczną, inne realnie zmieniają późniejszą fizjologię. Właśnie to odróżnia historię organizmu od prostego chronologicznego katalogu zdarzeń. Historia ma znaczenie, ponieważ wcześniejsze stany ograniczają lub umożliwiają te późniejsze. Tak właśnie przebiega rozwój: organizm nie może wrócić do początku ontogenezy i wybrać alternatywnej ścieżki. Każde stadium jest jednocześnie rezultatem stanów poprzednich i warunkiem tych następnych.

Rzów jako rekonstrukcja warunków środowiskowych

Teoria developmental systems, rozwijana m.in. przez Susan Oyamę, Paula Griffithsa i Russella Graya, radykalnie podważa koncepcję rozwoju jako prostego wykonania programu zapisanego w genach. Rzów jest tu procesem rekonstrukcji organizmu, w który zaangażowany jest genom, środowisko komórkowe, organizm matczyzny, sygnały zewnętrzne oraz dziedziczone zasoby pozagenetyczne. Mikrochimeryzm można włączyć do tego modelu jako jeden z materialnych kanałów, przez które historia innych organizmów staje się elementem środowiska rozwojowego jednostki. Przesuwa to pojęcie dziedziczenia z prostego „przekazywania cech” w stronę rekonstrukcji warunków rozwoju. Potomstwo nie otrzymuje bowiem wyłącznie DNA; otrzymuje mitochondria, cytoplazmę oocyta, środowisko łożyskowe, przeciwciała, tło hormonalne i składniki odżywcze, a w późniejszym etapie – środowisko społeczne.

Mikrochimeryzm uzupełnia ten obraz o niewielkie populacje komórek. Nie czyni ich równorzędnymi genomowi, lecz ukazuje wielokanałowość procesu biologicznej ciągłości pokoleń. Richard Lewontin w krytyce sztywnego podziału na organizm i środowisko podkreślał, że istoty żywe nie tylko podlegają otoczeniu, ale aktywnie je konstruują. Intuicję tę rozwinęła później ewolucyjna teoria niche construction. W kontekście ciąży organizm matki tworzy środowisko rozwoju potomstwa, jednak płód i łożysko również aktywnie modyfikują tę przestrzeń. Mikrochimeryzm można zatem uznać za jeden z trwałych produktów tej wzajemnej konstrukcji.

Taka perspektywa zmienia również ujęcie przyczynowości. Ernst Mayr odróżniał przyczyny bezpośrednie od ewolucyjnych, natomiast Tinbergen rozdzielał mechanizm, ontogenezę, funkcję i filogenezę. W odniesieniu do mikrochimeryzmu każde pytanie o „dlaczego” powinno zostać rozpisane na te poziomy: w jaki sposób komórki przenikają przez łożysko? Jak utrzymują się w organizmie przez lata? Jaką pełnią funkcję? Jak ten mechanizm wykształcił się ewolucyjnie i jak doświadczenia organizmu zmieniają jego późniejsze znaczenie?

Mieszanie tych poziomów prowadzi do pseudowyjaśnień. Kluczowa jest tu ontogeneza: komórka, która trafia do organizmu płodu w trakcie rozwoju układu odpornościowego, wchodzi w system w zupełnie innym momencie niż komórka pojawiająca się po transplantacji u osoby dorosłej. Ta sama genetyczna odmienność może mieć zatem różne konsekwencje, ponieważ system znajduje się w innym punkcie swojej historii. Właśnie to oznacza czasowa zależność funkcji, co wprowadza pojęcie okien krytycznych.

Neurobiologia i immunologia rozwoju dowodzą, że oddziaływania występujące w określonych fazach ontogenezy mogą wywołać skutki niewspółmiernie duże w stosunku do identycznego bodźca pojawiającego się później. Jeśli mikrochimeryczne komórki macierne uczestniczą w środowisku rozwojowym płodu, ich wpływ – o ile zostanie funkcjonalnie potwierdzony – należy analizować przez pryzmat teorii krytycznych okresów, a nie prostej zależności dawka-efekt. W tym miejscu biologiczna pamięć styka się z teorią developmental origins of health and disease (DOHaD). Wywodzący się z prac Davida Barkera program badawczy wykazuje bowiem, że warunki życia prenatalnego i wczesnodziecięcego mogą determinować ryzyko wystąpienia chorób w wieku dorosłym.

Organizm jako biologiczna sedimentacja i system rekurencyjny

Mechanizmy te obejmują m.in. programowanie metaboliczne, rozwój narządów oraz zmiany epigenetyczne. Mikrochimeryzm nie jest podstawowym mechanizmem DOHaD, lecz koncepcyjnie należy do tej samej rodziny pytań: w jaki sposób krótkotrwałe lub ograniczone czasowo wydarzenie we wczesnym życiu pozostawia długofalowe konsekwencje? Współczesne badania nad pamięcią zapalną pokazują, że odpowiedź na wcześniejsze zdarzenia może zostać utrwalona epigenetycznie również poza adaptacyjnym układem odpornościowym. Przeglądy z 2025 roku wskazują, że stabilne zmiany metylacji DNA i modyfikacji histonowych mogą podtrzymywać długotrwałą gotowość komórek do odmiennej reakcji na późniejsze bodźce. Wprowadza to do medycyny model organizmu, którego aktualna odpowiedź jest częściowo funkcją wcześniejszych ekspozycji.

Zależność tę można zapisać konceptualnie: stan organizmu w chwili t nie wynika wyłącznie z bodźca działającego w tej samej chwili, lecz jest funkcją aktualnego bodźca i trajektorii wcześniejszych stanów. W najprostszej postaci oznacza to przejście od modelu $S(t) = f(E(t))$ do $S(t) = f(E(t), H_{0 \rightarrow t})$, gdzie H oznacza historię systemu.

Mikrochimeryzm nadaje temu abstrakcyjnemu równaniu wymiar materialny: część historii może pozostawać wewnątrz systemu w postaci realnych komórek. Właśnie dlatego warto mówić nie tylko o biologicznej pamięci, ale o **biologicznej sedimentacji**. Termin ten, zaczerpnięty z fenomenologii i nauk społecznych, opisuje warstwy wcześniejszych doświadczeń, które stają się częścią późniejszych struktur. W biologii analogiczny proces obejmuje blizny, przebudowę narządów, pamięć immunologiczną, epigenetyczne stany komórkowe oraz potencjalnie trwałe populacje mikrochimeryczne.

Pierre Bourdieu posługiwał się podobną logiką w pojęciu habitusu. Historia społeczna zostaje wcielona w trwałe dyspozycje, które kierują przyszłymi działaniami bez konieczności świadomego przypominania sobie ich genezy. Mikrochimeryzm nie jest biologicznym habitusem, lecz analogia ta pozwala zrozumieć zasadę **historycznie ukształtowanej dyspozycyjności**. System zachowuje wpływ przeszłości nie jako świadome wspomnienie, lecz jako zmienioną strukturę możliwości. Anthony Giddens w teorii strukturacji podobnie podkreślał dualność struktury: wcześniejsze działania tworzą struktury, które następnie warunkują kolejne kroki. W biologii nie występuje refleksyjna sprawczość na poziomie komórkowym, lecz istnieje analogiczna pętla przyczynowa: wcześniejsze stany zmieniają środowisko, a zmienione środowisko wpływa na późniejsze zachowanie komórek. Biologiczna historia jest zatem **rekurencyjna**. Organizm jest jednocześnie produktem wcześniejszych procesów i środowiskiem dla procesów następnych. Cięża może zmienić organizm matki, a ten z kolei staje się środowiskiem kolejnej ciąży. Komórki pozostawione przez wcześniejsze potomstwo mogą hipotetycznie współtworzyć warunki przyszłych zdarzeń. Autor książki wykorzystuje właśnie tę możliwość do budowania obrazu wielopokoleniowej sieci. Naukowo należy pozostawić otwarte pytanie o skalę funkcjonalną takiego transferu, jednak sama struktura problemu jest istotna.

Teoria systemów dynamicznych pozwala wprowadzić jeszcze jeden poziom: **atraktory**. System może posiadać wiele względnie stabilnych stanów, do których zmierza zależnie od warunków początkowych i zaburzeń. W biologii rozwoju, immunologii i onkologii pojęcie krajobrazu stanów jest coraz częściej używane do opisywania przejść między fenotypami komórkowymi. Długotrwale obecna populacja mikrochimeryczna może hipotetycznie wpływać na krajobraz dostępnych stanów, nawet jeśli sama pozostaje niewielka. Nie chodzi o przypisanie mikrochimeryzmowi nadmiernej mocy przyczynowej; teoria systemowa wskazuje raczej, że mały komponent może być istotny, jeśli

działa w odpowiednim punkcie sieci sprzężeń zwrotnych. W innym systemie identyczna liczebnie populacja może pozostać całkowicie neutralna. Ponownie pokazuje to, dlaczego sama liczba komórek jest niewystarczającym predyktorem funkcji.

