

Ann-Sophie
Barwich

WĘCH

Co nos
mówi umysłowi

Tłumaczenie
Tadeusz Chawziuk



Copernicus
Center
PRESS

dziedzinie prowadzą John Hildebrandt, Ring T. Cardé i Michael Dickinson⁹.

Wymiar przestrzenny postrzegania zapachów nie należy do bodźca, ale raczej ta informacja powstaje w odniesieniu do układu postrzegającego. Węch jest zmysłem stykowym cząsteczek wchodzących w bezpośrednią interakcję z nabłonkiem węchowym. Sygnały węchowe informują o obiektach mających znaczenie dla działania, a także o rzeczach odległych (takich jak dym). W istocie zapachy są jakościami wywoływanymi przez substancje lotne odrywające się od powierzchni przedmiotów. To pochodzenie materialne zapachów można związać z konkretnym miejscem w przestrzeni. Zaburzenia przepływu powietrza zwiększają jednak niedokładność oszacowania źródła zapachu, gdyż gradient nie jest ciągły. Massimo Vergassola ze współpracownikami wykazał, że infotaksja za pomocą sygnałów węchowych wymaga strategii poruszania się zygakiem między niepowiązаныmi ze sobą chmurami zapachów spotykanymi losowo¹⁰.

Węch ma wyraźny wymiar eksteroceptywny, zwrócony na zewnątrz: zapachy pozwalają na ruch w kierunku do lub od czegoś. Tak więc węch okazuje się zmysłem przestrzennym, jeśli interpretuje się jego działania jako sygnalizowanie zewnętrznych celów zachowań w odniesieniu do organizmu. Wymiar przestrzenny należy jednak pojmować z uwzględnieniem układu sensorycznego, a nie tylko samego bodźca.

Ucieleśniona przestrzeń

Czujemy zapachy dlatego, że wąchamy. Wąchanie nie jest odruchową czy mechaniczną czynnością. Zmiany szybkości, siły i rytmu wdychania nosem powietrza decydują o tym, jakie cząsteczki i w jaki sposób dotrą do nabłonka węchowego i wejdą w interakcję ze śluzem. Max Mozell podkreśla trudności związane z wyznaczaniem dynamiki przepływu powie-

trza w jamie nosowej: „Wiemy, że same receptory mają swoje charakterystyczne właściwości. To jednak nie mówi nam niczego o tym, jak cząsteczki pokonują drogę do pola recepcyjnego”. Trzeba uwzględnić liczbę cząsteczek, objętość przepływającego powietrza i czas – a „każda właściwość występuje w różnych kombinacjach. Koncentracja staje się liczbą cząsteczek podzieloną przez czas, szybkość przepływu – objętością podzieloną przez czas. Niełatwo na podstawie reakcji określić, która z tych zmiennych jest ważniejsza. Wszystkie z trzech zasadniczych zmiennych odgrywają swoją rolę w zależności od tego, jak się ze sobą łączą”.

Wąchanie ma wpływ na to, jakie informacje docierają do mózgu i kiedy. Objętość wciąganego nosem powietrza, długość i siła tej czynności czy prędkość przepływu powietrza są mierzalnymi parametrami, które modyfikują postrzeganie zapachów, regulując sposób, w jaki lotne cząsteczki wchodzi w interakcję z nabłonkiem węchowym. Do osiągnięcia progu wykrywalności odoranty o niskiej koncentracji wymagają silniejszego wąchania w porównaniu do odorantów o znacznie wyższej koncentracji¹¹. Istnieją nawet świadectwa przemawiające za tym, że wąchanie może powodować powstawanie receptów zapachowych przy braku bodźca¹². Wąchanie oznacza więcej niż tylko mechaniczny środek transportu cząsteczek zapachowych do nabłonka węchowego. Jest ono czynnikiem współkształtującym treść percepcyjną.

