

# Wszystkie barwy świata . . .

Już przed przeszło 115 laty Karol Darwin opisał zanik ruchu liści w kierunku światła (słońca) w pewnych warunkach doświadczalnych. Ruch ten, zwany heliotropizmem, w warunkach normalnych jest dość powszechny i może być łatwo obserwowany w ciągu doby. Doświadczenie polegało na przepuszczaniu światła słonecznego, wnikającego do pomieszczenia, gdzie były umieszczone rośliny, przez roztwór dwuchromianu potasu. W docierającym do roślin świetle wyeliminowano ze spektrum promieniowania komponent niebieski (400 – 500 nm).

Jak się niebawem okaże, zjawisko szczególnej wrażliwości na światło niebieskie dotyczy także świata zwierząt na różnych szczeblach rozwoju ewolucyjnego (od muszki owocowej po zwierzęta kręgowo i człowieka). Dopiero teraz poznajemy głębszy sens i mechanizm wrażliwości świata roślin i zwierząt na światło niebieskie. W znacznej mierze są to odkrycia ostatnich 3 lat i poza olbrzymim znaczeniem teoretycznym mogą mieć liczne zastosowania praktyczne w życiu człowieka.

Odkrycie roli kryptochromów wydaje się być ważne dla regulacji rytmiki okołodobowej u ludzi z upośledzoną percepcją wzrokową.

Mimo braku funkcji widzenia, percepcja zmian natężenia światła zezwala na lepszą synchronizację psychosocjalną, ułatwiając pełnienie różnych ról społecznych w życiu zawodowym i rodzinnym.

Receptory światła zlokalizowane są w siatkówce oka zarówno u człowieka, jak i u większości zwierząt kręgowych. Receptory te występują głównie w dwójakiego rodzaju komórkach wzrokowych: pręcikonośnych i czopkonośnych. Budowa obu rodzajów komórek jest podobna z wyjątkiem właściwego dla nich fotoreceptora.

W komórkach pręcikonośnych, których jest 20-krotnie więcej niż komórek czopkonośnych, występuje receptor światła pręcik. Reakcja komórki pręcikonośnej na światło jest kilkietapową reakcją chemiczną, a podstawową rolę odgrywa tu białko rodopsyna (purpura wzrokowa) i pochodna witaminy A (11-cis retinal). Pod wpływem absorpcji kwantu promieniowania świetlnego rodopsyna ulega aktywacji. Aktywna rodopsyna inicjuje kaskadę reakcji chemicznych, na połączeniach nerwowych komórek pręcikonośnych uwalniają się neuroprzekazniki, informacja o ekspozycji na światło zostaje przekazana drogą nerwową do ośrodkowego układu nerwowego. Inaktywacja rodopsyny (dołączenie grupy fosforanowej) zatrzymuje reakcje chemiczne, a „zużyta” rodopsyna ulega odnowieniu ponownie do rodopsyny i 11-cis retinalu.

Receptorem światła (a ściślej biorąc barwy) w komórkach czopkonośnych są czopki, w skład których wchodzi białka absorbujące promieniowanie świetlne – opsyny, połączone jak rodopsyna w komórkach pręcikonośnych – także z pochodną witaminy A – 11-cis-retinalem. U ludzi prawidłowo rozpoznających barwy wyróżnia się trzy rodzaje barwników występujących w czopkach. Są to:

- czopki niebieskie zawierające niebieski barwnik wzrokowy – absorbujące światło o długości fali 420 nm;
- czopki zielone – absorbujące światło o długości fali 530 nm;
- czopki czerwone – absorbujące światło o długości 560 nm.

Na rysunku 1 zestawiono widma absorpcji światła 4 rodzajów barwników wzrokowych (3-czopkowych i pręcikowego).

Tylko czopki niebieskie są wrażliwe na światło do 500 nm, powyżej tej długości w przeciwieństwie do dwóch pozostałych rodzajów czopków wzrokowych są niewrażliwe na światło.

Jak wpisano w tytuł, za Isaakiem Newtonem, wszystkie barwy świata to mieszanie się światła monochromatycznych: niebieskiego, zielonego i czerwonego. Mechanizm kodowania kolorów przez komórki czopkonośne jest bardzo skomplikowany, dla porządku podajmy, że zapewne wymaga to udziału innych komórek nerwowych występujących w siatkówce. Schemat budowy siatkówki przedstawia rys. 2.

