

NEUROBIOLOGIA BEHAWIORU SEKSUALNEGO

Jerzy Vetulani (Kraków)



Seks jest jednym z najbardziej interesujących aspektów życia, a równocześnie – z punktu widzenia ewolucji – aspektem najważniejszym. Biologicznym celem naszej egzystencji, podobnie jak i egzystencji jakichkolwiek istot żywych, jest zapewnienie nieśmiertelności naszemu genom. Organizm nasz to jedynie nośnik genów, ukształtowany według ich instrukcji. Jako indywidualne nośniki genów, ze względu na naszą nietrwałość, nie jesteśmy w stanie zapewnić genom nieśmiertelności, musimy więc zapewnić im przepływ w następne pokolenia. Rozmnażanie płciowe jest wypracowaną przez ewolucję skuteczną strategią unieśmiertelniania materiału genetycznego. W rozmnażaniu tym biorą udział dwie płci, których rola u organizmów wyższych jest różna: samice dużym kosztem własnym budują nośnik genomu, czyli potomstwo i często o nie dbają, samce zaś dostarczają tylko dodatkowy materiał genetyczny, i często o potomstwo nie dbają.

Strategie seksualne samic i samców

Strategie seksualne obu płci mają na celu maksymalne zwiększenie liczby przekazanych genów, a więc uzyskanie jak najliczniejszego potomstwa. Są one jednak zasadniczo odmienne – samiec produkuje praktycznie nieograniczoną liczbę gamet, natomiast u samicy możliwości są dość ograniczone, zwłaszcza u ssaków. Tak więc strategią seksualną samca jest zapłodnienie możliwie największej liczby samic, gdyż to daje szansę, że wśród liczego potomstwa, w które nie trzeba inwestować, znajdą się wspaniałe córki i synowie. Samica ponosi wielki wysiłek przy generowaniu potomstwa – każde dziecko jest ważne i musi być możliwie najlepsze. Stąd w poszukiwaniu partnerek samiec idzie na ilość, natomiast w wyborze partnerów samica idzie na jakość. Stąd samica jest bardziej wybredna niż samiec w doborze partnera, a samiec musi się bardziej starać, aby samica go wybrała. Samiec jest więc z reguły większy, silniejszy i ma atrakcyjniejszy wygląd niż samica, chociaż biologicznie jest płcią słabszą. Jest też biologicznie mniej cenny. Potencjał reprodukcyjny stada składającego się z 20 samców i 20 samic nie spadnie, nawet jeżeli 17 samców zginie. Śmierć każdej samicy

zmniejsza potencjał reprodukcyjny tego stada o 5%. Stąd też ewolucyjnie ukształtowały się odmienne charakterystyki samców – ryzykujący myśliwi, odważni obrońcy kobiet i dzieci, poświęcający swe życie dla dobra rodziny, grupy, czy plemienia. Kobieta raczej nie angażuje się w konflikt zbrojny. Z punktu widzenia biologii lepiej, żeby w czasie wojny kobiety były gwałcone, niżby miały ginąć.

W świecie zwierzęcym samica ma zazwyczaj niezbywalne prawo wyboru partnera i stosunek seksualny wbrew jej woli, czyli gwałt, opisano tylko u paru gatunków zwierząt wyższych, z których najbardziej znane są ludzie, delfiny i kaczory (u których obserwowano też homoseksualizm i nekrofilie). W przeciwieństwie do tego, u wielu owadów wymuszanie stosunku płciowego przez samce jest normą.

