

NEURO BIOLOGIA

Jak zachować
równowagę sensoryczną
w świecie pełnym
bodźców

ZMYSŁÓW

PATRYK REIMISZ

Wszelkie prawa zastrzeżone. Nieautoryzowane rozpowszechnianie całości lub fragmentu niniejszej publikacji w jakiegokolwiek postaci jest zabronione. Wykonywanie kopii metodą kserograficzną, fotograficzną, a także kopiowanie książki na nośniku filmowym, magnetycznym lub innym powoduje naruszenie praw autorskich niniejszej publikacji.

Wszystkie znaki występujące w tekście są zastrzeżonymi znakami firmowymi bądź towarowymi ich właścicieli.

Autor oraz wydawca dołożyli wszelkich starań, by zawarte w tej książce informacje były kompletne i rzetelne. Nie biorą jednak żadnej odpowiedzialności ani za ich wykorzystanie, ani za związane z tym ewentualne naruszenie praw patentowych lub autorskich. Autor oraz wydawca nie ponoszą również żadnej odpowiedzialności za ewentualne szkody wynikłe z wykorzystania informacji zawartych w książce.

Redaktor prowadzący: Natalia Hermansa

Helion S.A.

ul. Kościuszki 1c, 44-100 Gliwice

tel. 32 230 98 63

e-mail: helion@helion.pl

WWW: helion.pl (księgarnia internetowa, katalog książek)

Drogi Czytelniku!

Jeżeli chcesz ocenić tę książkę, zajrzyj pod adres

helion.pl/user/opinie/wrazem

Możesz tam wpisać swoje uwagi, spostrzeżenia, recenzję.

ISBN: 978-83-289-3781-9

Copyright © Helion S.A. 2026

Printed in Poland.

- [Kup książkę](#)
- [Poleć książkę](#)
- [Oceń książkę](#)

- [Księgarnia internetowa](#)
- [Lubię to! » Nasza społeczność](#)

SPIS TREŚCI

WSTĘP	11
WPROWADZENIE	27
Świat w umyśle	36
Świadomość	37
Prostota i złożoność	44
W interakcji z otoczeniem	54
Wspomnienia	65
Neuron po neuronie	67
ROZDZIAŁ 1.	
ZMYSŁY ODLEGŁOŚCI	75
Wzrok	76
<i>Oko i siatkówka</i>	81
<i>Komórki ON i OFF</i>	92
<i>Mikroprocesor w oku</i>	97

<i>Trzy poziomy reakcji</i>	110
<i>Kora uczy się widzieć</i>	113
Słuch	119
<i>Ucho i ślimak</i>	121
<i>Wzmacnianie sygnału</i>	127
<i>Drogi słuchowe</i>	128
<i>Fenomen muzyki</i>	142
<i>Bolesny krzyk</i>	144
<i>Sztuka rozplatania dźwięków</i>	145
Węch	149
<i>Nos i receptory węchowe</i>	153
<i>Kontekst zmienia wrażenie</i>	166
<i>Zapach choroby</i>	167

ROZDZIAŁ 2.

ZMYSŁY KONTAKTOWE	171
Smak	173
<i>Język i jego receptory</i>	177
<i>Doznanie wielozmysłowe</i>	183
<i>W dobrym guście</i>	188
Czucie skórne	192
<i>Skóra i jej receptory</i>	194
<i>Ból, świąd i mrowienie</i>	202
Propriocepcja i równowaga	212
<i>Receptory mięśni i stawów</i>	214

<i>Narząd przedsionkowy</i>	218
<i>Mózdzek – mistrz drugiego planu</i>	224
Interocepcja	227
<i>Autonomiczny układ nerwowy</i>	228
<i>Jelitowy układ nerwowy</i>	229
<i>Ciało – narzędzie umysłu</i>	237
<i>Przyjemność seksualna</i>	239
<i>Interocepcja a bakterie jelitowe</i>	241
ROZDZIAŁ 3.	
RÓWNOWAGA SENSORYCZNA	247
Kontakt z ciałem	252
Ciało jako fundament równowagi	257
Technologie sensoryczne	267
Zanieczyszczenia sensoryczne	272
Przywracanie równowagi	276
ROZDZIAŁ 4.	
PRAKTYKA	285
Zalecenia ogólne	285
Zalecenia szczegółowe	289
Łagodzenie dolegliwości	303
ZAKOŃCZENIE	313
SPIS RYSUNKÓW	315

WSTĘP

Kiedy po raz pierwszy przeczytałem o wędrówkach pływali błękitnych, które całymi dniami, w pojedynkę, przemierzają tysiące kilometrów lodowatej i ciemnej toni oceanów, pomyślałem tylko – ależ one muszą się czuć samotne! Patrzyłem na te imponujące stworzenia przez pryzmat ludzkich zmysłów i doświadczeń, nie podejmując trudu spojrzenia na świat ich oczami. Poza tym już w samej próbie „spojrzenia” na świat innymi oczami kryje się moja ludzka tendencyjność. W przypadku większości zwierząt wzrok pełni bowiem drugorzędną rolę, stanowiąc co najwyżej zmysł pomocniczy. I choć walenie, na tle innych zwierząt, widzą całkiem nieźle, to patrząc oczami wieloryba, zobaczyłbym niewiele. Być może jaśniejsze i ciemniejsze obszary

wody. Wszystko w przytłumionych, zielono-niebieskich odcieniach. Odwrotnie niż będąc sobą, nie miałbym potrzeby wypatrywania mrocznych zjaw, wyłaniających się z oceanicznego dna, ani innego ciała. Duże drapieżniki mijałbym niezauważone. W przeciwieństwie do połyskujących ławic drobnych skorupiaków, na których widok rozwierałbym z ekscytacją fiszbinowe szczęki.

Ponadto swoich podróży nie odbywałbym po złowrogim pustkowiu oceanicznej toni, ale po wypełnionych subtelnymi wskazówkami szlakach migracyjnych, opowiedzianych mi przez przodków i utrwalonych w pamięci. Podążałbym nimi dzięki wyczulonym zmysłom: echolokacji, węchu i magnetorepcji. Płynąłbym sam, bez przerwy. Przez miesiąc, może dwa. Jeśli miałbym trochę szczęścia, raz w tygodniu mijałbym innego przedstawiciela swojego gatunku, zmierzającego inną drogą. Ale, o dziwo, mając tak niewiele fizycznego kontaktu z bliskimi, prawdopodobnie wcale nie czułbym się samotny... Jak to możliwe?

W latach 50. ubiegłego wieku marynarka wojenna Stanów Zjednoczonych, używając hydrofonów do nasłuchu radzieckich okrętów podwodnych, zarejestrowała w oceanie charakterystyczne sygnały niewiadomego pochodzenia. Ich źródło zostało zidentyfikowane dopiero w kolejnej dekadzie, kiedy to na łamach czasopisma „Science” ukazał się przełomowy artykuł Rogera Payne’a i Scotta McVaya na temat humbaków. Naukowcy ci powiązali tajemnicze dźwięki z aktywnością wielorybów i określili je mianem pieśni. W kolejnych latach badania rozszerzono na inne gatunki, w tym kaszaloty, orki i płetwale błękitne. Potwierdzono, że wydawane przez te zwierzęta długie serie dźwięków pełnią funkcje społeczne, nawigacyjne i godowe oraz że „pieśni” te mogą być

nakierowane na oddziaływanie lokalne lub bardzo odległe. W zależności od gatunku sygnały wielorybiej komunikacji można wykryć w oddaleniu o kilkakaset, a czasem nawet kilka tysięcy kilometrów (Sirović, Hildebrand, Wiggins 2007, Yong 2024). Roger Payne, wspomniany wyżej pionier współczesnych badań nad wielorybami, stwierdził, że „fizycznie możliwe jest usłyszenie błękitnego wieloryba śpiewającego przez cały basen oceaniczny” (Yong 2024). Payne jako pierwszy zasugerował, że stado wielorybów może być ogromnie rozproszoną siecią akustycznie połączonych osobników, które wydają się pływać samotnie, ale w rzeczywistości pozostają w kontakcie (Yong 2024).