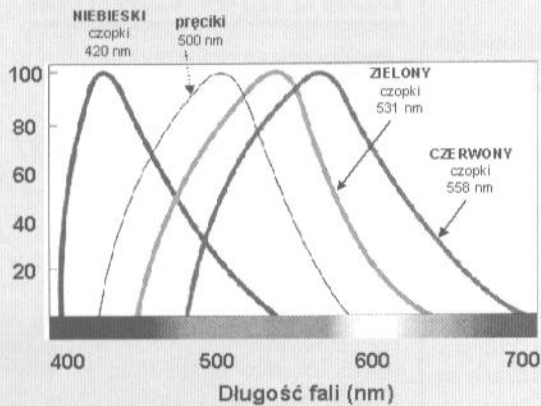
W doborze pracowników do pewnych zawodów zwraca się uwagę na prawidłowe rozpoznawanie kolorów. Wada wzroku popularnie nazywana *daltonizmem* ma oznaczać nierozpoznawanie kolorów – zwłaszcza czerwonego i zielonego. W lekarskich przepisach orzecznich, takich zawodów jak piloci samolotów, maszyniści pojazdów trakcyjnych, nierozróżnianie kolorów jest wadą dyskwalifikującą do zawodu. Osoby prawidłowo widzące barwy to trójchromatycy, dysponujący 3 rodzajami barwników wzrokowych. Zależnie od defektu genetycznego mogą występować różne postaci „daltonizmu”. Najrzadszą postacią tej wady wzroku jest nierozróżnianie barwy niebieskiej.

Droga wzrokowa, przekazująca odbiór zewnętrznego świata, wrażenia wizualne, kończy się w płacie potylicznym kory mózgowej.

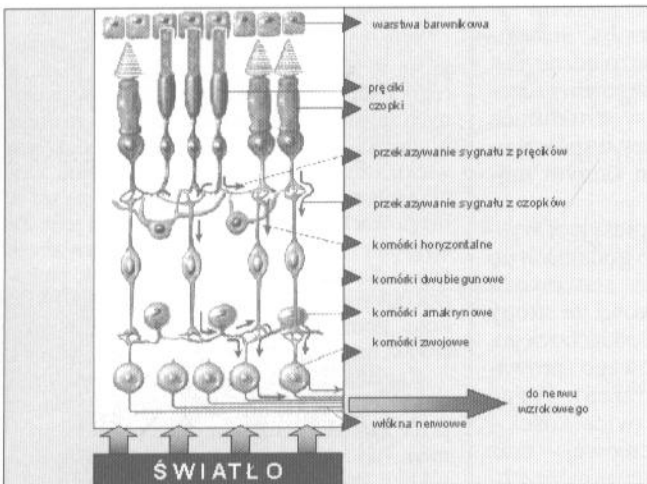
Poza odbiorem wrażeń wzrokowych, światło jest niezwykle ważnym regulatorem procesów fizjologicznych i behawioralnych u ssaków. Natężenie światła naturalnego jest sygnałem informującym o porze doby, światło wpływa na przebieg okołodobowych rytmów biologicznych.

W latach czterdziestych niemiecki fizjolog – okulista Hollwich – wykazał istnienie bezpośrednich połączeń nerwowych siatkówki z ośrodkowym układem nerwowym, dokładnie z jądraми nerwowymi podwzgórze. Nazwał je szlakiem siatkówkowo-podwzgórzowym – częścią energetyczną drogi wzrokowej.

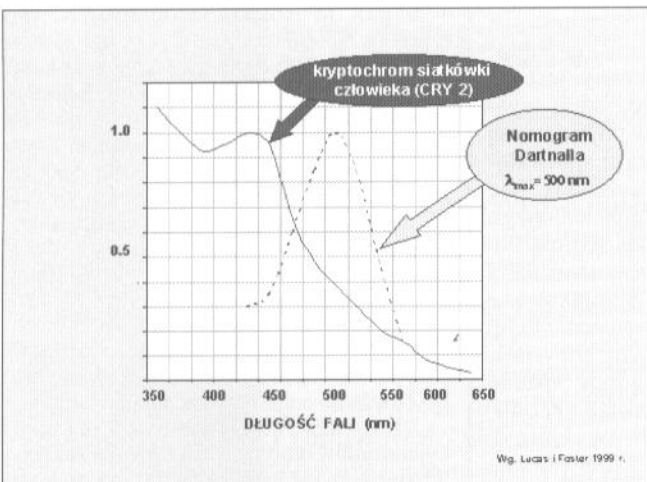
Od dawna zastanawiano się, jak wygląda regulacja rytmów okołodobowych u osób pozbawionych wzroku. Osoby te, mimo że nawet nie miały poczucia światła, potrafiły przystosowywać się do utrzymywania rytmu życia zgodnego z rytmem dzień – noc. W eksperymentach wykluczano udział synchronizatora socjalnego (pory posiłków, aktywność w ciągu dnia, życie rodzinne itp.). To przystosowanie było niemożliwe u osób, u których powodem