Z różnicami strategii seksualnych łączy się różna wrażliwość mężczyzn i kobiet na sygnały seksualne. Przy oglądaniu identycznych seksualnych bodźców wzrokowych (klipy pornograficzne) neuroobrazowanie mózgu (badania fNMR) wskazuje wyższą aktywację podwzgórza i jader migdałowych u mężczyzn, nawet wówczas, jeżeli kobiety twierdzą, że są silniej pobudzone. Różnice te dotyczą wyłącznie sygnałów seksualnych, są ograniczone w zasadzie do układu limbicznego i są zlateralizowane – większe w lewym zespole jader migdałowych. W innych obszarach mózgu, związanych z układem nagrody, reakcje obu płci na podniety erotyczne są takie same. Badania sugerują, że to jądra migdałowe są związane z apetytywnymi i biologicznie istotnymi aspektami bodźców i potwierdzają, że podobnie jak u zwierząt, dla mężczyzn bodźce wzrokowe są ważniejsze niż dla kobiet (jak mówiono w czasach przedinternetowych: mężczyźni oglądają Playboya, a kobiety czytają Harlequiny).

U wielu gatunków, w tym u ludzi, obie płci różnią się od siebie morfologicznie i psychicznie. Podobnie jak całe ciało, mózg ludzki w oryginalnym planie budowy jest mózgiem żeńskim. Wpływ hormonów męskich powoduje zmiany w oryginalnym planie mózgu, tak jak w planie reszty ciała. Rozwijający się mózg żeński może ulec maskulinizacji pod wpływem różnych czynników, zwłaszcza hormonów produkowanych przez płód i hormonów matki, a u gatunków,

u których regułą są ciążę mnogie, istotną rolę odgrywają hormony produkowane przez rodzeństwo: płody samiczek mysich położonych w macicy między dwoma płodami męskimi wyrastają na osobniki częściowo zmaskulinizowane.

Różnice płciowe w wykształceniu mózgu ludzkiego

Stosunkowo późno anatomowie zorientowali się, że pewne obszary w mózgu, zwłaszcza w korze, są większe u kobiet, natomiast w strukturach podkorowych pewne obszary są większe u mężczyzn. Opisano wiele różnic w rozwoju poszczególnych części mózgu u różnych płci, ale ich znaczenie funkcjonalne w wielu wypadkach wciąż nie jest jasne. Różnice dotyczą przede wszystkim struktur związanych z aktywnością seksualną.

W roku 1971 Raiman i Field odkryli, że w części podwzgórza szczura związanej z behawiorem seksualnym, zwanej obszarem przedwzrostowym (ang. *preoptic area*, POA), zaznacza się dymorfizm płciowy. Jedno ze znajdujących się tam jąder międzyblaszkowych jest znacznie większe u samców. Nazwano je jądrem zróżnicowanym płciowo (ang. *sexually dimorphic nucleus* – SDM-POA). Na przełomie lat 80. i 90. XX w. potwierdzono istnienie dymorfizmu płciowego w podwzgórzu człowieka. Jak się potem okazało, obszar POA pełni bardzo istotną rolę w zachowaniu seksualnym, między innymi od jego wykształcenia zależy orientacja seksualna. Podobnie u mężczyzn większe jest jądro łożowe prążka krańcowego (BDST – ang. *bed nucleus of stria terminalis*), które jest znacznie mniejsze u kobiet, a jeszcze mniejsze u transseksualistów.

Różnice płciowe wykryto również w strukturach mózgu niepełniających kluczowej roli w behawiorze reprodukcyjnym. W 1977 roku przypadkiem stwierdzono, że podawanie wysokich dawek estrogenów zaostrzało objawy choroby Parkinsona u kobiet, a dalsze badania wykazały, że estrogeny w odmienny sposób wpływają na uwalnianie dopaminy u mężczyzn i kobiet. Różnice międzypłciowe stwierdzono też w wykształceniu struktur łączących półkule mózgowe – ciele modelowatym i spoidle przednim. Struktury te są większe u dziewczynek niż u chłopców, a ponadto u chłopców zmniejszają swoje wymiary z wiekiem. W wyniku tego mózg męski jest bardziej zlateralizowany, niż mózg żeński. Różnice płciowe obserwujemy też w płaszczyźnie skroniowej (*planum temporale*), która jest częścią kory związaną z mową (obszar Wernicke’go) oraz ręcznością. Jest ona asymetryczna, ale u kobiet mniej asymetryczna niż u mężczyzn. Być może z tym łączy się większą łatwość powrotu mowy po powodującym afazję