Nawoływania płetwali błękitnych zawierają unikalne wzorce, które działają jak „akustyczne podpisy” poszczególnych populacji (McDonald, Mesnick, Hildebrand 2006). Emitowane przez nie infradźwięki¹ o dużym natężeniu rozchodzą się w wodzie niezwykle efektywnie, dzięki czemu dany osobnik może otrzymać odpowiedź od członka swojej „rodziny” z odległości na przykład 2000 kilometrów² (!). Choć podróż dźwięku przez ocean i z powrotem

¹ Inne gatunki wielorybów, na przykład humbaki, potrafią wydawać dźwięki o częstotliwościach w zakresie słyszalnym przez człowieka. Te wyższe częstotliwości są szybciej pochłaniane i rozpraszane przez cząsteczki wody, a ich oddziaływanie ma charakter lokalny – są to zwykle sygnały godowe przeznaczone dla osobników znajdujących się w promieniu kilkudziesięciu kilometrów.

² W środowisku powietrznym żadne zwierzę nie jest w stanie generować dźwięków na tyle głośnych, żeby mogły być słyszalne z takiej odległości. Niemniej niektóre zjawiska geologiczne osiągają takie natężenie. Uznaje się, że najgłośniejszy naturalny dźwięk w historii nowożytnej wiązał się z wybuchem wulkanu Krakatau, który miał miejsce w 1883 roku. Bezpośredni huk wybuchu był słyszalny z odległości kilkuset kilometrów, jednak infradźwięki rozniosły się po ziemi dalej i były odbierane przez ludzi jako subtelne wibracje lub szумы nawet w promieniu 5000 km (<https://phys.org/news/2025-05-krakatoa-mystery.html>).

zajęłaby w tym przypadku kilka kwadransów i w ludzkiej skali czasu taka „wymiana słów” może się wydawać absurdalnie powolna, dla wieloryba, którego serce wykonuje dwa uderzenia na minutę, to widocznie akceptowalny rytm rozmowy.

Z czasem odkryto, że podobny rodzaj komunikacji na dużą odległość wykorzystywany jest również przez słonie. Zwierzęta te, wyposażone w długie, masywne struny głosowe i potężne płuca oraz stopy i czaszki wyspecjalizowane w przewodnictwie kostnym, są w stanie zarówno generować dźwięki o bardzo niskiej częstotliwości, jak i przenosić je do wyczulonego na wibracje układu słuchowego. Choć rozchodzenie się infradźwięków przez grunt nie jest tak efektywne jak w środowisku wodnym, to wciąż pozwala przekazać sygnał na odległość ponad 30 km (O’Connell-Rodwell 2007).

Niektóre zwierzęce zmysły są tak wyrafinowane, że mogą się niemal wydawać fanaberią natury. Niemniej pomyśleć tak może jedynie dwunożny obserwator, w którego świecie rzeczywiście okazałyby się one zbyt dużą „supermocą”. Tymczasem natura rządzi się bezwzględnie ekonomią przetrwania, która wyklucza inwestowanie w cechy niepotrzebne czy nadmiarowe. Gdyby którykolwiek ze zmysłów okazał się zbyt mało istotny, z pewnością zostałby wyeliminowany. Trzeba mieć na uwadze, że zmysły są dla organizmu niezwykle kosztowne energetycznie. Musimy utrzymywać neurony systemów sensorycznych w stanie ciągłej gotowości. W odniesieniu do pojedynczego neuronu stan taki nazywamy „potencjałem spoczynkowym”, a nieustanne generowanie go w całym układzie nerwowym zużywa ogromne zasoby energii. Dzięki temu jesteśmy jednak w stanie od razu reagować na bodźce. Gdybyśmy bowiem

przy każdej okazji musieli wciskać przycisk zmysłowego zasilania i czekać na uruchomienie systemu, z pewnością nie przetrwalibyśmy w naturze ani jednego dnia. Tymczasem mucha trąca delikatnie jeden z tysięcy włosków na naszej ręce i momentalnie wyczuwamy jej obecność. Głośny dźwięk budzi nas z błogiego snu. Otwieramy oczy i od razu widzimy wyraźnie. Nawet gdyby istniał w organizmie neuron sensoryczny, który nigdy nie wygenerowałby impulsu, to i tak nieustannie zużywałby energię na utrzymywanie potencjału spoczynkowego i pozostawanie w ciągłej gotowości. W związku z tym, że zasoby energii są ograniczone, każdy gatunek zwierzęcia rozwija wyłącznie taki zestaw zmysłów, który jest niezbędny do życia.

Niemiecki biolog, Jakob von Uexküll, jeden z twórców współczesnej etologii (nauki o zachowaniu się zwierząt), zwracał uwagę, że swoisty zestaw zmysłów tworzy nieprzekraczalne ramy możliwych doświadczeń danego gatunku. Ten percepcyjny świat zwierzęcia, będący odzwierciedleniem zasiedlanej niszy środowiska, określał on słowem „Umwelt”. Nie da się jakkolwiek zrozumieć żadnego stworzenia, nie odnosząc się do trybu jego życia, w kontekście dostępnych mu zmysłów. Stwierdzenie to jest aktualne również w odniesieniu do człowieka, bowiem każde doświadczenie, które jest nam dostępne, stanowi interpretację wrażeń zmysłowych.

Zwierzęta zamieszkujące różne środowiska mogą nie posiadać podobnych zmysłów i nie przejawiać żadnych analogicznych doświadczeń. Choć stanowią element wspólnego wszechświata, wobec siebie są światami całkowicie odrębnymi. Z kolei zwierzęta zamieszkujące podobne środowisko mogą dzielić ze sobą część

zmysłów, a nawet korzystać z nich w podobny sposób. Mogą też jednak być nakierowane na odbiór niemal całkowicie innych aspektów otaczającej je wspólnej przestrzeni. Ludzie, z pewnością jako jedyne ziemskie istoty, podejmują próby wyobrażania sobie, jakby to było być zwierzęciem innego rodzaju. I być może nawet udaje nam się czasem wejść na moment w skórę blisko z nami spokrewnionego stworzenia. Niemniej jednak, jak bardzo byśmy się starali, próby te i tak pozostaną jedynie mglistymi przypuszczeniami, które dotyczą zwykle co najwyżej pojedynczego doznania (na przykład wyobrażam sobie, co ta małpa może czuć, kiedy krzyczy z bólu). Nigdy nie doświadczymy tego, jak to jest być kleszczem, słoniem czy nawet innym naczelnym. Nieprzekraczalną barierą naszych doświadczeń jest nasz własny, ludzki Umwelt – wąskie okno, przez które patrzymy na świat.

Umwelt pająka polującego na muchy niemal w pełni może składać się z odczuć wibracji. Jego odnóża są pokryte licznymi włoskami rejestrującymi ruchy powietrza, które dla nas są całkowitą flautą. Znajdują się na nich również receptory chemiczne – dotykając podłoża nogami, zwierzę to jednocześnie wącha je i smakuje. Będąc prawie ślepym, z pewnością nie doświadcza tych elementów otoczenia, które nam od razu rzucają się w oczy. W jego świecie one po prostu nie istnieją. Podobnie jak dla nas nie istnieją wszystkie te subtelne zapachy, które pies wyczuwa nosem. Widzimy co prawda, że podczas spaceru z zainteresowaniem obwąchuje odchody i truchło, ale o innych, subtelnych źródłach jego węchowych wrażeń nie mamy zielonego (ani nawet bladego) pojęcia.