Koncepcja resilience dodaje do czasowości wymiar odwracalności. Po zaburzeniu system może powrócić do poprzedniego stanu, przejść do nowej stabilności albo ulec trwałej destabilizacji. Mikrochimeryzm może stanowić jeden z elementów nowego stanu po ciąży. Organizm nie wraca dokładnie do kondycji sprzed niej, lecz osiąga nową stabilność. W tym znaczeniu biologiczna historia nie jest serią zdarzeń nakładanych na niezmienny substrat – substrat sam jest przez historię przebudowywany.

Od medycyny stanów do medycyny trajektorii

Takie rozumienie ma fundamentalne znaczenie dla medycyny. Klasyczny model kliniczny często zakłada istnienie "baseline" – stanu wyjściowego, do którego organizm powinien powrócić po chorobie lub ciąży. Teoria historyczności organizmu nakazuje jednak traktować taki punkt odniesienia z większą ostrożnością. Niektóre zdarzenia tworzą bowiem nowy baseline: ciąża, ciężka infekcja, transplantacja, nowotwór czy przewlekłe zapalenie mogą trwale przekształcić parametry biologiczne. Mikrochimeryzm wpisuje się w szersze przejście od **medycyny stanów** do **medycyny trajektorii**. Zamiast pytać wyłącznie o to, w jakim stanie jest organizm dzisiaj, medycyna coraz częściej pyta, jak do tego stanu doszedł. Ta sama wartość laboratoryjna może mieć inne znaczenie w zależności od historii pacjenta; podobnie obecność określonej populacji komórek musi być interpretowana w świetle jego przeszłości reprodukcyjnej, transplantacyjnej i immunologicznej.

Podjęcie to jest szczególnie bliskie life-course epidemiology. Epidemiologia przebiegu życia bada, w jaki sposób ekspozycje z różnych okresów kumulują się, wchodzą w interakcje i wpływają na późniejsze zdrowie, posługując się modelami okresów krytycznych oraz łańcuchów ryzyka. W tym kontekście mikrochimeryzm może pełnić rolę zarówno materialnego śladu ekspozycji, jak i modyfikatora późniejszych odpowiedzi organizmu.

Z perspektywy filozofii medycyny oznacza to odejście od ahistorycznego obrazu pacjenta. Pacjent nie jest organizmem, który zaczyna istnieć w momencie badania, lecz biologiczną historią – częściowo niewidoczną, a częściowo ujawnioną przez diagnostykę. Ta banalnie brzmiąca prawda nabiera nowego znaczenia, gdy historia okazuje się fizycznie obecna w postaci komórek innych ludzi. Mikrochimeryzm powinien zatem zostać włączony do szerszej teorii **embodied history** – ucieleśnionej historii. Nancy Krieger używa pojęcia embodiment w epidemiologii społecznej, by

opisać, jak warunki społeczne i środowiskowe zostają biologicznie wcielone w fizjologię organizmu. Choć mikrochimeryzm dotyczy innego mechanizmu, łączy je wspólna idea: historia nie pozostaje poza ciałem, lecz może zostać w nim materialnie utrwalona.

Nie można jednak doprowadzić tej tezy do biologicznego determinizmu. Historia pozostawia ślady, ale **ślad nie jest losem**. Modyfikacje epigenetyczne mogą być odwracalne, populacje komórek mogą zanikać, a układ immunologiczny adaptuje się dzięki ogromnej plastyczności organizmu. Path dependence nie oznacza path determinism – przebyta droga zmienia przestrzeń możliwości, ale jej nie zamyka.

Rozróżnienie to ma kluczowe znaczenie etyczne. Gdyby biologiczny ślad przeszłości traktować jako nieuniknione przeznaczenie, medycyna łatwo osunęłaby się w fatalizm. Tymczasem jednym z najważniejszych osiągnięć współczesnej biologii jest wykazanie, że stabilność i plastyczność współistnieją. Epigenetyczna pamięć może być długotrwała, lecz pozostaje regulowana; trained immunity może być korzystna lub patologiczna; stan tkanki może być trwały, ale wciąż podlega terapii. Dotyczy to również mikrochimeryzmu – jeśli przyszłe badania wykażą jego znaczenie dla określonych chorób, obecność obcych komórek nie będzie oznaczać nieuchronności patologii. Funkcja ta zależy od całego systemu. Dobrym modelem metodologicznym są tu badania nad trained immunity: ta sama zdolność do długotrwałego przeprogramowania może zwiększać ochronę przed infekcjami, a jednocześnie uczestniczyć w przewlekłym zapaleniu czy chorobach sercowo-naczyniowych. Biologiczna pamięć nie jest więc z natury ani dobra, ani zła. W tym miejscu można powrócić do Ricoeura.

Tożsamość jako trajektoria: od struktury do historii

Pamięć i zapominanie nie są prostymi przeciwieństwami; każda tożsamość wymaga zarówno zachowywania, jak i utraty. Organizm funkcjonuje dzięki selektywności obu tych procesów. Układ odpornościowy musi pamiętać część ekspozycji, lecz nie może reagować nadmiernie na każdy dawny bodziec. Tkanki zachowują pewne zmiany, inne naprawiają; komórki utrzymują określone stany epigenetyczne, zachowując jednocześnie plastyczność. Mikrochimeryzm może trwać, choć jego populacje mogą się zmniejszać lub zmieniać.

Biologiczne zapominanie jest zatem równie istotne co pamięć. Nadmiernie trwałe pobudzenie zapalne może stać się patologią, podczas gdy brak pamięci immunologicznej zwiększa podatność na zakażenia. Zbyt sztywna pamięć rozwojowa ogranicza regenerację, jednak całkowity brak stabilności uniemożliwiłby zachowanie fenotypu komórki. Organizm balansuje między trwałością a odwracalnością, co koresponduje z teorią stabilności plastycznej. System żywy musi utrzymywać

wystarczającą ilość przeszłości, by zachować ciągłość, i odpowiednią dozę otwartości, by móc reagować na przyszłość. Mikrochimeryzm dostarcza temu materialnej ilustracji: komórka będąca śladem przeszłego zdarzenia może przetrwać, lecz jej funkcja zależy od teraźniejszego środowiska.

W konsekwencji biologiczna tożsamość nie jest wyłącznie przestrzennym pytaniem o to, „co do mnie należy?”. Jest również pytaniem temporalnym: jakie wcześniejsze zdarzenia zostały włączone do tego, czym organizm jest teraz? Przesuwa to dyskusję z kwestii granic ku historii. Jednostka pozostaje jednością nie dlatego, że nigdy się nie zmieniła, lecz dlatego, że jej zmiany zostały włączone w ciągłą trajektorię organizacyjną.

Autor książki obrazuje tę myśl jako mozaikę, w której przeszłość matki spotyka się z przyszłością potomstwa. W wersji naukowo precyzyjniejszej intuicja ta brzmi: reprodukcja może pozostawiać długotrwałe materialne ślady przekraczające czas trwania ciąży, a obecny stan organizmu jest częściowo funkcją jego historii rozwojowej, immunologicznej i reprodukcyjnej. Na tym poziomie mikrochimeryzm łączy biologię z filozofią czasu bez potrzeby metafizycznych skrótów. Przeszłość nie istnieje w organizmie jako zachowane wydarzenie, lecz jako jego skutki. Ślad nie jest samą przeszłością, ale sprawia, że ta nadal jest niezbędna do wyjaśnienia teraźniejszości.

Można zatem mówić o organizmalnej pamięci bez pamiętającego podmiotu. W genomie, chromatynie, populacjach komórek, architekturze narządów i układzie odpornościowym utrwalone są konsekwencje wcześniejszych procesów, choć żaden z tych poziomów nie „wspomina” w sensie psychologicznym. Koncepcja ta pozwala uniknąć antropomorfizacji, oddając jednocześnie realną historyczność życia. Główna konsekwencja teoretyczna jest taka, że organizmu nie można adekwatnie opisać wyłącznie przez jego aktualny skład. Wymagane są co najmniej trzy współrzędne: struktura, relacja i trajektoria. Struktura określa, z czego system jest zbudowany; relacja opisuje sposób oddziaływania jego elementów, a trajektoria wskazuje, jak powstał obecny stan.

