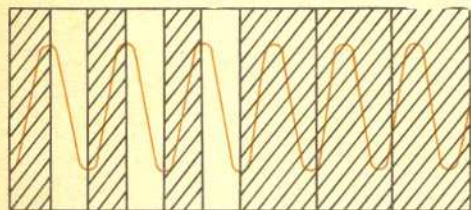


Doc. dr Bronisław CYMBOROWSKI

W ostatnim trzydziestolecu obserwuje się niezwykle duże zainteresowanie biologów zjawiskiem „mierzenia” czasu przez organizmy żywe — zegarem biologicznym. Powstała nowa dziedzina nauk przyrodniczych — chronobiologia. Najogólniej rzecz ujmując zajmuje się ona strukturą czasu biologicznego, w którego zakres wchodzi najróżniejsze adaptacje organizmów do warunków środowiskowych z uwzględnieniem czynnika czasowego.

Ludzie niewątpliwie dawno zadawali sobie pytanie, jak to się dzieje, że na przykład różne gatunki kwiatów nie tylko zakwitają w określonych porach roku, ale także o różnych porach dnia? Po raz pierwszy zjawisko to zostało praktycznie wykorzystane w latach trzydziestych XVIII wieku do „zbudowania” przez Linneusza w Uppsali zegara kwiatowego. To samo odnosiło się do świata zwierzęcego. Obserwowano przecież cykliczne zmiany ich zachowania się, w tym przede wszystkim snu i aktywności. Oczywiście uważano, że ludzie i zwierzęta dlatego po pewnym czasie pragną spoczynku, że zapada ciemność. Tymczasem późniejsze doświadczenia przeprowadzone na roślinach i zwierzętach trzymanyh w tak zwanych warunkach stałych, a więc stałego oświetlenia lub stałej ciemności, stałej temperaturze i wilgotności dowiodły, że dobowy rytmika np. ruchów liści lub aktywności lokomotorycznej zwierząt ciągle istnieje (rys. 1). Oczywiście różni się nieco od rytmiki, jaką wykazują te organizmy



Rys. 1. Wykres dobowych ruchów liści fasoli. Przez pierwsze trzy dni ruchy liści rejestrowano w warunkach 12 godz. światła i 12 godz. ciemności. Po zastosowaniu stałej ciemności rytm ciągle istnieje, z tym że jego szczyty ulegają przesunięciu (ujawnia się rytm okołodobowy).

w warunkach zmieniającego się dnia i nocy, a więc w obecności wskaźnika czasu (Zeitgeber). Różnice te dotyczą długości okresu rytmu, który w stałych warunkach jest krótszy lub dłuższy od 24 godzin (stąd rytmy te nazywają się rytmami okołodobowymi) oraz jego relacji w stosunku do czasu lokalnego. Doskonale to ilustruje zapis aktywności lokomotorycznej świerszcza domowego (rys. 2). Przez pierwsze 6 dni aktywność ruchową tego owada rejestrowano w warunkach 12 godzin dnia i 12 godzin nocy (wyłączanie światła następowało o godz. 18.00).

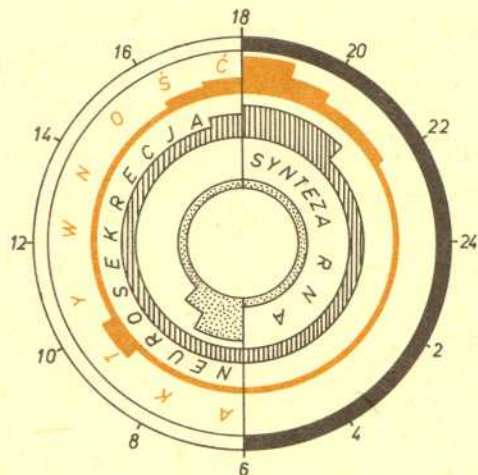


Rys. 2. Zapis aktywności lokomotorycznej świerszcza domowego. Przez pierwsze 6 dni aktywności rejestrowano w warunkach 12 godz. światła i 12 godz. ciemności (LD 12:12) w pozostałym okresie stosowano stałą ciemność (DD).

W takich warunkach owad ten rozpoczynał wzmoczoną aktywność lokomotoryczną wkrótce po nastaniu ciemności (pionowe kreski to poszczególne ruchy owada). Siódmego dnia zastosowano stałą ciemność. Mimo tego owad nie utracił swego rytmu, z tym że jego okres był nieco krótszy od 24 godzin i z dnia na dzień zaznaczała się coraz większa zmiana początku aktywności ruchowej.