Ludzkie życie zasadniczo toczy się za widoku. Kiedy zapada noc, przestajemy czuć się bezpiecznie. Przeważnie chronimy się wówczas w pomieszczeniach i większość tego czasu przesypiamy. Z tego powodu trudno nam wejść w skórę zwierzęcia – dla niego światło słoneczne zwiastuje ryzyko, a jego życie przebiega pod osłoną nocy. Nasze wspomnienia i marzenia – nawet te snute po ciemku – wypełnione są obrazami. Dla ludzi obraz jest nie tylko najcenniejszym źródłem informacji, ale również przyzmatem, przez który spoglądają oni na inne doświadczenia. Przygnębieni postrzegamy świat w odcieniach szarości, a kiedy ktoś wpadnie nam w oko – patrzymy na niego przez różowe okulary. Niektóre kobiety marzą o zakochaniu się od pierwszego wejrzenia (oczywiście tylko w osobniku umiejącym patrzeć sercem). Mężczyznom natomiast na pierwszych randkach trudno czasem powstrzymać się od rozbiierania ich wzrokiem. Typowym miejscem spotkań randkowiczów są wykwintne restauracje. Serwowane przez nie dania wyglądają czasem tak apetycznie, że można najeść się od samego patrzenia. Randki to – powiedzmy – takie nasze ludzkie gody, czas flirtu i zalotów, podczas którego próbujemy się nawzajem przeświecić. Niektórzy na tyle opanowują sztukę kamuflażu, że niełatwo na pierwszy rzut oka dostrzec prawdę o ich zamiarach. Warto jednak próbować przejrzeć tę fasadę, żeby nie przegapić szansy na szczęśliwe życie. Jeśli wszystko idzie po naszej myśli, pojawia się zakochanie. Zdarza się wówczas, że poza drugą połówką nie widzimy świata. Z czasem rodzą się nam dzieci. To najważniejsze istoty w życiu, dlatego stają się naszymi oczkami w głowie. W niektórych sytuacjach wolimy mieć je cały czas na oku, a nieraz wystarczy

ich jedynie doglądać. Dzieci rozwijają się dzięki obserwowaniu starszych. Oglądanie, podglądanie, zaglądanie stanowią podstawowy repertuar ich aktywności. Z ich punktu widzenia życie jest niekończącą się zabawą. Dużo czasu upłynie, zanim rozwiną dojrzałe zapatrywania na rzeczywistość. Jako dorośli próbujemy zaszczerpić w nich ambitną postawę wobec nauki i zdobywania osiągnięć, dlatego zachęcamy je, żeby patrzyły za horyzont. Przekonujemy je, że sukces mało komu spada z nieba i że dużo rozsądniej, niż liczyć na ślepy traf, jest podjąć wysiłek dążenia do celu.

Wygląd to nasza wizytówka, dlatego na co dzień staramy się wyglądać schludnie i przyzwoicie. W końcu – jak cię widzą, tak cię piszą. W życiu prywatnym omijamy natomiast ludzi, którzy widzą tylko czubek własnego nosa albo stosują się do zasady „oko za oko”. Wysoko cenimy sobie empatycznych przyjaciół. Kiedy potrzebujemy dowodu lojalności, prosimy, by spojrzeli nam głębooko w oczy. Wierzmy bowiem, że to właśnie one są zwierciadłem duszy. Przyjaciele są dla nas na tyle ważni, że często przymykamy oko na ich wady i ograniczenia. Nawet jeśli wobec innych zachowują się nieuczciwie, spoglądamy na to przez palce. W rozmowach z bliskimi nie potrzebujemy wielu słów, by wyrazić uczucia. Umieemy spojrzeć z miłością, pogardą, troską, podziwem czy zazdrością. Choć nie lubimy się do tego przyznawać, ważnym elementem naszych spotkań z przyjaciółmi są plotki na temat innych osób. Na najbardziej zaskakujące reagujemy, mówiąc: „nie uwierzę, dopóki nie zobaczę!”. W naszym świecie nie ma bowiem, jak się zdaje, większego dowodu prawdziwości niż zobaczenie czegoś na własne oczy.

Przez pryzmat widzenia opowiadamy o sobie od narodzin, aż po śmierć – a nawet dalej. Patrząc na noworodka, myślimy o jego pierwszym spojrzeniu na świat, a żegnając bliską osobę, uświadamiamy sobie, że zamknęła oczy i nigdy więcej na nas nie spojrzy. Niektórzy z nas wierzą, że śmierć to dopiero początek, a nowe życie rozpocznie się od ujrzenia światelka w tunelu. Język odzwierciedla nasze intuicyjne przeżycia. Zarówno dzieci, jak i dorośli, pytani w badaniach gdzie znajduje się ich „ja”, wskazują zwykle lokalizację w okolicach oczu (Starmans, Bloom 2012). Stąd w historii cywilizacji mało było kar dotkliwszych niż oślepienie, które utożsamiano nie tyle z uszkodzeniem ciała, co samej osoby – odebraniem jej możliwości działania. Za nieraz drobne przewinienia można było stracić język, ucho czy rękę, ale pozbawienie wzroku przeznaczone było dla prawdziwych wrogów. Kara ta w średniowieczu była wręcz traktowana jako bardziej humanitarna alternatywa dla egzekucji i stosowano ją wobec najgroźniejszych rywali w walce o tron i inne wysokie urzędy (Büttner 2009). Z drugiej strony – od czasów starożytnych nie było też większego aktu pokuty niż samodzielne wylupienie sobie oczu, co zostało opisane choćby w słynnym *Królu Edypie* Sofoklesa.

Z pewnością zauważyłeś, że metafory dotyczące ludzkich przeżyć często odnoszą się do widzenia. Jak dla sowy słuch, a dla kreta dotyk, tak dla człowieka dominującym zmysłem jest wzrok. Co prawda umiemy też różne sytuacje „zwaćać”, wyczuwamy pismo nosem, nastawiamy ucha, wysłuchujemy sercem, miewamy twardą skórę, ranimy krytyką, dotykamy sedna sprawy, smakujemy zemsty, a niektóre słowa spijamy prosto z czyichś ust, jednak wzrok pod

względem ilości metafor związanych z doświadczaniem rzeczywistości nie ma sobie równych.

Poznawanie świata poprzez nieustanne rzucanie okiem jest w świecie zwierząt dość nietypowe. Większość z nich, w ludzkich kategoriach, albo widzi niewiele, albo balansuje na granicy ślepoty. Ten nasz szczególny stosunek do patrzenia sprawia, że trudno nam poznawać zwierzęta takimi, jakie są. Patrząc na nie przez własny pryzmat, dokonujemy poznawczego zniekształcenia i zdarza się, że interpretujemy ich zachowania opacznie. Swego czasu krążył po Internecie film obrazujący samicę ptaka, która gwałtownie odwracała głowę w prawo, w odpowiedzi na ekspresyjny taniec samca. Bawiło nas, że wysiłki zalotnika zostały tak bezceremonialnie „odrzuczone”. Tymczasem w ptasiej rzeczywistości było wręcz odwrotnie. U ptaków prawe oko jest wyspecjalizowane do innych zadań niż lewe. To pierwsze odpowiada za zadania rutynowe (na przykład poszukiwanie pokarmu), a drugie jest wykorzystywane m.in. do interakcji społecznych. Innymi słowy, reakcja wspomnianej samicy była przychylna, a zalotnik mógł liczyć na jej zainteresowanie. W sytuacji braku wystarczającego rozumienia również nasza troska, mimo dobrych chęci, może być przeciwnie skuteczna. Dzieje się tak, na przykład kiedy domowej myszce zapalamy na noc światło w klatce, żeby czuła się bezpieczniej, albo kiedy odciągamy psa od „nieprzyjemnych” zapachów. Interpretując potrzeby i zachowania zwierzęcia, bez rozumienia jego Umweltu, „błądzimy po omacku” – że użyję tej typowo ludzkiej metafory. Mogę tylko mieć nadzieję, że ośmiornice, posiadające niezwykle sprawne i czułe macki, byłyby w stanie przymknąć na nią oko. Mógłbym też

stwierdzić, że „strzelamy na oślep”, ale wtedy naraziłbym się ko-brom plującym, które nie muszą wyraźnie widzieć napastnika, żeby strzelić mu jadem prosto w oczy. Zostanę więc przy tej pierwszej analogii, bowiem tak po ludzku łatwiej mi uwierzyć w wyrozumiałość ośmiornic. Pewnie przez te ich oczy – tak (na pozór) podobne do naszych.