wylewie u kobiet. Konsekwencjami różnic w lateralizacji mogą być znacznie większe zdolności werbalne u kobiet – Amerykanki średnio emitują 20 000 słów w ciągu doby, a Amerykanie tylko 6000. Istnieje więc neurobiologiczna podstawa niemieckiego przysłowia: „Ein Mann – ein Wort, ein Weib – ein Wörterbuch”.

Inną interesującą różnicą między płciami jest odmienna morfologia neuronów korowych. W korze przedczołowej przyśrodkowej neurony są rozgałęzione silniej u mężczyzn niż u kobiet, zaś w korze przedczołowej oczodołowej neurony są rozgałęzione silniej u kobiet. Świadczy to o zasadniczo różnej organizacji tej najbardziej zaawansowanej części mózgu u obu płci. Z innych różnic warto wspomnieć, że mózg żeński pracuje intensywniej i metabolizm mózgu u kobiet jest o 15% wyższy niż u mężczyzn.

Różnice płciowe w zachowaniach niereprodukcyjnych

Zachowania kobiet i mężczyzn różnią się ewidentnie, w sposób zależny od kultury, i część badaczy, a zwłaszcza badaczek, uważała, że całość tych różnic jest związana wyłącznie z czynnikami kulturowymi. Nie ulega jednak wątpliwości, że ponieważ ewolucja, na zasadzie czystego „rachunku ekonomicznego” preferowała u samca typ silnego fizycznie, bystrego i odważnego myśliwego/żołnierza, a u kobiety matki/opiekunki/gospodyni, za tymi preferencjami szły zmiany anatomiczne i behawioralne. Wystarczy porównać, jak ewolucja ukształtowała ludzką dłoń – masywna, krótkopalcia, silna dłoń męska, nadająca się do walki wręcz, maczugi czy kamienia i znacznie delikatniejsza dłoń kobieca, o wiele lepiej przystosowana do subtelnych manipulacji drobnymi przedmiotami. To nie przypadek, że wśród rzeźników czy rzeźbiarzy przeważają mężczyźni, których prawie w ogóle nie ma wśród składających ręcznie sprzęt elektroniczny i haftujących.

Ewidentne różnice w behawiorze dzieci przedszkolnych – odmienny typ zabawek preferowanych przez chłopców i dziewczynki, czy dążenie do ustalenia silnej hierarchii wśród chłopców, a skłonności do dzielenia się i wspólnej zabawy u dziewczynek, wydają się być różnicami rzeczywistymi, ukształtowanymi przez ewolucję. Badania nad koczodanami, u których nie było żadnych tradycji kulturowych, wykazały, że samczyki preferują zabawki „męskie” (samochodzik, piłka), a samiczki częściej bawią się miskami czy lalkami. U dzieci trudno zmienić wrodzone determinowane płcią wzorce zabawy: zdarza się, że pięcioletnia dziewczynka, która dostaje ciężarówkę, traktuje ją jak lalkę, otula kocykiem i kołysze do snu.

Takie różnice w zachowaniu mają swoje odpowiedniki na poziomie neurologicznym. Chociaż

w nowym, wzbogaconym środowisku u obu płci obserwuje się wzrastanie wypustek neuronalnych i zwiększenie liczby kolców synaptycznych na wypustkach, obserwuje się, że samce są wrażliwsze i reagują szybciej rozwojem wypustek, niż samice. Po dłuższych okresach samce wykazują silniejszy wzrost liczby kolców synaptycznych, a samice – silniejszy przyrost długości wypustek.