Mikrochimeryzm nabiera pełnego znaczenia dopiero na przecięciu tych trzech wymiarów, co pozwala uporządkować dotychczasowy wywód. Genetyczna heterogeniczność należy do struktury; immunologiczna tolerancja i funkcjonalna integracja – do relacji; natomiast ciąża, transfer komórek, ich persystencja i zmiana znaczenia wraz z wiekiem należą do trajektorii.

Żaden z tych wymiarów samodzielnie nie wystarcza do zdefiniowania biologicznego „Ja”. Mikrochimeryzm okazuje się zatem nie tyle ciekawostką o obcych komórkach, co przypadkiem granicznym dla teorii organizmu. Wymusza przejście od modelu substancjalnego do historyczno-systemowego: organizm jest tym, czym jest, częściowo dlatego, że przeszedł określoną drogę. Jego przeszłość nie jest wobec niego zewnętrzna; została w pewnym zakresie wcielona w jego

teraźniejszą strukturę. Naturalnym krokiem będzie teraz wykorzystanie tego modelu do zbudowania szerszej teorii człowieka jako systemu historycznego i wielopoziomowego.

Organizm jako otwarty system relacji i autopoiesis

Mikrochimeryzm można zderzyć z koncepcją autopoiesis Maturany i Vareli, organizmiczną teorią Kauffmana, emergencją, teorią złożonych systemów adaptacyjnych, pojęciem downward causation, filozofią procesu Whiteheada oraz ogólną teorią systemów Bertalanffy'ego. Pozwoli to przejść od analizy poszczególnych mechanizmów do próby sformułowania zwartego modelu wyjaśniającego, dlaczego człowiek pozostaje jedną jednostką właśnie dzięki temu, że jest systemem otwartym, historycznym, niejednorodnym i zdolnym do reorganizacji.

Autor odrzuca wizję organizmu jako biologicznej cytadeli, przedstawiając człowieka jako układ o porowatych granicach, zdolny do trwałego współistnienia z komórkami odmiennego pochodzenia genetycznego. Idzie on dalej, opisując jednostkę jako metaorganizm i sugerując, że biologiczne "Ja" jest dynamiczną konstrukcją powstającą poprzez inkorporację inności. Jeśli potraktować te intuicje jako punkt wyjścia, mikrochimeryzm można osadzić w szerszej teorii człowieka jako systemu otwartego, historycznego, wielopoziomowego i emergentnego. Taki model nie wymaga rezygnacji z pojęcia jednostki; przeciwnie, pozwala wyjaśnić, jak biologiczna jedność jest utrzymywana pomimo materialnej niejednorodności.

Pierwszym klasycznym punktem odniesienia jest Ludwig von Bertalanffy i jego ogólna teoria systemów. Bertalanffy sprzeciwiał się redukcjonizmowi, według którego zrozumienie części wystarcza do zrozumienia całości. System biologiczny nie jest prostą sumą elementów, gdyż znaczenie każdego z nich zależy od relacji, w które jest wpisany. Organizm jest zatem organizmem nie dlatego, że składa się z określonej liczby komórek, lecz dzięki uporządkowanej sieci zależności metabolicznych, regulacyjnych i informacyjnych między jego komponentami. Mikrochimeryzm znakomicie unaocznia tę zasadę: komórka pochodzenia płodowego lub macicznego może być genetycznie odmienna, ale jej biologiczne znaczenie zależy od tego, czy zostanie włączona do sieci funkcjonalnej gospodarza, pozostanie biernym pasażerem, zostanie wyeliminowana czy zacznie uczestniczyć w patologii.

W teorii systemów kluczowe jest pojęcie systemu otwartego. Organizm nie może być zamknięty w sensie termodynamicznym, ponieważ nieustannie wymienia z otoczeniem materię, energię i informację. Oddychanie, odżywianie, komunikacja hormonalna czy kontakt immunologiczny są warunkami życia, a nie zakłóceniami jego czystości. Mikrochimeryzm poszerza tę otwartość o wymiar komórkowy: w określonych warunkach żywe komórki jednego organizmu mogą

przekroczyć granicę drugiego i w nim pozostać. Nie czyni to organizmu bezgranicznym, lecz oznacza, że jego tożsamość nie opiera się na materialnej izolacji. Tę intuicję rozwija teoria autopoiesis Humberta Maturany i Francisco Vareli, według której system żywy jest zdolny do ciągłego wytwarzania i odtwarzania organizacji, która go definiuje.

Tożsamość jako ciągłość organizacji procesów

Tożsamość systemu nie zależy od trwałości konkretnych cząsteczek czy poszczególnych komórek, lecz od ciągłości organizacji procesów, które go podtrzymują. Organizm może wymieniać materię i komponenty, a nawet w ograniczonym zakresie włączać elementy o innym pochodzeniu, o ile zachowuje zdolność do samopodtrzymywania własnej struktury. W tym świetle mikrochimeryzm staje się naturalnym eksperymentem dla teorii autopoiesis: obca genealogicznie komórka może znaleźć się wewnątrz systemu i zostać podporządkowana jego metabolizmowi, sygnalizacji, regulacji hormonalnej oraz architekturze tkankowej.

Nie tworzy ona jednak drugiego organizmu, gdyż nie posiada autonomicznej sieci procesów podtrzymującej odrębny system organizmalny. Pozostaje biologicznym komponentem o innej genealogii, lecz funkcjonującym w ramach autopoietycznej całości gospodarza. Z tego powodu utożsamianie każdej odmiennej linii komórkowej z odrębnym „Ja” byłoby kategorialnym błędem.

Teoria autopoiesis wprowadza tu jednak istotne ograniczenie: obecność elementu w systemie nie zawsze oznacza jego pełną integrację. Można znajdować się przestrzennie wewnątrz organizmu, pozostając funkcjonalnie marginalnym. Pasożyt również przebywa w ciele gospodarza, lecz nie staje się częścią jego autopoietycznej organizacji w takim sensie, jak robi to hepatocyt czy neuron. W przypadku mikrochimeryzmu należy zatem wyraźnie odróżnić samą obecność i tolerowanie od faktycznej integracji. Autor książki miejscami traktuje trwałe osiedlenie komórek niemal jako synonim ich funkcjonalnego włączenia do organizmu, jednak teoria systemów nakazuje większą ostrożność – członkostwo funkcjonalne musi zostać wykazane mechanistycznie.

W tym miejscu pojawia się pojęcie emergencji. Własność emergentna to cecha powstająca na poziomie organizacji wyższym niż poziom pojedynczych komponentów, której nie można utożsamić z właściwością żadnego z tych elementów. Świadomość nie jest cechą jednego neuronu, homeostaza nie należy do jednej komórki, odporność nie jest domeną pojedynczego limfocytu, a praca serca nie stanowi sumy niezależnych zachowań kardiomiocytów. Właściwości te wyłaniają się z zorganizowanej interakcji. Mikrochimeryzm dostarcza zatem doskonałego testu emergentystycznego myślenia.

Genom komórki pochodzącej od dziecka nie przenosi do organizmu matki osobowości dziecka, podobnie jak komórka matki w mózgu potomstwa nie przenosi jej wspomnień. Autor książki silnie eksponuje wielopokoleniową obecność biologicznej „inności”, opisując człowieka wręcz jako zbiorowy organizm. Teoria emergencji pozwala tę intuicję precyzyjnie zdyscyplinować: komponent może zachować genealogiczną odmienność, lecz osoba i świadomość istnieją na innym poziomie organizacji niż pojedyncza komórka. Emergencja ma również znaczenie w odwrotnym kierunku – niewielka liczba mikrochimerycznych komórek nie musi być biologicznie nieistotna tylko dlatego, że stanowi ułamek masy całego organizmu.

Funkcjonalna rola mikrochimeryzmu w systemach nieliniowych

W systemie złożonym znaczenie elementu zależy od jego pozycji w sieci oraz pełnionej funkcji regulacyjnej. Niewielka populacja komórek wydzielniczych może oddziaływać na ogromną liczbę innych jednostek, podobnie jak rzadkie limfocyty regulatorowe wpływają na zachowanie całego układu odpornościowego. Z tego powodu liczebna marginalność mikrochimeryzmu nie rozstrzyga jego znaczenia funkcjonalnego.