O tym, że świat, który jako ludzie postrzegamy, nie obejmuje wszystkiego, co nadaje się do postrzegania, informują nas czynniki, które oddziałują, mimo że w żaden sposób nie jesteśmy zdolni uświadamiać sobie ich istnienia. W kwestii zagrożeń nasze zmysły nastawione są na bodźce, które w ewolucyjnej historii naszego gatunku miały największe znaczenie dla przetrwania (na przykład inne zwierzę w polu widzenia, niska temperatura, huk wystrzału). Niemniej istnieją również czynniki, które oddziałują mimo naszej całkowitej niezdolności do ich wyczuwania. Przykładami mogą być ultradźwięki, których nie słyszymy, a które w wysokim natężeniu mogą uszkodzić aparat słuchowy; promieniowanie rentgenowskie, którego nie czujemy, a które uszkadza tkanki na poziomie molekularnym; tlenek węgla, który pozbawiony jest zapachu, a który powoduje uduszenie; czy substancje niebędące ani kwaśne, ani gorzkie, które połknięte prowadzą do zatrucia. Zagrożenia te były prawdopodobnie w naturze na tyle mało realne, że organizm nie wykształcił dla nich systemów detekcji. Tego typu ciemne plamy w percepcji dotyczą oczywiście każdego zwierzęcia. Dobrym przykładem są tu systemy wzrokowe płazów: nie widzą, jeśli coś tkwi nieruchomo, ponieważ rejestrują tylko zmianę. Z tego powodu żaba pozostawiona w terrarium z dziesiątkami martwych much

umiera z głodu. Ale w naturze ziemia wyściełana muchami jest zjawiskiem tak rzadkim, że system wykrywający ruch w zupełności wystarcza: płazy wszak żyją i rozwijają się od milionów lat.

My – ludzie, w przeciwieństwie do płazów, żyjemy dziś w zupełnie innym otoczeniu niż to, do którego ewoluowały nasze zmysły. Naturalna dominacja wzroku w ludzkim doświadczeniu, została – szczególnie w ostatnim półwieczu – wzmocniona przez rozwój mediów, a tendencja ta przybiera na sile. Coraz częściej zwraca się uwagę, że rzeczywistość zdominowana przez sztucznie wykreowane obrazy oddziałuje niekorzystnie na zdrowie psychiczne. Zależność pomiędzy funkcjonowaniem zmysłów a wewnętrznym dobrostanem zawsze jawi nam się jako oczywista, jednak zostaje uchwycona w warstwie języka. Nieprzypadkowo o osobach chorych psychicznie mówi się, że „postradały zmysły”, „odeszły od zmysłów” albo że doznały „pomieszania zmysłów”. Z kolei ludzie cieszących się jasnością myślenia określa się jako pozostających przy „zdrowych zmysłach”. Kwestię powiązań pomiędzy zmysłami a zdrowiem oraz tego, w jaki sposób współczesna cywilizacja wpływa na zmysłową równowagę, podejmę w rozdziale zatytułowanym „Równowaga sensoryczna”. Słowo „równowaga” ma dla mnie szczególne znaczenie i odnosiłem się do niego w poprzednich publikacjach, z których pierwsza dotyczyła równowagi żywieniowej (*Nie tylko dieta w nadwadze i otyłości*, PZWL 2024), a druga – równowagi psychicznej (*Mózg i umysł w równowadze*, PZWL 2025). Będąc członkiem współczesnego społeczeństwa, na własnej skórze doświadczyłem skutków długotrwałego funkcjonowania poza równowagą żywieniową czy emocjonalną, co uświadomiło mi, jak istotny jest to stan dla utrzymywania poczucia osobistego dobrostanu. Równowaga

stała się dla mnie słowem kluczem, do którego odnoszę się, kiedy tylko podejmuję tematy związane z człowiekiem. Postaram się więc wykazać, że w kontekście zmysłów ma ona równie doniosłe znaczenie jak w innych aspektach życia.

Moim drugim celem jest przekonanie Cię, że nasze ludzkie wyposażenie sensoryczne w niczym nie ustępuje temu, które spotykamy u innych zwierząt. Poza skłonnością do, nieraz całkowicie chybionego, projektowania na inne stworzenia typowo ludzkich przeżyć towarzyszy nam bowiem tendencja do niedoceniań własnych zmysłowych możliwości. Jesteśmy przekonani, że cechuje nas słaby węch – na przykład w porównaniu z psem, słaby słuch – choćby w odniesieniu do sowy i słaba koordynacja ruchów w zestawieniu – dajmy na to – z gibonem czy gepardem. Wnioski te, czego będę się starał dowieść, nie są jednak uprawnione. Nasze zmysłowe funkcjonowanie jest niewiarygodnie efektywne i jeśli spojrzeć na nie pod kątem dopasowania do zasiedlanej niszy okaże się, że nie ustępuje innym zwierzętom. Ponadto naszym wielkim sprzymierzeńcem jest ponadprzeciętny układ poznawczy, który pozwala nam na wyrafinowanie nawet niezbyt subtelných wrażeń. Nie ma na świecie zwierzęcia, które potrafi doskonale „wysłyszeć” detale muzyki, odróżnić szczepy owoców, z których powstało wino, i powtórzyć z pamięci tak złożone sekwencje ruchów, jakie można zaobserwować na turniejach tańca. Nawet zwykle wnoszenie kartonu po schodach to w gruncie rzeczy nie lada sztuczka, której mógłby nie sprostać niejeden cyrkowy orangutan. Szybkością wspinania się pod górę nie dorównujemy co prawda górskim kozicom, ale niech one spróbują zdobyć szczyt, idąc jedynie na tylnych łapach!

Nie jestem badaczem zmysłów. Znaczną część informacji, które zawarłem w tej książce, zdobyłem dzięki opracowaniom innych autorów. Są wśród nich naukowcy i myśliciele, którzy poświęcili karierę analizowaniu mechanizmów percepcji, a którym ja sam jestem wdzięczny za zaszczepienie we mnie pasji do poznawania rzeczywistości. Niektóre odnośniki bibliograficzne zamieszczone w tekście kierują do artykułów naukowych, w których zamieszczali oni wyniki konkretnych badań, a niektóre do książek (w tym popularnonaukowych). Staralem się opierać na źródłach, które odznaczały się rzetelnością i zrównoważeniem, dlatego mam nadzieję, że udało mi się ustrzec większych nieścisłości. Sugerowałbym, żeby wszelkie oszacowania liczbowe, które pojawiły się w tekście, traktować jako przybliżenia, mając na uwadze, że mogą się one nieco różnić w zależności od źródła danych. Mam nadzieję, że książka, którą składam na Twoje ręce, okaże się ciekawa i pomocna. Natomiast jeśli zainspiruje Cię również do dalszego zgłębiania tajemnic życia i dzielenia się odkryciami z innymi, to spełni swój cel z nawiązką!

Zawartość książki została podzielona względem szczegółowości poruszanych treści.

Zawartość książki została podzielona względem szczegółowości poruszanych treści. Zagadnienia zaawansowane – pisane z myślą o studentach, osobach z wykształceniem psychologicznym, medycznym lub biologicznym oraz pasjonatach wiedzy – wyróżniono w książce za pomocą ramek. Dzięki temu będą one mogły zostać łatwo pominięte przez osoby, które nie mają ochoty zagłębiać się w neurofizjologiczne niuanse leżące u podstaw zmysłowych doświadczeń.

Ostatni rozdział książki obejmuje część praktyczną. Zebrałem w niej zasady ogólne, sugestie zmian i propozycje doświadczeń zmysłowych. Wdrażanie ich w życie skutkuje umacnianiem wewnętrznej równowagi.

Uzupełnieniem treści omawianych w tej książce jest również mój autorski podcast *Co dobrze wiedzieć*, dostępny pod adresem codobrzewiedziec.pl/podcast. Rozwijam w nim poruszone tutaj zagadnienia i w przystępny sposób wyjaśniam mechanizmy działania ludzkiego umysłu oraz emocji.