U ludzi i innych ssaków układ węchowy ma za zadanie umożliwianie orientacji węchowej dzięki cyklowi nosowemu – niezależnemu od woli mechanizmowi zmiany prędkości wdechania powietrza naprzemiennie między nozdrzami. „Na przemian puchnie odpowiednia część nabłonka, co prowadzi do wydolności transportowej, a zatem prędkości powietrza”, wyjaśnia Avery Gilbert. Choć nie zdajemy sobie z tego sprawy, nasze nozdrza oddychają z różnymi prędkościami! Jedna strona nosa jest zawsze trochę zatamowana. Dlatego jedno nozdrze trochę wolniej wciąga powietrze niż drugie. Taki stan nie utrzymuje

się stale; nozdrza się wymieniają. Zwykle zakłada się, że cykl nosowy trwa około dwóch i pół godziny¹³. To założenie o rytmiczności nie potwierdziło się jednak w badaniach, gdyż nie znaleziono statystycznych dowodów na rytmiczność. Dwa eksperymenty przeprowadzone przez Gilberta wykazały, że „nozdrza wymieniają się pod względem siły, ale na nieregularnej” – to znaczy nierytmicznej – zasadzie.

Rytmiczna czy nie, zmiana prędkości przepływu powietrza w jamie nosowej umożliwia wykrywanie większej różnorodności odorantów. Zależnie od masy i wielkości, niektóre odoranty przemieszczają się szybciej i przed innymi wchodziją w interakcję z receptorami w nabłonku węchowym. Odoranty różnią się ponadto szybkością, z jaką przyłączają się do receptorów. Zatem wachanie z dwiema różnymi prędkościami przepływu powietrza pozwala nosowi szerzej zarzucić sieć bodźcową. Nos jest także w stanie łatwiej wyczuwać różnice w położeniu źródeł zapachów.

Przyjrzenie się zachowaniu psów pozwala zrozumieć, jak to działa. Po podjęciu tropu pies za nim podąża. Nie podąża za nim jednak w sposób liniowy czy bezpośredni. Krąży i wącha ślady zapachu w celu ustalenia kierunku tropu. Pies w nie większym stopniu niż człowiek „widzi”, dokąd prowadzi trop. Pies rozpoznaje zapach i podąża za jego śladem dzięki temu, że porusza się po krawędzi chmury zapachowej. Zasada ta stosuje się do wszystkich zwierząt, w tym ciem, ryb i ludzi; neurobiolog Tom Finger z Uniwersytetu Kolorado wyjaśnia: „Informacji na temat odległości dostarcza to, jak ostra jest krawędź chmury zapachowej. Gdy chmura zapachowa opuszcza źródło, jej molekularna krawędź jest dość ostra. Źródło emituje stałą koncentrację odorantu. W miarę oddalania się do źródła krawędzie się rozmywają, gdyż działa dyfuzja poprzez granicę. Zwierzę dowiadyje się o odległości na podstawie ostrości krawędzi chmury zapachowej. Wydaje mi się, że jest to jeszcze jeden wymiar [postrzegania zapachów], którego ludzie na ogół nie rozumieją. Ostrość przejścia między „by-

ciem w chmurze zapachowej” i „byciem poza chmurą zapachową” daje informacje na temat odległości od źródła”.

W taki sposób także ludzie orientują się za pomocą nosa. Gilbert wspomina o badaniach z 2015 roku przeprowadzonych przez Lucię Jacobs z Uniwersytetu Kalifornijskiego w Berkeley: „Badane osoby, z zasłoniętymi oczami i w słuchawkach na uszach, zostały wprowadzone do pomieszczenia, w którym znajdowało się punktowe źródło zapachu. Osoby te obrócono kilka razy wokół własnej osi, a następnie miały określić swoje położenie względem tego jedyne go źródła zapachu. Robiły to z powodzeniem!”¹⁴.

Wbrew rozpowszechnionemu przesądowi ludzie nie odstają tak bardzo od psów pod względem zdolności do śledzenia zapachów. Zostało to wykazane w badaniu przeprowadzonym przez Noama Sobela i jego współpracownika Jessa Portera, w którym modelowano ludzką zdolność śledzenia zapachów na wzór odpowiedniej zdolności psów¹⁵. Trzydziestu dwóch wygłodniałych studentów Uniwersytetu Kalifornijskiego w Berkeley miało odszukać po zapachu czekoladę. Aby studenci kierowali się tylko węchem, a nie innymi sygnałami, badacze pozbawili ich dostępu do innych informacji zmysłowych (za pomocą przepasek na oczy, rękawic, nakolanników itd.). Czynności podejmowane przez badanych podczas śledzenia zapachów zostały porównane do zachowania psa podążającego za tropem bażanta. Studenci wykazywali zachowanie śledzące podobne do zachowania psa, gdy odnajduje drogę za pomocą zataczania kręgów nad tropem. Dodatkowo, im więcej nabierali wprawy, tym sprawniej i szybciej wykonywali zadanie!