Problem ten prowadzi do teorii złożonych systemów adaptacyjnych. John Holland, Murray Gell-Mann i badacze zajmujący się teorią złożoności wskazywali, że systemy adaptacyjne składają się z wielu jednostek reagujących lokalnie na bodźce, podczas gdy globalny porządek wyłania się z ich wzajemnych interakcji. Nie istnieje tu jeden centralny „zarządca” określający wszystkie zachowania systemu. Układ odpornościowy jest niemal modelowym przykładem takiej struktury: miliony komórek reagują lokalnie na antygeny, cytokiny i sygnały uszkodzenia, a z tych procesów powstaje globalna odpowiedź immunologiczna. Mikrochimeryczne populacje mogą w takim systemie działać jako dodatkowe węzły sieci. Ich rola nie musi polegać na przejmowaniu kontroli nad organizmem; mogą one jedynie nieznacznie modyfikować lokalną dynamikę, która dopiero w określonych warunkach wpływa na wynik makroskopowy. Wyjaśnia to, dlaczego mikrochimeryzm może pozostawać klinicznie niemy przez dekady, a jego potencjalne znaczenie ujawniać się dopiero przy zapaleniu, urazie, nowotworze albo zmianie hormonalnej.

Zjawisko to jest charakterystyczne dla systemów nieliniowych. W systemie liniowym podwojenie bodźca prowadzi do proporcjonalnego wzrostu efektu, jednak w biologii zależności są często progowe, saturacyjne albo wielostabilne. Niewielka zmiana może pozostać niemal niewidoczna aż do momentu przekroczenia krytycznego progu, po którym system gwałtownie przechodzi w inny

stan. Właśnie taką logikę wykazują często autoimmunizacja, przewlekłe zapalenie czy transformacja nowotworowa.

Z perspektywy mikrochimeryzmu oznacza to, że pytanie o liczbę komórek wystarczającą do wywołania efektu może nie mieć uniwersalnej odpowiedzi. Ta sama liczba komórek w zdrowej tkance może być biologicznie neutralna, podczas gdy w środowisku silnego zapalenia wejdzie w zupełnie inną sieć sprzężeń zwrotnych. Kluczowy jest zatem stan systemu, a nie tylko ilość komponentu.

Obraz ten uzupełnia teoria atraktorów. W dynamice systemów atraktor to względnie stabilny region przestrzeni stanów, ku któremu dąży system. W biologii rozwoju pojęcie to opisuje stabilne fenotypy komórkowe, natomiast w biologii choroby może odnosić się do trwałych stanów zapalnych lub nowotworowych. Mikrochimeryzm można hipotetycznie potraktować jako jeden z czynników modulujących krajobraz atraktorów. Nie musi on sam wywoływać przejścia, ale może zmieniać jego próg.

Koncepcja ta jest szczególnie użyteczna przy interpretacji sprzecznych danych medycznych. Jeśli komórki mikrochimeryczne występują zarówno u osób zdrowych, jak i chorych, nie oznacza to, że zjawisko jest nieistotne. Świadczy raczej o tym, że jego efekt zależy od punktu, w którym znajduje się cały system. W jednym organizmie pozostaje on daleko od krytycznej granicy, w innym zaś staje się jednym z wielu elementów przesuwających dynamikę w stronę patologicznego atraktora.

Stuart Kauffman wprowadził do biologii złożoności pojęcie samoorganizacji. Według niego układ biologiczny może wytwarzać uporządkowane stany nie dlatego, że każdy szczegół został bezpośrednio „zaprojektowany” przez selekcję, lecz dlatego, że określone własności wynikają z samej dynamiki wieloelementowych sieci. Ma to istotne znaczenie dla pytania o adaptacyjność mikrochimeryzmu. Nie każda stabilna cecha systemu musi być bezpośrednią adaptacją; część z nich może wynikać z architektury sieci i ograniczeń rozwojowych. Mikrochimeryzm może zatem być częściowo wynikiem ewolucyjnie wyselekcjonowanej budowy łożyska, a częściowo produktem właściwości samoorganizującego się układu komórkowego. Jeżeli migracja i tolerancja pewnych populacji komórek są konsekwencją działania większego systemu, nie trzeba postulować osobnej selekcji na każdą ich funkcję. Rozwija to hipotezę architektoniczną zawartą w książce, zgodnie z którą przepływ komórek może być częściowo konsekwencją samej konstrukcji łożyska, a nie adaptacją ustanowioną „w celu” mikrochimeryzmu.

W tym miejscu filozofia procesu Alfreda Northa Whiteheada dostarcza odmiennego, lecz interesującego punktu widzenia. Whitehead sprzeciwiał się metafizyce uznającej trwale rzeczy za pierwotne, a zmianę za wtórną. W jego ujęciu podstawową kategorią jest stawanie się; stabilne byty

są jedynie względnie trwałymi wzorcami procesów. Choć jego metafizyka nie jest teorią biologiczną i nie wolno jej przedstawiać jako empirycznie potwierdzonej przez mikrochimizm, jej struktura dobrze koresponduje z biologicznym obrazem organizmu, który rzeczywiście nie jest nieruchomą substancją.

Organizm jako stabilizowany proces organizacyjnego zamknięcia

Organizm metabolizuje, przebudowuje tkanki, odnawia komórki, uczy się immunologicznie, starzeje i reaguje na środowisko. To, co w codziennym doświadczeniu jawi się jako trwała osoba, na poziomie biologicznym jest nieustannie podtrzymywanym procesem. Mikrochimizm wprowadza do tego obrazu dodatkowy wymiar zmiany: możliwość trwałego włączenia komórek pochodzących spoza własnej linii rozwojowej. Można zatem mówić o organizmie jako o **stabilizowanym procesie**, a nie niezmiennej rzeczy.

Takie ujęcie rozwiązuje część paradoksu indywidualności. Jednostka nie musi posiadać tych samych komponentów w każdej chwili, aby pozostawać tą samą jednostką, gdyż kryterium ciągłości leży w strukturze procesu. Przypomina to wir wodny: choć materia stale się zmienia, forma dynamiczna może pozostać stabilna. Choć organizm jest nieporównanie bardziej złożony niż wir, analogia ta pozwala uchwycić różnicę między identycznością materii a ciągłością organizacji. Heraklityjska intuicja zmiany nabiera tu naukowego sensu: człowiek pozostaje sobą nie pomimo przepływu, lecz właśnie poprzez regulowany przepływ.

Filozofia procesu wymaga jednak dopełnienia teorią granic, gdyż sama zmienność nie wyjaśnia indywidualności. Jeśli wszystko jest procesem, należy odpowiedzieć na pytanie, dlaczego określone procesy tworzą jeden organizm, a inne stanowią jego środowisko. W tym miejscu powracają autopoiesis, immunologia i teoria integracji systemowej. Współczesna filozofia biologii rozwija ten problem poprzez pojęcie **organizacyjnego zamknięcia**. System biologiczny może być materialnie otwarty, a zarazem organizacyjnie względnie zamknięty, jeśli jego procesy wzajemnie się podtrzymują: enzymy uczestniczą w metabolizmie, który z kolei dostarcza substratów do syntezy enzymów, błony podtrzymują warunki dla reakcji, a procesy metaboliczne dbają o integralność błon.

Powstaje sieć wzajemnych zależności. Mikrochimizyczna komórka może wejść do takiego systemu, lecz o jej statusie funkcjonalnym decyduje to, czy zostanie włączona do sieci **organizacyjnego zamknięcia**. Jeżeli metabolizuje w ramach tkanki, odpowiada na lokalne sygnały i uczestniczy w

regulacji narządu, jej integracja funkcjonalna jest większa niż w przypadku komórki przejściowo krążącej we krwi.

Pozwala to odejść od binarnego podziału „należy – nie należy” na rzecz stopniowego modelu integracji. Kluczowe jest tutaj pojęcie **downward causation**, czyli przyczynowości odgórnej. W klasycznym redukcjonizmie zakłada się, że wszystko, co dzieje się w organizmie, można ostatecznie wyjaśnić oddziaływaniami cząsteczek i komórek. Zwolennicy emergentyzmu wskazują jednak, że struktura systemu jako całości ogranicza i ukierunkowuje zachowanie jego poszczególnych elementów.

Przyczynowość systemowa zamiast determinizmu genetycznego

Komórka w wątrobie zachowuje się inaczej niż ta sama komórka w hodowli, ponieważ środowisko tkankowe narzuca jej konkretny zestaw sygnałów, ograniczeń i możliwości. Mikrochimeryczna komórka po wejściu do nowego narządu znajduje się zatem pod wpływem przyczynowości systemowej; jej genom nie determinuje zachowania samodzielnie. Fenotyp może być kształtowany przez lokalną niszę, metabolizm gospodarza, hormony, układ odpornościowy czy macierz pozakomórkową. Jest to niezwykle ważna korekta wobec genetycznego esencjalizmu – choć tożsamość genealogiczna komórki pozostaje trwała, jej aktualna funkcja jest współtworzona przez system, w którym się znalazła.