Bibliografia

- Büttner J. U. (2009). The punishment of blinding and the life of the blind, *Medizin, Gesellschaft und Geschichte*, 28, 47 – 72.
- McDonald M. A., Mesnick S. L., Hildebrand J. A. (2006). Biogeographic characterization of blue whale song worldwide: Using song to identify populations, *Journal of Cetacean Research and Management*, 8(1), 55 – 65.
- O’Connell-Rodwell C. E. (2007). Keeping an „ear” to the ground: Seismic communication in elephants, *Physiology*, 22, 287 – 294.
- Sirović A., Hildebrand J. A., Wiggins S. M. (2007). Blue and fin whale call source levels and propagation range in the Southern Ocean, *The Journal of the Acoustical Society of America*, 122(2), 1208 – 1215.
- Starmans C., Bloom P. (2012). Windows to the soul: Children and adults see the eyes as the location of the self, *Cognition*, 123(2), s. 313 – 318.
- Yong E. (2024). *Niezwykłe zmysły. Jak zwierzęta odbierają świat*, tłum. M. Rabsztyń-Anioł. Kraków: Bo.wiem.

ROZDZIAŁ 1

ZMYSŁY ODLEGŁOŚCI

Zmysły odległości odbierają sygnały ze środowiska, nie mając bezpośredniego kontaktu z ich źródłem. W przypadku człowieka należą do nich wzrok, słuch i węch. Pierwszy umożliwia odbiór fal świetlnych, drugi – fal akustycznych, a trzeci – cząsteczek chemicznych znajdujących się w powietrzu. Bodźce wzrokowe i słuchowe mają naturę falową, co oznacza, że charakteryzują się pewnymi regularnościami. W przeciwieństwie do nich bodźce węchowe są całkowicie chaotyczne. Jak się okaże, stopień uporządkowania bodźca ma znaczące przełożenie zarówno na fizjologię zmysłu, jak i sposób przetwarzania informacji.

W przeciwieństwie do większości zmysłów związanych z odczuciami cielesnymi funkcjonowanie zmysłów odległości zawsze opiera się na wyspecjalizowanych narządach, takich jak oczy, uszy czy nos. Kiedy myślimy o zmysłach, to właśnie one jako pierwsze przychodzą nam do głowy (z pewnością mają najbliższą), dlatego od nich zaczniemy tę podróż. Ale nie tylko centralne położenie zdecydowało o ich pierwszeństwie, bo jak się niebawem przekonasz, wszystkie trzy są doprawdy fascynujące!

Wzrok

Wzrok jest dominującym zmysłem w świecie człowieka. Dzięki niemu możemy odczytywać symbole, rozpoznawać wskazówki ukryte w subtelnych wyrazach twarzy i kierować zręcznymi palcami dokładnie w kierunku obranego punktu. Niezwykle sprawne oczy¹, pozwalające na dostrzeganie szczegółów, widzenie głębi i całej gamy kolorów, odpowiadają ludzkim potrzebom i współtworzą nasz wyjątkowy Umwelt, który znacznie różni się od świata doświadczeń większości zwierząt. Nawet wśród bliskich krewnych – innych ssaków – opieranie się na widzeniu jest rzadkością. Nie oznacza to jednak, że systemy wzrokowe naszych zwierzęcych kuzynów są pod każdym względem słabsze od naszych. Dla przykładu –

¹ U człowieka sprawność widzenia rozwija się w pierwszych latach życia. Wzrok niemowlęcia jest jedynie w 5% tak ostry jak dorosłego, dlatego widzi ono nie dalej niż na 30 centymetrów. Pełnia wzrokowych możliwości rozwija się do około 4. – 5. roku życia, a niektóre aspekty (na przykład percepcja głębi, kontrastu w trudnych warunkach) mogą nadal poprawiać się w okresie wczesnoszkolnym.

końskie oczy wykrywają ruch znacznie efektywniej od ludzkich. Ponadto kiedy my tracimy grunt i orientację w ciemności, koty, myszy czy jeże wciąż czują się jak ryba w wodzie.

Zakłada się, że ostatni wspólny przodek stawonogów, mięczaków i kręgowców – zasiedlający Ziemię ponad 600 mln lat temu – posiadał już narząd pozwalający mu na wykrywanie światła, zbudowany ze światłoczułych komórek zasilanych praopsyną². Późniejsza ewolucja doprowadziła co prawda do niezależnego powstania rozmaitych, coraz bardziej skomplikowanych układów optycznych, jednak na poziomie molekularnym wszystkie rodzaje oczu wykorzystują te same molekularne cegiełki³. Oko soczewkowe, umożliwiające odwzorowanie obrazu na siatkówce, z którego dalej ewoluowały układy wzrokowe zwierząt kręgowych, pojawiło się u prymitywnych strunowców około 100 mln lat później (Lamb,

² Opsyny to białka będące uniwersalnymi cząsteczkami fotoreceptorowymi wszystkich układów wzrokowych w królestwie zwierząt. Łączą się one z retinalem – aktywną formą witaminy A. W procesie widzenia, kiedy światło pada na komórkę światłoczułą siatkówki, retinal zmienia swoją strukturę chemiczną. Zmiana ta powoduje uruchomienie kaskady reakcji wewnątrzkomórkowych, prowadzących do wygenerowania impulsu nerwowego. Jednym z typów opsyn jest rodopsyna, występująca w pręcikach siatkówki. Jeśli w diecie występują znaczne niedobory witaminy A (i jej prekursorów), to rodopsyna nie może działać prawidłowo i dochodzi do pogorszenia widzenia określanego mianem „kurzej ślepoty”. Osoba dotknięta tym zaburzeniem ma problemy z widzeniem w warunkach słabego oświetlenia.

³ Bakteryjne rodopsyny, pochodne praopsyn, nie są homologiczne ze zwierzęcymi opsynami. Mają one podobną architekturę, ale różnią się znacząco sekwencją aminokwasów, co oznacza, że powstały niezależnie od siebie. Uniwersalne wykorzystywanie opsyn w procesach widzenia może być przykładem tzw. konwergentnej ewolucji, w której niespokrewnione gatunki dochodzą do tego samego rozwiązania problemu, gdyż w przyrodzie może istnieć tylko jeden fizyczny lub chemiczny sposób, by to zrobić (Dunbar 2024).

Pugh, Collin 2008). Co ciekawe, wspólnego przodka wszystkich kręgowców prawdopodobnie cechowało widzenie tetrachromatyczne („czterobarwne”), obejmujące poza spektrum barw podstawowych (niebieska, zielona i czerwona) również zakresy UV. Jednak w liniach ewolucyjnych ssaków doszło później do utraty niektórych rodzajów czopków, co skutkowało ograniczeniem zdolności widzenia barwnego. Stało się tak prawdopodobnie dlatego, że w tzw. erze dinozaurów wczesne ssaki prowadziły głównie nocny tryb życia i widzenie w kolorze nie miało istotnego znaczenia dla przetrwania. Większość współczesnych ssaków (na przykład psy, koty, konie, gryzonie) jest dichromatyczna (posiada dwa rodzaje czopków), co oznacza ograniczoną zdolność rozróżniania barw. Około 30 – 40 mln lat temu u małp afrykańskich doszło do duplikacji genu opsyny, dzięki czemu powstał trzeci typ czopka (dla czerwieni), co umożliwiło naszym przodkom ponowne widzenie w spektrum trzech kolorów. Mutacja ta utrzymała się prawdopodobnie dlatego, że wspomagała zbieranie dojrzałych owoców i młodych liści w dżungli. Niemniej zakłada się, że rozwój wielkości oczu i ostrości widzenia u naczelnych związany był bardziej z koniecznością dostrzegania małych owadów i drobnych bezkręgowców siedzących na gałęziach, które stanowiły główne źródło pożywienia (Yong 2024).