Twierdzenie, że ludzki nos dorównuje psiemu, byłoby przedwcześnie. Alexandra Horowitz jest kognitywistką pracującą w Bernard College w Nowym Jorku¹⁶. Komentuje: „Spróbujmy porównać naukowca badającego węch i rozmyślającego o tych sprawach każdego dnia z psem poszukiwawczo-ratowniczym”. Horowitz śmieje się, po czym kontynuuje bardziej poważnie: „Mnie interesuje zachowanie. Co robią ludzie ze

swoimi nosami? Co robią psy ze swoimi? Ludzie nie wykorzystują głównie wąchania ortonosowego – w przeciwieństwie do psów. Jeśli przyjrzymy się bardzo sprawnym psom, które zostały przeszkolone – nie do tego, by lepiej wyczuwać zapachy, ale do tego, by były zmotywowane do wykonywania wyznaczonych zadań węchowych i informowania nas, gdy znajdą rzecz, którą miały odszukać – to okazuje się, że są bezkonkurencyjne”.

Horowitz przestrzega przed wyciąganiem zbyt daleko idących wniosków z badania Sobela. „Eksperyment badaczy z Berkeley ma kilka interesujących cech. Jedną jest to, że wyznaczony przez nich ślad utrzymywał się na powierzchni. Innymi słowy, sznurek nasączony zapachem czekolady – łatwym do rozpoznania dla typowego nosa – rozciągnęli w trawie. I sznurek ten – źródło odorantu – po prostu tam leżał. A zatem źródło było stale obecne w trawie, co odbiega od sytuacji psa śledzącego zapachy *pozostawione* przez źródło. Oczywiście wydzielone cząsteczki wiszą w powietrzu – inaczej pies niczego by nie wykrył. W jego przypadku jednak źródło cząstek już zniknęło. To jest zasadnicza sprawa. Tak więc bardziej użyteczne byłoby położenie sznurka, a następnie *zabranie go* – gdyż wtedy badani musieliby wykryć ślad pozostawiony przez źródło, a nie samo źródło”.

Horowitz zwróciła także uwagę na różnice w czasie reakcji między psami i ludźmi. „Wielu badanym udało się odnaleźć czekoladę, ale zabrało im to mnóstwo czasu. Cała droga zabierała wiele minut, chyba do 14 minut – o ile w ogóle danemu uczestnikowi badania udało się ją pokonać... o ile nie zrezygnował”. Niezależnie jednak od tego jej zdaniem „kluczowe jest to, że [uczestnicy] robili postępy, co dowodzi tego, że możemy skutecznie używać naszego nosa. Ćwiczenie czyni mistrza, co potwierdzi każdy perfumiarz... Niemniej aparat węchowy psa znacznie góruje nad naszym. Naturalne psie zachowanie odbiega się od ludzkiego. Wydaje mi się, że istnieje niewątpliwa różnica między psami i ludźmi”.

Nie jest tak ważne, czy wypadamy równie dobrze, prawie równie dobrze, czy nieco gorzej w porównaniu z psami. Rozstrzygające jest to, że ludzie mają zdumiewająco dobrze rozwiniętą zdolność wykrywania i śledzenia zapachów. Różnica polega na tym, że rzadko wykonują zadania związane z podążaniem za tropem; rzadko pełzają po ziemi na czworaka. A to tam zaczynają się wszystkie zapachy: większość odorantów utrzymuje się blisko powierzchni przedmiotów.