Zdaniem chronobiologów taki przebieg rytmiki dobowej w warunkach stałych świadczy niewątpliwie o fakcie istnienia wewnętrznego (endogennego) mechanizmu odmierzającego czas. Chociaż należy tutaj zaznaczyć, że zdaniem innych badaczy (np. Browna) może to świadczyć o reakcji organizmu na rytmicznie zmieniające się czynniki geofizyczne, takie jak: promieniowanie kosmiczne, pole magnetyczne, elektromagnetyczne itp. Przy braku bardzo silnego synchronizatora rytmiki, jakim jest rytmiczna zmiana światła i ciemności, działanie słabych czynników geofizycznych miałyby się właśnie tak objawiać, jak to przedstawia rys. 2. Jednakże teza ta ma nielicznych zwolenników, a jej udowodnienie nastęrcza wiele problemów — dowody są zwykle natury pośredniej.

W przeciwieństwie do egzogennej koncepcji zegara biologicznego jego charakter endogeny wydaje się być w pełni udowodniony. Zilustruję to wynikami badań, które przeprowadziłem na owadach. Otóż udało się stwierdzić, że w mózgu owadów (np. wspomnianych już świerszczy, karaluchów czy muszek owocowych) istnieje ośrodek, w którym prawdopodobnie jest zlokalizowany zegar biologiczny kontrolujący przynajmniej okołodobową rytmikę aktywności lokomotorycznej. Ośrodkiem tym jest tzw. międzymózgowie (*pars intercerebralis*), w którym są zlokalizowane komórki neurosekrecyjne. Wiele procesów biochemicznych tych komórek odbywa się w rytmie 24-godzinny.



Rys. 3 Rytm dobowy syntezy RNA oraz gromadzenia i uwalniania neurosekrety w komórkach neurosekrecyjnych mózgu świerszczy domowych hodowanych w warunkach 12 godz. światła i 12 godz. ciemności (pierścień zewnętrzny). Uwagę zwraca fakt zahamowania aktywności ruchowej po uwolnieniu neurosekrety do hemolimy owada.

RNA — kwas rybonukleinowy — niezbędny przy syntezie białek (hormonów). Przenosi on i tłumaczy informację genetyczną zawartą w DNA na język aminokwasów (podstawowych jednostek białka). Wzmoczona produkcja białka (w tym przypadku hormonu wydzielanego przez komórki układu nerwowego — proces neurosekrecji) musi być poprzedzona silną syntezą RNA.

Hemolimfa — ciecz krążąca w jamie owadów, składająca się z płynnego osocza i zawieszonych w nim komórek. W odróżnieniu od „normalnej” krwi nie zawiera ona nośników tlenu (barwników oddechowych) i nie uczestniczy zatem w transporcie  $O_2$  w organizmie (pełniąc poza tym inne funkcje krwi — integracja biochemiczna tkanek, procesy odpornościowe itd.).

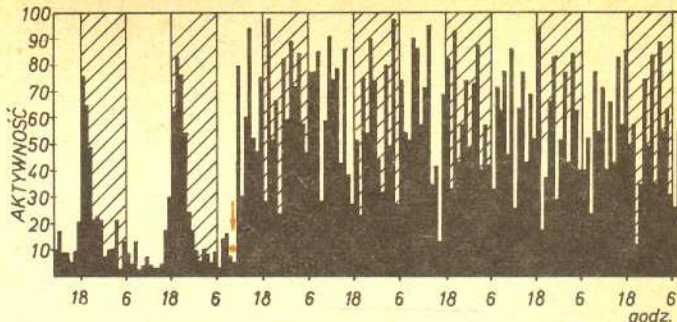
Na przykład u świerszczy hodowanych w warunkach 12 godz. światła i 12 godz. ciemności na dobę obserwuje się rytmiczną syntezę RNA oraz gromadzenia i uwalniania do hemolimfy substancji białkowej zwanej neurosekretem (patrz rys. 3). Moment zapalenia światła (godz. 6.00) stymuluje syntezę RNA włączając tym samym cały cykl przemian biochemicznych prowadzących do nagromadzenia, a następnie uwolnienia neurosekretu z tych komórek.

Oczywiście wykazanie, że w jakimś ośrodku układu nerwowego obserwuje się procesy rytmiczne, nie jest jednoznaczne ze stwierdzeniem, że tam właśnie znajduje się zegar biologiczny kontrolujący rytmikę aktywności lokomotorycznej. Ale dowodem takim może już być fakt, że zniszczenie tych komórek w mózgu świerszczy prowadzi do utraty dobowej rytmiki aktywności ruchowej; co istotnie stwierdziłem na podstawie wielu tego typu doświadczeń (rys. 4). Oprócz utraty rytmu owady takie wykazują wzmózoną aktywność lokomotoryczną. Można więc przypuszczać, że rytm aktywności ciągle istnieje, tylko jest on niejako maskowany.

Dalsze doświadczenia obalają i tę wątpliwość. A mianowicie, jeżeli owadom, którym uprzednio zniszczono wspomniane komórki neurosekrecyjne, i które są hyperaktywne, implantuje się mózg z nienaruszonymi komórkami od dawców rytmicznych, to przestają one być hyperaktywne i przez kilka dni są rytmiczne. Wyniki tych doświadczeń zamieszczone są w tabeli. Przy czym dla uzyskania pełniejszych dowodów dawcami mózgow były dwie grupy owadów: takie, które w warunkach stałych wykazywały rytmikę o okresie krótszym od 24 godzin (K—R) lub dłuższym (D—R).