Owady i skorupiaki mają oczy złożone, które składają się z wielu oddzielnych jednostek zbierających światło, zwanych ommatidiami. Poza kręgowcami oczy przypominające aparat fotograficzny, w których pojedyncza soczewka ogniskuje światło na jednej siatkówce, rozwinęły się również u tak odległych ewolucyjnie organizmów

jak głowonogi czy pająki z rodziny skakunowatych. Szczególnie te ostatnie – ze względu na swoje niewielkie rozmiary i nietypowy układ wzrokowy – zasługują na to, żeby przyjrzeć się im nieco bliżej. „Skakuny” to rodzina pajaków, które nie skupiają się na wiciu pajęczyny, tylko polują aktywnie, podchodząc do ofiar i skacząc na nie (stąd nazwa). Pająki budujące sieci (na przykład krzyżaki) są prawie ślepe. Ich głównym zmysłem jest czucie wibracji. W przeciwieństwie do nich skakuny widzą niemal doskonale. Ich głowy otaczają cztery pary oczu, co zapewnia im szerokie pole widzenia. To jedyne pająki, które podążają ruchami oczu i głowy za poruszonym przed nimi obiektem (na przykład palcem). Dowiedziono, że pająki te potrafią widzieć niemal tak dokładnie jak słonie czy małe psy. Ich oczy to tuby, które z przodu mają soczewkę, a z tyłu siatkówkę. Soczewka jest nieruchoma, ale pająk obraca tubą w środku głowy, co sprawia, że może się rozglądać, choć jego oczy wydają się nieruchome. Co zaskakujące, skaczące pająki mają oddzielną parę oczu do ostrego widzenia i oddzielne pary do detekcji ruchu. Oczy centralne rozpoznają wzorce, kształty i kolory, a znajdujące się tuż obok nich – śledzą ruchy i przenoszą uwagę. Obie pary mają niezależne połączenia z mózgiem pająka (Yong 2024).

W świecie kręgowców, gdy porównuje się całe królestwa, miano wzrokowych mistrzów przypada ptakom. W przeciwieństwie do ssaków nigdy nie utraciły zdolności widzenia szerokiego zakresu barw. Fakt, że oczy pełnią w ptasim życiu kluczową funkcję, został uchwycony w licznych metaforach. Kiedy opowiadamy innym, że ktoś „patrzył na nas jak jastrząb”, to dajemy do zrozumienia,

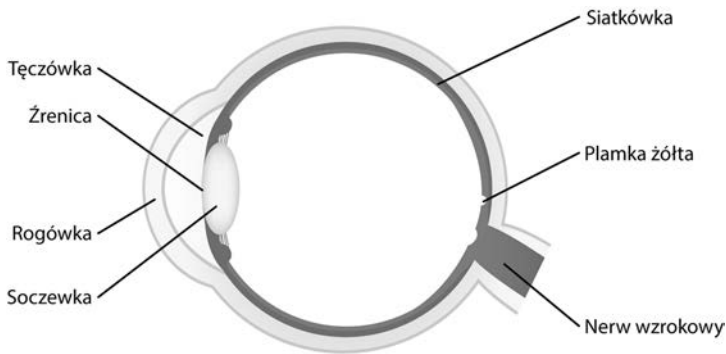
że nawet na chwilę nie spuszczał z nas wzroku. O osobie, której nieoczekiwanie przypadło w udziale coś dobrego, mawiamy, że trafiło jej się „jak ślepej kurze ziarno” (ptaki te rzeczywiście mają trudność z lokalizowaniem pokarmu, kiedy zostają pozbawione możliwości widzenia). Natomiast kiedy ktoś z łatwością zauważa umykające innym detale, stwierdzamy, że ma „sokoli” albo „orli” wzrok. Nieprzypadkowo większość tych powiedzeń odnosi się do ptaków drapieżnych. Zdolnością widzenia wyróżniają się one nawet na tle innych ptaków. Od dawna zastanawiano się nad tajemnicami sokolego oka i poczyniono w tej sprawie wiele interesujących spostrzeżeń. Na przykład odkryto, że czopki są w nim bardzo zagęszczone, a możliwe jest to dlatego, że są cieńsze niż u większości zwierząt. Sokół ma też bardzo szerokie pole widzenia (aż 290°) i – w stosunku do głowy – znacznie większe oczy niż ludzie czy inne ssaki. Obserwacje te nie wyjaśniały jednak w pełni ptasich możliwości. Czopki w oczach sokoła są rzeczywiście małe i gęsto upakowane – ale tylko o 60% gęściej niż u człowieka. Co więcej, oko sokoła, choć duże jak na małe zwierzę, jest wciąż o połowę mniejsze od oka ludzkiego. Mamy co prawda większe głowy, nie zmienia to jednak fizyki światła – z naszą optyką byliśmy daleko przed sokołami. Ponadto okazało się, że u pustułki amerykańskiej (gatunku z rodziny sokołowatych często wykorzystywanej w badaniach) rozdzielczość optyczna jest nieco... gorsza niż u ludzi. W końcu znaleziono wyjaśnienie tej zagadki. Okazało się, że sokół ma sokoli wzrok przede wszystkim dlatego, że widzi doskonale niemal w całym zakresie pola widzenia, a nie jak ludzie – jedynie w jego centralnej części, zwanej plamką żółtą. Dowodzą

tego zarówno liczba, jak i rozmieszczenie neuronów siatkówki. U większości gatunków zwierząt zagęszczenie komórek zwojowych dramatycznie maleje na obrzeżach siatkówki. U sokołów tymczasem ów spadek gęstości jest znacznie mniejszy. Sokoły mają o wiele więcej komórek zwojowych niż ludzie – około 8 mln w każdej siatkówce, podczas gdy u nas na siatkówkę przypada ich średnio zaledwie 1 mln. Jeżeli przyjąć, że zagęszczenie komórek zwojowych w strefie centralnego widzenia wynosi 100%, to u przeciętnego człowieka ich zagęszczenie na obrzeżu siatkówki wynosi już tylko 1%, natomiast u pustułki amerykańskiej – aż 75%. W części peryferyjnej siatkówki na 1 mm² powierzchni przypada 15 tys. komórek zwojowych u sokoła i zaledwie 500 u człowieka. Podczas gdy my widzimy ostro jedynie ten fragment pola widzenia, na który rzucimy okiem, sokół widzi w taki sposób kilkumetrowe pasmo pola naraz. Jak można się spodziewać, nerw wzrokowy tych ptaków jest bardzo gruby. Gdyby komórki zwojowe były rozmieszczone w całej siatkówce równie gęsto jak w części środkowej, ludzki nerw wzrokowy miałby grubość węża ogrodowego, co uniemożliwiłoby nam poruszanie gałkami ocznymi. Sokołom taka sytuacja nie przeszkadza, bowiem ptaki te nie poruszają zbyt wiele oczami, lecz raczej całą głową (Masland 2020).

Oko i siatkówka

Układ wzrokowy działa jak aparat fotograficzny – światło musi zostać skupione w miejscu, w którym powstaje obraz. W przypadku oka miejscem tym jest siatkówka, a dokładnie jej fragment

zwany plamką żółtą (rysunek 1.1). Struktura ta, stanowiąca zaledwie 1/20 powierzchni siatkówki, odpowiada za wyraźne postrzeganie świata w kolorze. To właśnie w tym obszarze znajduje się aż 90% czopków – fotoreceptorów odpowiedzialnych za widzenie barwne. Co więcej, w obrębie plamki żółtej, w samym jej centrum, znajduje się tzw. dołek środkowy właściwy (ang. *central fovea*), który ma około 0,2 – 0,35 mm średnicy. Połowa czopków całej siatkówki jest skupiona w tym małym punkcie, który odpowiada za najwyższą ostrość widzenia i rozróżnianie szczegółów – niezbędne na przykład podczas odczytywania zdań zawartych w tej książce.