Zasadnicze znaczenie dla zachowania przestrzennego opartego na węchu ma ruch. Jest to ucieleśniona eksploracja stosunków odległości między źródłami zapachów i wążającym¹⁷. W przeciwieństwie do przetwarzania sygnałów z innych zmysłów odległości niewycwiczony mózg nie jest w stanie ocenić wymiarów przestrzennych źródła zapachu z większej odległości (tak jak jest w stanie ocenić opóźnienie czasowe sygnału dźwiękowego, który zależy od bodźców o regularnym zachowaniu przestrzenno-czasowym). W przypadku węchu mózg odbiera informacje o odległości od źródła dzięki temu, że nos znajduje się w bliskim kontakcie z bodźcem, a wążający porusza się wzdłuż gradientu koncentracji, co oznacza rozkład koncentracji chemicznej chmury zapachowej.

Obliczenie tej interakcji wymaga uwzględnienia wymiaru czasowego. Finger dodaje: „By dość do obiektu, trzeba podążać za tropem. Tymczasem w przypadku widzenia i smaku od razu wiemy, gdzie znajduje się obiekt. Moim zdaniem w doznaniu węchowym musi występować znacznie więcej integracji czasowej, by dało się uzyskać jakieś informacje przestrzenne”. Aina Puce odpowiada, że węch „jest podobny do słuchu pod pewnymi względami, gdzie bodziec musi się rozwijać w czasie, jeśli ma zostać rozpoznany”.

Myślenie o postrzeganiu podkreślające tego rodzaju aktywność sensomotoryczną zyskało wsparcie w tak zwanych ekologicznych teoriach postrzegania. Teorie te rozwijał James J. Gibson w latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych¹⁸. Po

nim pałeczkę przejęli biolodzy Francisco Varela i Humberto Maturana w latach dziewięćdziesiątych¹⁹. Współcześnie teorie te występują w debacie filozoficznej w rozlicznych odmianach²⁰. Pomijając wszystkie intelektualne różnice, zwolennicy tych teorii przestrzegają przed milczącym oddzielaniem w analizie postrzegania od ciała i środowiska. To, jak zbudowany jest organizm i jakiego rodzaju działania zdolny jest wykonywać, w fundamentalny sposób wpływa na treść postrzegania. Dlatego informacje zmysłowe i wykonywane ruchy muszą być uważane za sprzężone ze sobą oraz analizowane równolegle (choć istnieją znaczne różnice zdań co do dokładnej definicji takiego sprzężenia). Ciało postrzegającego powstało na drodze ewolucji po to, by dokonywało postrzeżeń w zorientowanej na eksplorację interakcji organizmu ze środowiskiem. Głównym zadaniem zmysłów jest bycie niezawodnym przewodnikiem w decyzjach podejmowanych przez organizm. Z tego powodu czynniki biologiczne mają istotny wpływ na to, jak zewnętrzna informacja jest najpierw zdobywana, a następnie przekształcana w treść percepcyjną.

Zachowanie w znacznym stopniu wyznacza to, w jaki sposób informacja dociera do mózgu i jest przetwarzana. Oczywiście mózg jest częścią ciała; do jego głównych funkcji należy koordynacja i integracja sygnałów cielesnych. Wąchanie stanowi doskonały przykład na to, jak zachowanie wpływa na przetwarzanie w ośrodkowym układzie nerwowym, ponieważ zarządza oscylacyjnym rytmem aktywności mózgowej. Oscylacje neuronowe powodowane są przez zmiany potencjału na błonie w procesie przekazywania sygnałów, co można mierzyć za pomocą elektroencefalografii (EEG). Oscylacje te odzwierciedlają aktywność populacji neuronów, a fluktuacje odpowiadają naprzemiennym fazom wysokiego i niskiego pobudzenia. Te zmiany stanów leżą u podstaw selekcji informacji wejściowej. Wysokie stany pobudzenia sprzyjają wykrywaniu szczególnego rodzaju informacji; niskie stany pobudzenia tłumią wykrywanie tego samego rodzaju informacji²¹.

Wąchanie wpływa na to, jak zazębiają się rytmy oscylacyjne w powiązanych obszarach mózgu²². Don Wilson wyjaśnia: „Wiadomo, że oddychanie stymuluje oscylacje w układzie węchowym”. Stymulacja odnosi się do koordynacji w czasie aktywności neuronowej, na przykład synchronizacji różnych populacji neuronów. „Są to oscylacje stymulowane przez oddychanie”. Wilson przywołuje niedawne badanie przeprowadzone przez Gottfrieda i jego współpracowniczkę Christinę Zelano²³.