Przyczynowość działa tutaj również oddolnie. Jeśli nawet niewielka populacja komórek wytwarza odpowiednie cytokiny, czynniki wzrostu lub sygnały regulacyjne, może ona wpływać na całą strukturę. Mikrochimeryzm należy zatem analizować w modelu wielopoziomowej przyczynowości: system kształtuje komórki, a komórki współkształtują system.

Ma to kluczowe znaczenie dla interpretacji procesów regeneracji. Popularna narracja często sugeruje, że mikrochimeryczne komórki po prostu „naprawiają organ”. Analiza systemowa wymaga jednak pytania, czy faktycznie zastępują one uszkodzone jednostki, modulują lokalną odporność, wpływają na naczynia, zmieniają zachowanie fibroblastów, wydzielają czynniki troficzne, czy może pełnią kilka tych funkcji jednocześnie. „Naprawa” jest bowiem właściwością procesu na poziomie tkanki, a nie pojedynczej komórki. Analogicznie, w przypadku choroby autoimmunologicznej nie można stwierdzić, że konkretna komórka „jest chorobą”. Choroba stanowi stan całej sieci immunologicznej, hormonalnej i tkankowej.

Mikrochimeryczna populacja może być jednym z regulatorów, inicjatorów, modulatorów albo całkowicie przypadkowym współtowarzyszem. Teoria systemów wymusza zatem przesunięcie uwagi z substancjalnego pytania „co jest przyczyną?” ku pytaniu o to, jaka konfiguracja relacji generuje stan patologiczny. Tę zmianę metodologiczną precyzyjnie oddaje pojęcie mechanizmu rozproszonego. W wielu chorobach nie istnieje jeden czynnik wystarczający; rezultat powstaje z interakcji podatności genetycznej, ekspozycji środowiskowych, zmian epigenetycznych, stanu odpornościowego i zdarzeń przypadkowych. Mikrochimeryzm może zostać włączony do takiej sieci bez konieczności mianowania go główną przyczyną.

Taki model jest szczególnie zgodny z koncepcją sieci przyczynowych w epidemiologii. Kenneth Rothman zaproponował model sufficient-component causes, według którego choroba pojawia się w momencie skompletowania odpowiedniego „zestawu przyczynowego”. Poszczególne komponenty nie muszą być samodzielnie wystarczające. Mikrochimeryzm mógłby zatem w niektórych jednostkach chorobowych stanowić element takiego zestawu, choć jego obecność bez innych czynników nie prowadziłaby do patologii. Takie ujęcie pozwala wyjaśnić, dlaczego to samo zjawisko może wiązać się zarówno z regeneracją, jak i autoimmunizacją.

Integracja organizacyjna dominuje nad jednorodnością genetyczną

Nie ma tu sprzeczności, jeśli mikrochimeryzm nie jest traktowany jako samodzielna "siła", lecz jako element różnych konfiguracji systemowych. Ten sam mechanizm migracji komórkowej może wspierać gojenie rany, ale i dostarczać komórek do środowiska nowotworowego; podobnie mechanizm tolerancji może stabilizować ciężę lub komplikować nadzór nad określonymi populacjami komórek. W teorii systemów mówi się w tym kontekście o wielofunkcyjności i degeneracy – zdolności różnych struktur do pełnienia podobnych funkcji oraz tych samych struktur do uczestniczenia w funkcjach odmiennych. Gerald Edelman wskazywał, że degeneracy jest charakterystyczna dla systemów biologicznych i zwiększa ich odporność. Mikrochimeryczne komórki mogą zatem pełnić różne role zależnie od niszy, podczas gdy podobną funkcję regeneracyjną mogą w innych okolicznościach przejąć własne komórki gospodarza.

Prowadzi to do kwestii redundancji (redundancy) i odporności (robustness). Organizm dysponuje licznymi mechanizmami częściowo zastępczymi, dzięki czemu utrata jednej populacji komórek nie musi kończyć się katastrofą – jej funkcje przejmują inne. Jeśli mikrochimeryzm ma znaczenie regeneracyjne, może nie być niezbędnym mechanizmem naprawy, lecz jednym z wielu źródeł redundancji biologicznej. Wyjaśnia to, dlaczego większość ludzi funkcjonuje prawidłowo mimo

bardzo różnych poziomów mikrochimeryzmu. Jeszcze głębszą kategorią jest modularność (modularity). Systemy biologiczne są częściowo modularne: narządy, szlaki sygnałowe i sieci regulacyjne mogą działać względnie autonomicznie, pozostając jednocześnie sprzężonymi. Modułowość chroni system przed rozprzestrzenianiem się perturbacji. Populacje mikrochimeryczne mogą być zlokalizowane w konkretnych niszach, nie wpływając na cały organizm. Jest to istotny argument przeciwko przesadnym metaforom, według których niewielka liczba komórek zmieniałaby tożsamość całego człowieka. Organizm jest więc jednocześnie zintegrowany i modułowy.

Ta dwuznaczność ma kluczowe znaczenie dla filozofii indywidualności. Zbyt silna integracja sprawiłaby, że każdy lokalny błąd stałby się katastrofalny; zbyt duża autonomizacja modułów doprowadziłaby z kolei do utraty koordynacji. Zdrowie wymaga kompromisu między lokalną autonomią a globalnym sterowaniem. W tym świetle nowotwór można rozumieć jako przypadek patologicznej autonomizacji części – moment, w którym komórki przestają respektować ograniczenia organizacyjne całości i zaczynają maksymalizować własną proliferację. Mikrochimeryzm sam w sobie nie jest takim procesem, jednak zestawienie obu zjawisk pokazuje, że odmienność genealogiczna jest czymś innym niż funkcjonalna nielojalność wobec systemu. Komórka własna może stać się nowotworowa i destrukcyjna, podczas gdy obca genetycznie może pozostawać w pełni podporządkowana fizjologii gospodarza.

Jest to jeden z najsilniejszych argumentów przeciw utożsamianiu biologicznego "własnego" z biologicznym "dobrym". Funkcja okazuje się ważniejsza niż genealogia. Układ odpornościowy i systemy kontroli wzrostu monitorują przede wszystkim zachowanie i kontekst, a nie metafizyczną przynależność. Autor książki przedstawia ten zwrot poprzez kontrast między dawną dychotomią self-non-self a nowszym modelem ekologicznego współistnienia. W języku teorii systemów zmianę tę można sformułować precyzyjniej: kryterium indywidualności przesuwają się od genealogicznej homogeniczności ku organizacyjnej integracji. Współczesna teoria biologicznej indywidualności operuje zresztą wieloma kryteriami – organizmem może być system posiadający silną integrację metaboliczną, reprodukcyjną, immunologiczną, rozwojową i funkcjonalną.

Nie wszystkie te kryteria muszą się idealnie pokrywać. Mikrochimeryzm rozszczepia przede wszystkim kryterium genealogiczno-genetyczne, pozostawiając nienaruszoną jedność na poziomie organizmalnym. To właśnie dlatego można mówić o hierarchicznej indywidualności. Komórka jest jednostką na jednym poziomie, tkanka na innym, a organizm na jeszcze innym. Komórki mikrochimeryczne mogą zachować własną indywidualność komórkową, nie tworząc przy tym odrębnej indywidualności organizmalnej – organizm gospodarza pozostaje systemem nadrzędnym. Ta hierarchiczna struktura jest widoczna także w ewolucji. John Maynard Smith i Eörs Szathmáry

opisywali wielkie przejścia ewolucyjne, w których niezależne wcześniej jednostki tworzyły nowe poziomy organizacji: geny w chromosomy, komórki prokariotyczne w eukariotyczne układy endosymbiotyczne czy komórki w organizmy wielokomórkowe.

Organizm jako rekurencyjny system wielopoziomowy

Kluczowym wyzwaniem w każdym takim przejściu jest tłumienie konfliktów na niższym poziomie i ustanowienie współpracy. Mikrochimeryzm nie stanowi nowego „wielkiego przejścia”, lecz ujawnia tę samą strukturę logiczną: organizm toleruje wewnętrzną heterogeniczność tak długo, jak mechanizmy kontroli utrzymują ją w zgodzie z funkcjonowaniem całości. Patologia pojawia się w momencie, gdy komponenty zaczynają realizować dynamikę destrukcyjną wobec systemu. W tym kontekście przydatna staje się koncepcja **major transitions** Johna Michoda, dotycząca przejścia od jednostek niższego poziomu do indywidualności wyższego poziomu, gdzie kluczową rolę odgrywają redukcja konfliktu i podział pracy.