RYSUNEK 1.1. Plamka żółta

Większość z nas wie, że widzenie peryferyjne jest znacznie słabsze od widzenia centralnego, mało kto jednak zdaje sobie sprawę z tego, jak wielka jest między nimi różnica. Pole ostrego widzenia odpowiada połowie szerokości dłoni oglądanej z odległości wyprostowanego ramienia. Wystarczy wyjść odrobinę za ten

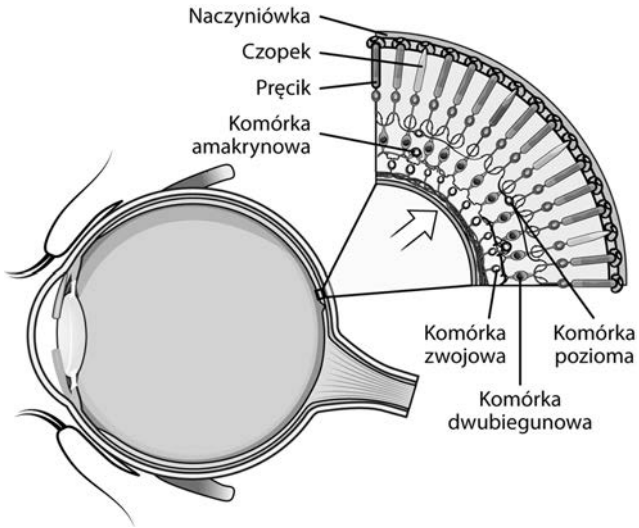
obszar i ostrość widzenia spada dramatycznie. Wodząc spojrzeniem po scenie wzrokowej, nabieramy fałszywego poczucia, iż widzimy przedmioty wyraźniej niż w rzeczywistości. Pewną rolę odgrywa tu pamięć wzrokowa, która przechowuje ostre obrazy spostrzeżonych wcześniej przedmiotów. Widzenie peryferyjne, choć pozbawione ostrości i koloru, jest bardzo wrażliwe na wszelkie zmiany zachodzące w polu wzrokowym. Wszystko, co nagle się tam pojawia, rozbłyska albo porusza, natychmiast przykuwa naszą uwagę – i tam też natychmiast kierujemy nasze widzenie centralne. Drugie zastosowanie widzenia peryferyjnego to nawigacja. Kiedy się poruszamy, na obrzeżach pola widzenia przesuwają się zgrubne obrazy przedmiotów; nie rozpoznajemy szczegółów, ale widzimy zarysy: tu są drzwi, a tam kanapa; to lodówka, a to jakaś osoba. Pozwala nam to unikać zderzeń z przeszkodami i wybierać najlepszą drogę między nimi (Masland 2020).

Zdecydowana większość neuronów siatkówki oraz obszarów mózgu zajmujących się widzeniem nie jest szczególnie zainteresowana obiektami niezmiennymi. Reagują one dobrze na pojawienie się jakiegoś przedmiotu, ale stopniowo przestają iskrzyć, jeżeli ów przedmiot w żaden sposób się nie zmienia. Dzięki temu mózg nie traci energii na analizowanie obiektów, które nie niosą nowych informacji. Efektem ubocznym tego mechanizmu jest to, że obrazy, które się nie ruszają, szybko przestają być postrzegane. Znikaniu nam obrazu „sprzed oczu” przeciwdziałają nieustanne ruchy gałek ocznych, zwane „sakkadami”, które odbywają się poza naszą świadomością od dwóch do pięciu razy na sekundę (Masland 2020).

Najbardziej rozpoznawalną strukturą oka jest soczewka – przezroczysty, elastyczny element w kształcie dysku, zbudowany z komórek nabłonkowych. Jej wnętrze wypełnione jest specjalnymi białkami – krystalinami, rozpuszczonymi w wodzie. Białka te cechują się wyjątkową przezroczystością i uporządkowaniem, co pozwala soczewce zarówno idealnie przepuszczać światło, jak i zachowywać elastyczność (niezbędną do akomodacji). Choć w powszechnym mniemaniu soczewka jest strukturą, która odpowiada za skupienie światła na siatkówce, w rzeczywistości większą część „pracy optycznej” wykonuje w tym zakresie rogówka – pierwsza powierzchnia, z którą styka się światło po dotarciu do oka. Warstwa ta, dzięki swojej krzywiznie, ma bardzo duży (dwukrotnie większy niż soczewka) współczynnik załamania światła. Niemniej to właśnie dzięki zmianom kształtu soczewki (za sprawą mięśni rzęskowych) możliwe jest precyzyjne umiejscowienie obrazu na siatkówce.

Za ilość światła, które dotrze do soczewki odpowiada źrenica – otwór regulowany przez mięśnie tęczówki. Jeśli światła jest w nadmiarze, źrenica zmniejsza swoją średnicę, natomiast w warunkach ciemności zostaje w pełni otwarta. Pomiędzy soczewką a tylną ścianą gałki ocznej, na której rozciąga się siatkówka, znajduje się przezroczysta, galaretowata substancja zwana ciałem szklistym. Dzięki ciśnieniu i elastycznej strukturze ciało szkliste stabilizuje kulisty kształt oka.

Choć siatkówka składa się z kilku warstw komórek (rysunek 1.2), to pozostaje bardzo cienka – jej grubość rzadko kiedy przekracza 0,3 mm. Umożliwia to dopływ tlenu i składników odżywczych drogą



RYSUNEK 1.2. Budowa siatkówki

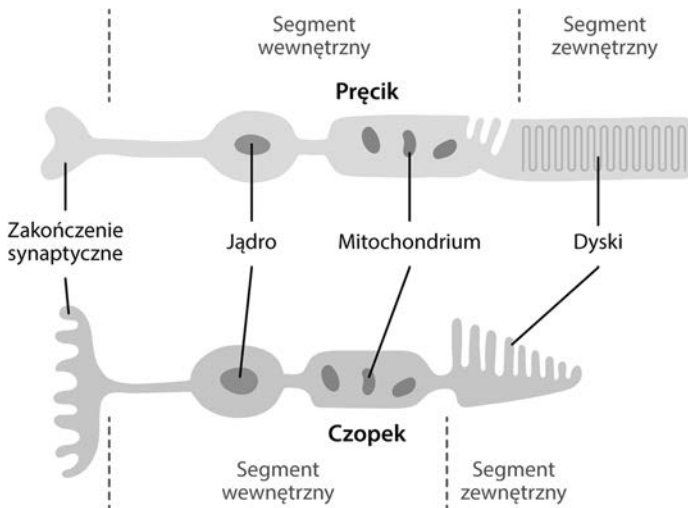
pasywnej dyfuzji. Gdyby siatkówka przepleciona była zwyczajową siecią tętnic, żył i naczyń włosowatych, struktury te (i płynąca w nich krew) przesłaniałyby nam widok. Co prawda kilka naczyń wnika w głąb siatkówki i pomaga odżywiać jej peryferyjne obszary, jednak głównym źródłem substancji odżywczych jest gęsta sieć nacyniowa zlokalizowana na dnie oka, czyli po stronie zewnętrznej (Masland 2020).

O dziwo, fotoreceptory nie znajdują się w pierwszym rzędzie komórek siatkówki, lecz stanowią jej najgłębszą warstwę. To niezgodne z intuicją – światło najpierw przechodzi przez wszystkie inne warstwy, zanim dotrze do komórek, które je wychwytyją. Dzieje się tak, ponieważ siatkówka kręgowców wykształca się z wypuklenia ściany mózgu (tzw. pęcherzyka wzrokowego), które

zawija się do środka (tworząc tzw. kubek oczny). W wyniku tego odwrócenia warstwa nerwowa znajduje się z przodu, a fotoreceptory – z tyłu. Zagadką pozostaje, dlaczego ewolucja utrwaliła tę – postawioną do góry nogami konstrukcję – zwłaszcza że w układach wzrokowych bezkręgowców, takich jak ośmiornice, siatkówka ma „właściwą” kolejność – fotoreceptory są na wierzchu, a nerwy pod nimi. Kilka hipotez stara się to wyjaśnić. Jedna z nich podkreśla kwestie metaboliczne. Otóż fotoreceptory zużywają duże ilości energii i tlenu, co sprawia, że potrzebują intensywnego odżywiania i regeneracji. Stąd umiejscowienie czopków i pręcików blisko bogato unaczynionej warstwy naczyńkowej mogło dać istotną przewagę. Ponadto takie położenie chroniło je przed szkodliwym działaniem światła UV. Te korzyści uzasadniałyby ewolucyjny kompromis związany z koniecznością przemierzenia przez światło kilku warstw komórek. Zamiast przebudowywać cały układ, ewolucja mogła (jak to ma w zwyczaju) „postawić” na ulepszenie tego, co otrzymała. I tak – neuronowe siatkówki kręgowców poprzetykane są niemal przezroczystymi (zawierającymi minimalne ilości organelli) komórkami pomocniczymi (zwanymi komórkami Müllera), które działają jak światłowody – kierują światło bezpośrednio do fotoreceptorów. Rozwiązanie to sprawdza się doskonale, o czym możemy zaświadczyć na bazie jakości własnych doświadczeń wzrokowych (Carreras 2018). Niektórzy badacze sugerują, że odwrócona siatkówka to rozwiązanie, które choć mogło być przypadkowe tam, gdzie doszło do jego powstania (w środowisku wodnym), to stało się wysoce korzystne po wyjściu kręgowców na ląd, gdzie liczą się ochrona, regeneracja i chłodzenie

fotoreceptorów w odpowiedzi na wysoką ekspozycję na światło (Lamb, Collin, Pugh 2007).