Rys. 1. Widma absorpcji barwników wzrokowych. Rodopsyna (purpura wzrokowa) występuje wyłącznie w pręcikach. Pozostałe barwniki zawarte są w czopkach (jodopsyny)



Rys. 2. Schemat budowy mikroskopowej siatkówki. Na rysunku zaznaczono komórki horizontalne – ważne przy kodowaniu kolorów większej powierzchni siatkówki. Komórki amakrynowe odpowiadają mają za widzenie światła o niewielkim natężeniu (świt i zmrok)



Rys. 3. Widma absorpcji kryptochromu 2 (CRY 2) człowieka

kalectwa było przerwanie nerwów wzrokowych lub brak gałek ocznych.

Postępem w badaniach nad rolą światła u niewidomych były badania doświadczalne prowadzone na myszach mutantach – genetycznie pozbawionych pręcików i zielonych czopków. U myszy tych, mimo że zwierzęta praktycznie były niewidome, światło wywierało wpływ synchronizujący na rytmikę dobową (żerowanie nocą, sen w porze dnia). Kolejne doświadczenia nad zwierzętami, całkowicie pozbawionymi barwników wzrokowych w siatkówce oka (pręcikowych i czopkowych), wskazywały na przekazywanie informacji o zmianach faz oświetlenia. Zwierzęta nadal wykazywały rytmikę dobową czynności życiowych, którą znosiło dopiero usunięcie operacyjne gałek ocznych. W licznych kolejnych badaniach doświadczalnych wykazano, że czopki i/lub pręciki nie są niezbędne do synchronizacji rytmów okołodobowych.

Powstało więc otwarte pytanie – jakie struktury morfologiczne lub związki chemiczne znajdujące się w siatkówce, mogą pełnić rolę receptora światła niezwiązanego z widzeniem a związanego z regulacją rytmów okołodobowych?

Możliwe do rozpatrzenia są dwie sytuacje:

- w siatkówce oka znajdują się inne, niezidentyfikowane poprzednio fotopigmenty z grupy opsyn,
- fotoreceptory wykorzystujące jeszcze nieznanne procesy fotorecepcyjne.

Z początkiem lat 90. wykryto barwniki absorbujące światło w roślinach, nazwano je kryptochromami. Szczegółowo opisano geny i generowane przez nie białka absorbujące światło niebieskie i wyróżniono kryptochromy 1 i 2 (CRY1 i CRY2). Pełnym zaskoczeniem było odkrycie identycznego barwnika absorbującego światło niebieskie u ssaków (myszy). Ekspresję CRY1 i CRY2 wykazano w siatkówce, dokładnie w komórkach zwojowych, z których część wyprowadza swoje włókna osiowe do drogi siatkówkowo-podwzgórzowej, a stąd do podwzgórza. Obecność CRY1 i CRY2 wykazano także w płucach, sercu, wątrobie, mięśniach, nerkach, jądrach i mózgu. Jeżeli założyć, że CRY1 i CRY2 obecne w podwzgórzu odpowiadają za synchronizację całego układu okołodobowego, to ich rola w pozostałych narządach nie jest ostatecznie jasna, choć może również być związana z synchronizacją rytmiki tych narządów.

Na rys. 3 przedstawiono właściwości absorpcyjne jednego z kryptochromów.

Reasumując, rola nowo odkrytych receptorów światła niebieskiego może sprowadzać się do następujących faktów:

- kryptochromy pełnią dodatkową rolę wprowadzania informacji o świetle, w zakresie niebieskiej części widma światła, do układu kontroli rytmów okołodobowych;
- pierwiastkową rolę w detekcji światła pełnią fotopigmenty czopków i pręcików, dopiero w razie braku tych fotoreceptorów wtórna rola przypadłaby kryptochromom.

Sprawa jest niezwykle ważna z punktu widzenia niepełnosprawności percepcji wzrokowej u osób niewidzących lub słabowidzących. Naturalna ekspozycja na światło może być dla nich istotnym czynnikiem synchronizacji społecznej. W naturalnej lub sztucznej ekspozycji na światło ważny staje się udział niebieskiej komponenty widma światła.

U pracowników zmianowych, u osób zmieniających nagle strefy czasu (podróżujących samolotami) powstają nowe możliwości synchronizacji rytmów okołodobowych do nowych warunków środowiskowych.