Organizm wielokomórkowy jest możliwy dzięki temu, że ogromna większość komórek somatycznych zrezygnowała z niezależnej reprodukcji na rzecz wspólnej organizacji. Mikrochimeryczne komórki, aby pozostać trwałym komponentem gospodarza, muszą również wejść w określony reżim ograniczeń. Pozwala to spojrzeć na zdrowie jako na **politykę biologicznego porządku**, choć jedynie w sensie metaforycznym. System musi bowiem utrzymywać równowagę między współpracą a kontrolą: zbyt mała kontrola sprzyja nowotworzeniu, zbyt agresywna może prowadzić do autoimmunizacji, a niewystarczająca zdolność integracji ogranicza tolerancję i regenerację. Homeostaza jest zatem **dynamicznym kompromisem między centralizacją i pluralizmem komórkowym**.

W tym miejscu można dostrzec analogię do myśli politycznej, jednak w rozprawie naukowej musi ona zostać wyraźnie odgraniczona od mechanizmu biologicznego. Organizm nie jest państwem, komórki nie są obywatelami, a układ odpornościowy nie pełni roli policji. Wspólna jest jedynie formalna struktura problemu: sposób, w jaki system utrzymuje spójność mimo heterogenicznych elementów. Jest to rozróżnienie istotne, gdyż autor książki obficie posługuje się językiem „społeczeństwa komórkowego”, „wspólnego dobra” i „koabitacji”. Nauka powinna zachować produktywność metafory, nie myląc jej z dosłownym opisem. W szerszej perspektywie mikrochimeryzm można zestawić z koncepcją **nested systems** – systemów zagnieżdżonych.

Człowiek jest jednocześnie zbiorem komórek, organizmem, częścią rodziny, populacji, gatunku i ekosystemu. Każdy z tych poziomów posiada własne reguły organizacji. Redukowanie poziomu wyższego do niższego prowadzi do utraty własności emergentnych, natomiast ignorowanie tego

niższego uniemożliwia zrozumienie mechanizmu. To właśnie punkt, w którym nauki biomedyczne i społeczne mogą spotkać się **bez wzajemnego kolonizowania swoich pojęć**, gdyż obie badają systemy wielopoziomowe. Biologia pyta o relacje między cząsteczkami, komórkami a organizmem; socjologia bada relacje między jednostką, instytucją a strukturą społeczną. W obu przypadkach pojawia się problem **agency-structure** lub **part-whole**: pytanie o to, jak właściwości części współtworzą całość i jak całość ogranicza części.

Anthony Giddens w teorii strukturacji opisywał strukturę jako jednocześnie medium i rezultat działania. Choć w biologii nie występuje refleksyjna sprawczość komórek, można wskazać formalną analogię: struktura tkanki warunkuje zachowanie komórek, a aktywność tych ostatnich odtwarza strukturę tkanki. Organizm jest więc rekurencyjny. Margaret Archer odróżniłaby natomiast wyraźniej właściwości poziomów i ich sekwencję czasową. Jej **morphogenetic approach** podkreśla, że wcześniejsze struktury warunkują działania, które następnie mogą reprodukować lub przekształcać strukturę. W biologii rozwoju analogia ta jest wyjątkowo silna: istniejący stan tkanki ogranicza losy komórek, a ich działania zmieniają przyszły stan tkanki. Mikrochimeryzm można włączyć jako dodatkowy element takiej morfogenezy.

Teoria wielopoziomowa pozwala również precyzyjniej rozwiązać problem przyczynowości, eliminując konieczność wyboru między genetycznym redukcjonizmem a holizmem. Geny wpływają na komórki, komórki na tkanki, a tkanki na narządy – lecz jednocześnie środowisko tkankowe wpływa na ekspresję genów, a stan organizmu zmienia los komórek. Przyczynowość ma charakter cyrkularny i wielopoziomowy. Denis Noble, jeden z krytyków skrajnego gene-centryzmu, rozwijał właśnie taką koncepcję przyczynowości biologicznej. Genom nie jest niezależnym „programem” sterującym organizmem, lecz komponentem sieci oddziaływań, w której ekspresja genów zależy od stanów komórki, tkanki i całego organizmu. Mikrochimeryzm wzmacnia tę tezę, pokazując, że genetycznie odmienna komórka może przyjąć funkcję zależną od nowego środowiska.

Jedność organizmu jako efekt dynamicznej integracji heterogeniczności

Wszystko to prowadzi do kwestii kontekstowości funkcji. W biologii funkcja nie jest wyłącznie wewnętrzną cechą elementu; ten sam receptor, gen czy typ komórki może uczestniczyć w różnych procesach, zależnie od lokalizacji i stanu systemu. Dlatego pytanie „do czego służą komórki mikrochimeryczne?” jest prawdopodobnie źle sformułowane, jeśli oczekuje się jednej odpowiedzi. Właściwsze brzmienie to: jakie funkcje mogą pełnić określone subpopulacje mikrochimeryczne w

konkretnych niszach i stanach organizmu? Takie podejście przesuw dyskusję od esencjalizmu ku biologii relacyjnej.

Autor książki momentami przypisuje mikrochimeryzmowi niemal jednolitą funkcję filozoficzną: ma on dowodzić, że jesteśmy „zbiorowym osiągnięciem” i że biologiczne „Ja” jest splecione z „My”. Model systemowy sugeruje jednak subtelniejszą interpretację. Nie jesteśmy „zbiorowością” w sensie wielości podmiotów, lecz organizmami zdolnymi do integracji heterogenicznych komponentów bez utraty własnej organizacji.

To rozróżnienie ma wymiar nie tylko filozoficzny, ale i kliniczny. Jeśli traktujemy mikrochimeryzm jako cechę systemu, pytamy o warunki jego stabilizacji. Jeśli postrzegamy go jako „intruzję”, szukamy sposobów eliminacji. Jeśli zaś widzimy w nim „dar regeneracyjny”, ryzykujemy romantyzację. Teoria systemów zmusza do odrzucenia obu tych intuicji na rzecz badania konkretnych sprzężeń. W medycynie szczególnie istotne staje się pojęcie robustness-fragility trade-off. System odporny na jeden rodzaj zakłócenia może być bardziej podatny na inny. Mechanizmy tolerancji umożliwiają ciężę, lecz potencjalnie generują określone koszty immunologiczne. Mechanizmy angiogenezy wspierają naprawę, ale mogą zostać wykorzystane przez nowotwór. Plastyczność komórek sprzyja regeneracji, lecz zwiększa ryzyko utraty kontroli nad ich fenotypem. Nie jest to niedoskonałość biologii, lecz strukturalny koszt złożoności. Nie istnieje system optymalny wobec wszystkich możliwych zagrożeń jednocześnie; ewolucja tworzy rozwiązania wystarczająco dobre w określonych warunkach, a ich zalety i koszty ujawniają się zależnie od środowiska.

Mikrochimeryzm doskonale wpisuje się w teorię takich kompromisów. Jego długotrwała tolerancja może być korzystna, neutralna albo kosztowna – sam fakt jego istnienia nie rozstrzyga o bilansie. Konieczne są badania uwzględniające wiek, tkankę, relacje HLA, historię ciąży oraz stan immunologiczny.

Właśnie dlatego najbardziej adekwatnym modelem człowieka nie jest ani monolit, ani chaotyczny kolektyw, lecz system adaptacyjny o wielopoziomowej integracji i ograniczonej otwartości. System taki posiada granice, które regulują przepływ; posiada historię, która jednak nie determinuje go absolutnie; składa się z heterogenicznych części, które nie są równoważne całości; dysponuje mechanizmami odporności, która nie polega na eliminowaniu całej inności. Model ten można ująć w trzech zasadach.

Pierwsza to organizacyjna nadrzędność nad materialną jednorodnością: człowiek pozostaje jednym organizmem dlatego, że utrzymuje jedną zintegrowaną dynamikę fizjologiczną, a nie dlatego, że każda komórka posiada identyczny genom. Druga to historyczność: aktualny stan organizmu zależy

od jego trajektorii rozwojowej, immunologicznej i reprodukcyjnej. Trzecia to kontekstowość funkcji: znaczenie komponentu wynika z miejsca, czasu i sieci relacji, w której działa.