W tzw. segmencie zewnętrznym czopków i pręcików (rysunek 1.3) znajdują się cząsteczki barwnikowe – rodopsyna w pręcikach i analogi jodopsyny w czopkach. Gdy światło pada na fotoreceptor, w jego wewnętrznych barwnikach zachodzi reakcja fotochemiczna. Zmiana ta prowadzi do hiperpolaryzacji błony komórkowej fotoreceptora (błona po wewnętrznej stronie staje się naładowana bardziej „ujemnie”), co skutkuje zmniejszeniem wydzielania neurotransmitera (glutaminianu) do przestrzeni synaptycznej. To dość nietypowa sytuacja – z reguły pobudzenie komórki prowadzi do zwiększenia wydzielania neuroprzekaźnika, jednak w przypadku fotoreceptorów odwrotna reakcja ma swoje uzasadnienie, do którego jeszcze wrócę.



RYSUNEK 1.3. Budowa fotoreceptorów

Każdy fotoreceptor koduje wyłącznie dwie informacje – „gdzie” i „jak jasno”. Inne cechy bodźca (na przykład ruch, krawędzie) ujawniają się dopiero dzięki przetwarzaniu zbiorczemu informacji z licznych fotokomórek przez dalsze obwody siatkówki. Pojedynczy pręcik zawiera około miliarda cząsteczek rodopsyny (światłoczułego białka), które pokrywają przezroczyste płytki skierowane w stronę światła. Fotony odkształcają chromofor – centralny fragment tych niezwykłych cząsteczek, co z kolei pociąga za sobą lawinę reakcji zachodzących przy współdziałaniu molekuł pośredniczących, które wielokrotnie wzmacniają pierwotny sygnał. Do niedawna uważano, że potrzeba co najmniej siedmiu fotonów docierających do oka w tym samym momencie, żeby bodziec był dość silny i pręcik mógł przekazać do mózgu informację o obecności światła. Jednak – jak wykazały ostatnie eksperymenty – niekiedy wystarczy... pojedynczy foton (!) (Henderson 2018).

Białkowe detektory światła

Czopki potrzebują o wiele większej ilości światła niż pręciki, dlatego przy słabym oświetleniu dużo gorzej rozróżniamy kolory. Każdy czopek ludzkiej siatkówki charakteryzuje się obecnością jednego z trzech rodzajów białek światłoczułych, zwanych opsynami. Opsyna L (ang. *long-wavelength*, długofalowa) odpowiadająca za percepcję czerwieni i opsyna M (ang. *medium-wavelength*, średniofalowa) związana z odbiorem zieleni są niemal identyczne pod względem sekwencji budujących je aminokwasów. Niemniej subtelne różnice pojawiają się w kluczowych miejscach, co sprawia, że oba białka wykazują nieco inną czułość na fale świetlną. Opsyna S (ang. *short-wavelength*, krótkofalowa) odpowiadająca za percepcję koloru niebieskiego pod względem samej architektury przypomina

pozostałe, ale charakteryzuje się inną sekwencją aminokwasów. Różnice te pozwoliły lepiej zrozumieć pochodzenie omawianych białek. Otóż opsyna S jest znacznie starsza ewolucyjnie. Prawdopodobnie była już obecna u wczesnych zwierząt wielokomórkowych, zamieszkujących Ziemię ponad 600 mln lat temu. Jej pierwotna funkcja nie była związana z percepcją koloru, a jedynie detekcją światła w celu synchronizacji rytmów biologicznych.

Co ciekawe, czopki zawierające opsynę S również wykazują różnice morfologiczne w porównaniu z dwoma pozostałymi rodzajami. Mają krótsze segmenty zewnętrzne i nieco inną organizację dysków. Ich funkcja również jest zróżnicowana – czopki S mają jedynie minimalny wkład w precyzyjne widzenie, które zawdzięczamy czopkom M i L. To właśnie one (a nie wszystkie trzy po równo) dominują w dołku centralnym – punkcie największej ostrości wzroku. Intuicja mogłaby podpowiadać, że postrzegane przez nas kolory cechują się podobnymi właściwościami. Tymczasem bliższe przyjrzenie się siatkówce odkrywa przed nami nieco inny obraz. Udało nam się dotychczas ustalić, że kolor niebieski cechuje się najmniejszą ostrością. Ale to nie jedyna różnica. Otóż większość ludzi jest w stanie zarejestrować o wiele więcej odcieni koloru zielonego niż jakiegokolwiek innej barwy, nie mówiąc o tym, że w gasnącym świetle zieleń pozostaje najdłużej widocznym kolorem. Dzieje się tak, ponieważ promieniowanie dające wrażenie zieleni (o długości około 555 nm) pobudza jednocześnie dwa rodzaje czopków (M i L) (Henderson 2018). Warto mieć na uwadze, że kolor, jaki przypisujemy danemu punktowi w polu widzenia – podobnie jak inne bardziej abstrakcyjne cechy – powstaje przez złożone przetwarzanie sygnałów z wielu czopków (oraz pręcików), a nie przez odczytanie sygnału z pojedynczego czopka. W gruncie rzeczy jego ostateczna interpretacja zachodzi dopiero na odległych etapach mózgowego przetwarzania w korze potylicznej (Masland 2020).

PROGRAM PARTNERSKI

— GRUPY HELION —



1. ZAREJESTRUJ SIĘ
2. PREZENTUJ KSIĄŻKI
3. ZBIERAJ PROWIZJĘ

Zmień swoją stronę WWW w działający bankomat!

Dowiedz się więcej i dołącz już dzisiaj!

<http://program-partnerski.helion.pl>

GRUPA
Helion 

MÓZG I ZMYSŁY W EPOCE NADMIARU

Czy to, ile widzimy, słyszymy i czujemy, wpływa na nasze zdrowie i samopoczucie? A może to właśnie jakość i proporcje bodźców, które odbieramy każdego dnia, kształtują nasz wewnętrzny świat?

Autor zabiera czytelników w fascynującą podróż po świecie percepcji, prowadząc ich przez proces powstawania wrażeń — od prostych bodźców do złożonych doświadczeń. Łącząc neurobiologię, psychologię i filozofię, przygląda się temu, jak współczesne środowisko — pełne hałasu, ekranów i różnorodnych zapachów — zaburza równowagę sensoryczną człowieka. Tłumaczy, dlaczego nadmierna stymulacja prowadzi do spadku odporności psychicznej, chronicznego zmęczenia i obniżenia jakości życia. Nie poprzestaje jednak na diagnozie, lecz wskazuje również, jak świadomie budować harmonijną relację z rzeczywistością.

To nie tylko inspirująca książka popularnonaukowa o tym, jak mózg tworzy subiektywne wrażenia. To także praktyczny przewodnik dla tych, którzy chcą żyć uważniej, lepiej zrozumieć zależności między ciałem a umysłem i osiągnąć równowagę w codziennym życiu pełnym sensorycznego szumu.

Helion

ISBN 978-83-289-3781-9



9 788328 937819

cena: 64,90 zł