Aktywność ruchowa świerszczy nierytmicznych po implantacji mózgu od dwóch typów dawców: K—R i D—R

Dawca mózgu	Liczba doświadczeń	Liczba rytmicznych biorców	Okres rytmu w godz.
K—R	12	7	23 ± 0,8
D—R	8	5	25 ± 0,6
kontrola	9	0	—



Rys. 4 Wpływ usunięcia komórek neurosekrecyjnych mózgu (strzałka) na aktywność lokomotoryczną świerszczy. Zwraca uwagę utrata rytmu oraz hyperaktywność. Pola zakreskowane to okresy ciemności.

Kontrolę stanowiły owady, którym implantowano mózg po uprzednim zniszczeniu jego komórek neurosekrecyjnych. W żadnym z tych przypadków nie stwierdzono po takiej implantacji powrotu do rytmu dobowej aktywności lokomotorycznej.

I tak krok po kroku udaje się precyzować pojęcie zegara biologicznego. Przynajmniej w odniesieniu do niektórych owadów nie jest to już mgliste pojęcie zakładające właściwość całego organizmu, ale istnieje on realnie w określonych komórkach mózgu dających się nawet przetransplantować z jednego organizmu do drugiego. Pozwala to oczywiście badać mechanizm jego oddziaływania na inne komórki ustroju. Już te pierwsze doświadczenia sugerują, że funkcjonuje on na zasadzie rytmicznego uwalniania do hemolimfy owada neurosekretu, który wywiera hamujące działanie na aktywność lokomotoryczną. Oczywiście powstaje natychmiast wiele nowych pytań. Chociażby takie, czy jest to działanie bezpośrednie na połączenia nerwowo-mięśniowe (płytki motoryczne), czy też neurosekret działa na jakieś inne ośrodki występujące w układzie nerwowym owada, a te z kolei na te właśnie połączenia. Zresztą podobnych pytań powstaje znacznie więcej. Niewątpliwie dalsze intensywne badania w tym zakresie dostarczą na nie odpowiedzi.

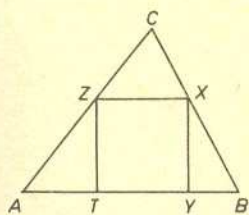
## Geometria ruchu, czyli metoda figur podobnych

Zadanie: w trójkąt wpisać kwadrat (rys. 1) najlepiej rozwiązać tak. Narysować kwadrat mniejszy, jak na rys. 2 i wyobrazić sobie, że powiększa się on w ten sposób, że podstawa ślizga się po podstawie danego trójkąta, a wierzchołek po ramieniu (rys. 3). W pewnym momencie czwarty wierzchołek kwadratu dotknie trzeciego boku trójkąta i zadanie prawie rozwiązane.

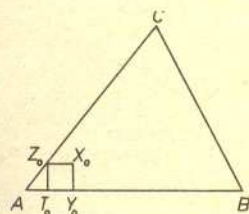
„Prawie”, bo jeszcze trzeba wyznaczyć ów moment. Ale to proste. Opisane powiększanie kwadratu, to zbiór jednokładności o środku w wierzchołku  $A$  trójkąta i zmiennym współczynniku. Dla jakiego współczynnika  $t$  wierzchołek padnie na  $BC$ ? Oczywiście dla  $t = \frac{AX}{AX_0}$ . Możemy teraz wyznaczyć  $t$  rachunkowo lub konstrukcyjnie, zależnie od polecenia w zadaniu. Zresztą teraz widoczne już jest, że szukany kwadrat otrzymamy rysując  $ZX$  równoległe, a  $ZT$  oraz  $XY$  prostopadłe do podstawy  $AB$ .

A oto jeszcze dwa zadania, które łatwo rozwiązuje się metodą figur podobnych (a trudno jakkolwiek inną):

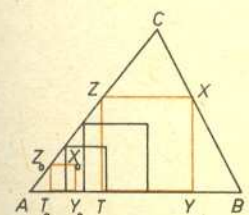
1. W dany trójkąt wpisać dwa okręgi styczne o równych promieniach styczne do boków trójkąta jak na rysunku 4. Do rozwiązania wystarczy zauważyć, że trzeba tylko wpisać prostokąt  $2 \times 1$  w trójkąt utworzony przez podstawę i dwie dwusieczne.
2. Skonstruować okrąg przechodzący przez dwa dane punkty i styczny do danej prostej (rys. 5).



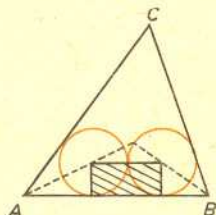
Rys. 1



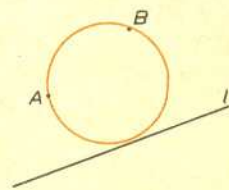
Rys. 2



Rys. 3



Rys. 4



Rys. 5