Taki model najlepiej odpowiada temu, co dotychczas ujawnił mikrochimeryzm. Komórki innych osób mogą być obecne bez rozpadu jednostki, pełnić funkcje zależne od niszy, przetrwać długo po transferze, zostać włączone do tkanki, być neutralne lub uczestniczyć zarówno w regeneracji, jak i patologii. Wszystkie te obserwacje są trudne do pogodzenia z metafizyką biologicznego monolitu, lecz doskonale mieszczą się w teorii dynamicznego systemu. Najgłębsza teza nie brzmi więc: „człowiek nie jest jednostką”. Brzmi niemal przeciwnie: biologiczna jednostka okazuje się znacznie bardziej wyrafinowanym osiągnięciem organizacyjnym, niż sądziliśmy. Jej jedność nie wynika z jednorodności, lecz jest stale wytwarzana poprzez regulowanie wielości.

W tym miejscu można ponownie odczytać najbardziej radykalne tezy autora książki o człowieku jako „metaorganizmie” i biologicznej mozaice. Po osadzeniu w teorii systemów ich sens staje się precyzyjniejszy: metaorganizmalność nie oznacza wielości osób, lecz wielopoziomową strukturę biologiczną; mozaikowość nie oznacza rozpadu tożsamości, lecz heterogeniczność komponentów; porowatość zaś nie oznacza braku granic, lecz selektywną otwartość.

Tak skonstruowany model przygotowuje grunt pod syntezę, która wymaga jednak zestawienia mikrochimeryzmu z teorią technologicznego poznania organizmu i przyszłością medycyny precyzyjnej. W tej perspektywie należałoby przeanalizować single-cell genomics, spatial transcriptomics, cyfrowe bliźniaki, medycynę predykcyjną, teorię biomarkerów, modele bayesowskie oraz problem nadmiernej diagnostyki. Dopiero wtedy będzie można zapytać, czy przyszła medycyna naprawdę nauczy się odczytywać „ukrytych gości” jako użyteczną warstwę informacji biologicznej, czy też stworzy z nich kolejną klasę danych, których techniczna wykrywalność będzie wyprzedzać zdolność do sensownej interpretacji.

Czy biologiczna jedność jest zatem jedynie iluzją stworzoną przez sprawny system kontroli, czy może najwyższą formą organizacji, która potrafi przekuć obcość w element własnej struktury? Ostatecznie to nie identyczność DNA definiuje nasze „Ja”, lecz sposób, w jaki organizm zarządza swoimi wewnętrznymi różnicami. Pozostaje pytanie: ile z nas samych jest wynikiem naszej własnej drogi, a ile materialnym echem obecności innych?

Inspiracje

[1] "Hidden Guests Migrating cells and how the new science of microchimerism is redefining human identity" Lise Barneoud

Lise Barnéoud jest francuską niezależną dziennikarką naukową i autorką z wykształceniem biologicznym. Po ukończeniu studiów z zakresu nauk biologicznych i uzyskaniu tytułu magistra dziennikarstwa naukowego w Montpellier, rozpoczęła badania nad złożonymi zagadnieniami z zakresu medycyny, zdrowia publicznego i nauk o środowisku. Barnéoud publikowała obszernie w renomowanych publikacjach, takich jak „Le Monde”, „Mediapart”, „Science & Vie” i „New Scientist”, a także pisała scenariusze do telewizyjnych programów dokumentalnych o tematyce naukowej. Znana ze swojej skrupulatnej pracy śledczej na temat immunologii i debat dotyczących zdrowia publicznego, otrzymała wiele wyróżnień, w tym nagrodę dziennikarstwa naukowego Fondation Varenne w 2008 roku, Grand Prix des Trophées Signatures Santé w 2016 roku oraz nagrodę Francuskiego Pisarza Naukowego Roku 2017 przyznawaną przez Association des journales scientifiques de la presse d'information.

Lise Barnéoud is a French freelance science journalist and author trained in biology. After completing studies in biological sciences and earning a master's degree in science journalism in Montpellier, she began investigating complex issues in medicine, public health, and environmental science. Barnéoud has contributed extensively to major publications such as Le Monde, Mediapart, Science & Vie, and New Scientist, and has written scripts for scientific television documentaries. Renowned for her rigorous investigative work on immunology and public health debates, she has received several honors, including the 2008 Fondation Varenne science journalism prize, the 2016 Grand Prix des Trophées Signatures Santé, and the 2017 French Science Writer of the Year award from the Association des journalistes scientifiques de la presse d'information.

Literatura uzupełniająca

Książki

Książki autorów przywoływanych i literatura pokrewna:



[1] "The epigenetics of birds"

Conrad Waddington

Cambridge University Press | ISBN: 9781107440470

[2] "Organisers and genes"

Conrad Waddington

[3] "The Genetic Basis of Evolutionary Change"

Richard Lewontin

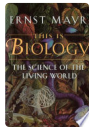
ISBN: 9780231083188



[4] "Principles of Systematic Zoology"

Ernst Mayr

McGraw-Hill Companies



[5] "This is Biology: The Science of the Living World"

Ernst Mayr

Harvard University Press | ISBN: 9780674884694

[6] "Ṭuruq wa-usus 'ilm taṣnīf al-ḥayawān"

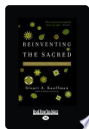
Ernst Mayr



[7] "general system theory"

Ludwig Von Bertalanffy

New York : G. Braziller



[8] "Reinventing the Sacred"

Stuart Kauffman

ReadHowYouWant.com | ISBN: 9781458722065

[9] "Epidemiology: An Introduction (3rd edn) Get access Arrow"

Kenneth Rothman



[10] "The Theory of Evolution"

John Maynard Smith

Penguin Group



[11] "Evolution and the Theory of Games"

John Maynard Smith

Cambridge University Press | ISBN: 9780521288842



[12] "The Music of Life: Biology Beyond the Genes"

Denis Noble

Oxford University Press | ISBN: 9780199295739

Artykuły naukowe

Prace autorów przywoływanych w tekście:

[1] "Discussion: Three Ways to Misunderstand Developmental Systems Theory"

Paul E. Griffiths, Russell D. Gray

2005 | Biology & Philosophy | DOI: 10.1007/s10539-004-0758-1

[Źródło](#)

[2] "Freud and Philosophy an Essay on Interpretation"

Paul Ricœur, Denis Savage

1970 | International Journal for Philosophy of Religion

[Źródło](#)

[3] "CANALIZATION OF DEVELOPMENT AND THE INHERITANCE OF ACQUIRED CHARACTERS"

C. H. Waddington

1942 | Nature | DOI: 10.1038/150563a0

[Źródło](#)

[4] "GENETIC ASSIMILATION OF AN ACQUIRED CHARACTER"

C. H. Waddington

1953 | Evolution | DOI: 10.1111/j.1558-5646.1953.tb00070.x

[Źródło](#)

[5] "Canalization of Development and Genetic Assimilation of Acquired Characters"

C. H. Waddington

1959 | Nature | DOI: 10.1038/1831654a0

[Źródło](#)

[6] "Developmental systems : insects"

Sheila J. Counce, C. H. Waddington

1972 | Academic Press eBooks

[Źródło](#)

[7] "Contribution from BRIAN ARTHUR THRUSH"

BRIAN ARTHUR THRUSH

2006 | The Life and Scientific Legacy of George Porter | DOI: 10.1142/9781860948930_0003

[Źródło](#)

[8] "Guest editors. Professor David Parker, Professor Arthur K. Covington, Professor Brian J. Birch and Dr. Arnold G. Fogg"

David Parker, Arthur K. Covington, Brian J. Birch, Arnold G. Fogg

1996 | The Analyst | DOI: 10.1039/an9962101749

[Źródło](#)

[9] "Archiving the Body – Cultural Memory and the Practice of Intangible Cultural Heritage"

Aleida Assmann

2024 | TanzScripte | DOI: 10.14361/9783839470640-011

[Źródło](#)

[10] "The Ontogeny of Information: Developmental Systems and Evolution"

Susan Oyama

1986

[Źródło](#)

[11] "Cycles of Contingency: Developmental Systems and Evolution"

Susan Oyama, Paul E. Griffiths, Russell David Gray

2001

[Źródło](#)

[12] "A sensitive period for the acquisition of a nonnative phonological system"

Susan Oyama

1976 | Journal of Psycholinguistic Research | DOI: 10.1007/bf01067377

[Źródło](#)

[13] "Introduction: what Is developmental systems theory?"