Gdy oddychamy, aktywność we wszystkich tych obszarach rozwija się synchronicznie z oddychaniem. Nie jest to dominująca zależność, ale wystarczająco silna, by dała się rejestrować. Wiemy, że układ węchowy jest mocno powiązany z hipokamperem i ciałem migdałowatym, a są to obszary istotne dla różnych typów pamięci. Stymulacja oddechowa jest pomocna; tak więc przy oddychaniu czynność wdychania i wąchania wiąże ze sobą te różne obszary mózgu, a ja czuję zapach. Po prostu w tym samym czasie włączyłem hipokamp i ciało migdałowate, a one budują rozległą kontekstową reprezentację zapachu.

Dalsze badania na drodze rejestracji aktywności komórkowej potwierdziły istnienie dynamicznych związków między wąchaniem i zmianami stanów reakcji, w tym niewątpliwej zależności między celowym wąchaniem i uczeniem się zapachów²⁴. Nierozstrzygnięta pozostaje jednak kwestia, w jakiej mierze wąchanie wpływa na intensywność²⁵. W każdym razie stymulacja oscylacyjna stanowi kluczowy mechanizm, w którym ruch zachodzący w nosie kształtuje przetwarzanie informacji w mózgu.

Jak oscylacje mogą oddziaływać na treść percepcyjną? Rytmy oscylacyjne stanowią formę próbkowania, które polega na tym, że sygnały wejściowe są pobierane w procesie „cyklu percepcyjnego”. Termin ten stworzył w 1976 roku psycholog poznawczy Ulric Neisser. Neisser opisywał postrzeganie jako zachodzący w mózgu cykliczny proces filtrowania

informacji wejściowej przez schematy przeszukiwania²⁶. Na-przemienne fazy oscylacyjne odzwierciedlają okresowe prób-kowanie sygnałów zmysłowych i zarządzają reaktywnością po-szczególnych obszarów mózgowych, w tym ich wzajemnymi po-łączeniami. W każdym momencie rywalizuje ze sobą kilka populacji neuronów. Mózg jest więc utrzymywany w gotowo-ści przez własny mechanizm selekcji sygnałów.

Mózg nie jest jednorodną strukturą, ale układem kilku skoordynowanych modułów. Można powiedzieć, że mózg nieustannie rywalizuje sam ze sobą. Populacje neuronów uczestniczą w ciągłym zmaganiu o to, która z nich przekro-czy próg uwagi. Ale uwaga stanowi ograniczony zasób. Cykle percepcyjne są więc mechanizmem aktywnej selekcji pozwa-lającym uniknąć kolejki sygnałów czekających na przetworze-nie. Różne czynniki behawioralne, takie jak wążchanie, mogą zmieniać rytm oscylacji w cyklach percepcyjnych.

To sprzężenie postrzegania z aktywnością motoryczną leży u samych podstaw tworzenia treści percepcyjnej i decy-duje o tym, jakie sygnały będą przetwarzane, a nawet co się pojawi w świadomości. Idea aktywnego odczuwania nie jest nowa; w XIX wieku lekarz Hermann von Helmholtz sformu-łował podobną zasadę w swojej teorii ideomotorycznej²⁷. No-woczesne są tylko środki badania tego sprzężenia i jego do-kładnego wpływu na tworzenie się doznań.

Dlaczego obrazy węchowe nie mają wyraźnych właści-wości przestrzennych jak obiekty wzrokowe, skoro węch rów-nież ma wpływ na zachowania przestrzenne? Pytanie to do-tyka istoty tego, co powinno definiować refleksję na temat postrzegania, jeśli ma ona być czymś więcej niż teorią widze-nia. Wymiary i cechy obiektów percepcyjnych, w tym ich gra-nice czy określoność, są właściwościami obliczeniowymi. Sta-nowią one rezultat topologii neuronowej – to znaczy wynikają z tego, jak informacja przekazywana przez sygnały neuronowe jest integrowana i formatowana. Węch nie oblicza jednak za-pachów w sposób topograficzny, jak wzrok lub słuch.