Susan Oyama, Paul E. Griffiths, Russell David Gray

2001 | MPG.PuRe (Max Planck Society)

[Źródło](#)

[14] "The Developmental Systems Perspective: *<i>Organism-Environment Systems as Units of Development and Evolution</i>*"

Paul E Griffiths, Russell D Gray

2004 | Phenotypic Integration | DOI: 10.1093/oso/9780195160437.003.0019

[Źródło](#)

[15] "Death of the Gene: Developmental Systems Strike Back"

Russell Gray

1992 | Trees of Life | DOI: 10.1007/978-94-015-8038-0_7

[Źródło](#)

[16] "'In the Belly of the Monster': Feminism, Developmental Systems, and Evolutionary Explanations"

Russell Gray

1997 | Feminism and Evolutionary Biology | DOI: 10.1007/978-1-4615-5985-6_16

[Źródło](#)

[17] "The role of Systematics in the Evolutionary Synthesis"

Ernst Mayr

1980 | The Evolutionary Synthesis | DOI: 10.4159/harvard.9780674865389.c17

[Źródło](#)

[18] "Cause and Effect in Biology Reprinted from Science, 134, 1501 (1961)"

E. Mayr

2017 | DOI: 10.4324/9781315133638-2

[Źródło](#)

[19] "WEIGHT IN INFANCY AND DEATH FROM ISCHAEMIC HEART DISEASE"

David J.P. Barker, Clive Osmond, Paul D Winter, B. M. Margetts, Shirley J. Simmonds

1989 | The Lancet | DOI: 10.1016/S0140-6736(89)90710-1

[Źródło](#)

[20] "The origins of the developmental origins theory"

David J.P. Barker

2007 | Journal of Internal Medicine | DOI: 10.1111/j.1365-2796.2007.01809.x

[Źródło](#)

[21] "Developmental plasticity and human health"

Patrick Bateson, David J.P. Barker, Timothy Hugh Clutton-Brock, Debal Deb, Bruno D'Udine

2004 | Nature | DOI: 10.1038/nature02725

[Źródło](#)

[22] "Trajectories of Growth among Children Who Have Coronary Events as Adults"

David J.P. Barker, Clive Osmond, Tom Forsén, Eero Kajantie, Johan Gunnar Eriksson

2005 | New England Journal of Medicine | DOI: 10.1056/nejmoa044160

[Źródło](#)

[23] "Overcoming the absence of socioeconomic data in medical records: validation and application of a census-based methodology."

Nancy Krieger

1992 | American Journal of Public Health | DOI: 10.2105/ajph.82.5.703

[Źródło](#)

[24] "Geocoding and Monitoring of US Socioeconomic Inequalities in Mortality and Cancer Incidence: Does the Choice of Area-based Measure and Geographic Level Matter?: The Public Health Disparities Geocoding Project"

Nancy Krieger

2002 | American Journal of Epidemiology | DOI: 10.1093/aje/kwfo68

[Źródło](#)

[25] "The evolving roles of US political partisanship and social vulnerability in the COVID-19 pandemic from February 2020–February 2021"

Justin Kaashoek, C. Testa, Jarvis T. Chen, L. M. Stolerma, N. Krieger

2022 | PLOS Global Public Health | DOI: 10.1371/journal.pgph.0000557

[Źródło](#)

[26] "General System Theory: Foundations, Development, Applications"

Ernest Alan Edmonds, Ludwig von Bertalanffy

1977 | Leonardo | DOI: 10.2307/1573450

[Źródło](#)

[27] "AN OUTLINE OF GENERAL SYSTEM THEORY"

Ludwig von Bertalanffy

1950 | The British Journal for the Philosophy of Science | DOI: 10.1093/bjps/i.2.134

[Źródło](#)

[28] "The Theory of Open Systems in Physics and Biology"

Ludwig von Bertalanffy

1950 | Science | DOI: 10.1126/science.111.2872.23

[Źródło](#)

[29] "The History and Status of General Systems Theory"

Ludwig von Bertalanffy

1972 | Academy of Management Journal | DOI: 10.2307/255139

[Źródło](#)

[30] "Autopoiesis and Cognition"

Humberto R. Maturana, Francisco J. Varela

1980 | Boston studies in the philosophy of science | DOI: 10.1007/978-94-009-8947-4

[Źródło](#)

[31] "Autopoiesis and Cognition: The Realization of the Living"

Humberto R. Maturana, Francisco J. Varela, Stafford Beer

1980

[Źródło](#)

[32] "The Tree of Knowledge: The Biological Roots of Human Understanding"

Humberto R. Maturana, Francisco J. Varela

1992

[Źródło](#)

[33] "Autopoiesis: The organization of living systems, its characterization and a model"

Francisco J. Varela, Humberto R. Maturana, R. Uribe

1974 | Biosystems | DOI: 10.1016/0303-2647(74)90031-8

[Źródło](#)

[34] "Adaptation in Natural and Artificial Systems"

John H. Holland

1992 | The MIT Press eBooks | DOI: 10.7551/mitpress/1090.001.0001

[Źródło](#)

[35] "Genetic Algorithms"

John H. Holland

1992 | Scientific American | DOI: 10.1038/scientificamerican0792-66

[Źródło](#)

[36] "Genetic Algorithms and Machine Learning"

David E. Goldberg, John H. Holland

1988 | Machine Learning | DOI: 10.1023/a:1022602019183

[Źródło](#)

[37] "Emergence From Chaos to Order"

John H. Holland

1998 | DOI: 10.1093/oso/9780198504092.001.0001

[Źródło](#)

[38] "The reporting odds ratio and its advantages over the proportional reporting ratio"

Kenneth Jay Rothman, Stephan Lanes, Susan T. Sacks

2004 | Pharmacoepidemiology and Drug Safety | DOI: 10.1002/pds.1001

[Źródło](#)

[39] "Measures of Disease Occurrence, Association, and Causal Effects"

Kenneth J. Rothman, Krista F. Huybrechts, Eleanor J. Murray

2025 | Epidemiology | DOI: 10.1093/oso/9780197751541.003.0004

[Źródło](#)

[40] "The hitch-hiking effect of a favourable gene"

John Maynard Smith, John Haigh

1974 | Genetics Research | DOI: 10.1017/S0016672300014634

[Źródło](#)

[41] "Developmental Constraints and Evolution: A Perspective from the Mountain Lake Conference on Development and Evolution"

John Maynard Smith, Richard M. Burian, Stuart Alan Kauffman, Pere Alberch, J. Campbell

1985 | The Quarterly Review of Biology | DOI: 10.1086/414425

[Źródło](#)

[42] "From Replicators to Reproducers: the First Major Transitions Leading to Life"

Eörs Szathmáry, John Maynard Smith

1997 | Journal of Theoretical Biology | DOI: 10.1006/jtbi.1996.0389

[Źródło](#)

[43] "Friendship Between Human Beings and AI Robots?"

M. Archer

2021 | Robotics, AI, and Humanity | DOI: 10.1007/978-3-030-54173-6_15

[Źródło](#)

[44] "Biological Relativity Requires Circular Causality but Not Symmetry of Causation: So, Where, What and When Are the Boundaries?"

Raymond Noble, Kazuyo Tasaki, Penelope J. Noble, Denis Noble

2019 | Frontiers in Physiology | DOI: 10.3389/fphys.2019.00827

[Źródło](#)

[45] "Reply from Denis Noble: What did Alan Hodgkin know?"

Denis Noble

2023 | The Journal of Physiology | DOI: 10.1113/jp284530

[Źródło](#)

[46] "How the Hodgkin cycle became the principle of biological relativity"

D. Noble

2022 | Journal of Physiology | DOI: 10.1113/jp283193

[Źródło](#)

Artykuły naukowe autora:

[47] "Recipe for disaster"

Alice Bomboy, Lise Barnéoud

2019 | The New Scientist | DOI: 10.1016/s0262-4079(19)30938-8

[Źródło](#)

[48] "Qu'est-ce qu'une maladie ?"

Élodie Giroux, Lise Barnéoud

2018 | Les Grands Dossiers des Sciences Humaines | DOI: 10.3917/gdsh.053.0002

[Źródło](#)

[49] "La santé"

Élodie Giroux, Lise Barnéoud

2024 | Éditions Sciences Humaines eBooks | DOI: 10.3917/sh.froua.2021.01.0013

[Źródło](#)

[50] "Recipe for disaster"

Alice Bomboy, Lise Barnéoud

2019 | The New Scientist

[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: 510cac43-7521-411b-82e7-0202fb40ba47