Zespół jąder migdałowatych (*amygdala*) – struktura zaangażowana w pamięć, emocje, agresję, lęk, stres i seks – przetwarza dane emocjonalne odmiennie u obu płci. Aktywizacja jądra migdałowatego przez obrazki o silnym ładunku emocjonalnym u mężczyzn jest silniejsza niż u kobiet, a ponadto silniej reagowało u nich prawe jądro migdałowate, gdy u kobiet silniej reagowało lewe.

Badania nad hipokampem wykazały u gryzoni, że estrogeny indukują wrażliwość na drgawki oraz powodują tworzenie kolców synaptycznych w neuronach tej struktury. Estrogeny nasilają też w hipokampie procesy reparacyjne po uszkodzeniu wypustek neuronalnych. Z hipokampem łączą się też różnice płciowe w uczeniu się przestrzennym.

Behawior seksualny

Reprodukcja jest procesem kosztownym i często szkodliwym dla organizmu, który podejmuje ją tylko dlatego, że czynności z nią związane są w większości czynnościami nagradzanymi – przynoszą intensywną przyjemność, regulowaną przez dobrze określony neurobiologicznie układ nagrody. Behawior seksualny, którego celem bezpośrednim jest zapłodnienie jaja, a finalnym – wydanie płodnego potomstwa, jest złożony, gdyż pełni istotną rolę w selekcji partnera, którego geny powinny pomóc, a nie przeszkadzać naszym genom w stworzeniu jak najlepszego następnego nośnika genów. W związku z tym zachowania reprodukcyjne przechodzą przez różne fazy, a duża część zachowania seksualnego jest związana z wyborem partnera.

Neurochemia faz zachowania seksualnego

Przyjmuje się najczęściej, że w zachowaniu seksualnym można wyróżnić trzy, cztery, a u niektórych gatunków pięć faz. Są to:

- Libido czyli pożądanie (*desire*)
- Ekscytacja czyli podniecenie (*arousal*)
- Kopulacja (*coitus*)
- Odprężenie (*relaxation*)
- Rodzicielstwo (*parenting*).

Libido

Libido jest napędzane przez hormony płciowe, testosteron i estradiol. Jest to ochota na seks bez wyraźnego zewnętrznego sygnału erotycznego lub partnera. Jest fazą obligatoryjną, bez której nie może dojść do dalszej aktywności seksualnej. Badania nad działaniem hormonów płciowych zaczęły się w połowie XIX wieku od doświadczeń z kastracją i transplantacją jąder, jednakże jeszcze 50 lat temu wątpiono, czy hormony płciowe dochodzą do mózgu. W latach 60. XX wieku udowodniono jednak, że implanty hormonalne do podwzgórza aktywują zachowania reprodukcyjne, a przy użyciu trytowanych steroidów i metod autoradiografii stwierdzono istnienie w mózgu miejsc wiążących te steroidy i wykazano, że przypominają one receptory wiążące steroidy w jądrach komórek narządów płciowych. Dalsze badania dowiodły, że poza jądrowymi receptorami hormonów płciowych istnieją również receptory błonowe.

Obecnie standardowym modelem do badania zachowania seksualnego samców szczurzych jest kontaktowanie ich z uprzednio kastrowaną samicą, nastrzykaną wysokimi dawkami estrogeny. Bez podania hormonów samica nie jest w stanie podjąć jakichkolwiek czynności seksualnych. Również kastrowane samce nie angażują się w seks.

Nawet u człowieka, u którego behawior seksualny znajduje się pod wpływem silnych wpływów kulturowych i środowiskowych, spadek poziomu testosteronu, następujący z wiekiem, obniża bardzo silnie aktywność seksualną. Co ważne – testosteron u samców jest potrzebny również do utrzymania wysokiego poziomu funkcji poznawczych i stąd starsi mężczyźni często „dziadzieją”. Hormonalna terapia zastępcza dla mężczyzn jest bardzo skuteczna i pomocna w okresie jesieni życia i warto nią zainteresować seniorów. Jednakże efekty pozytywne obserwuje się tylko u mężczyzn, których poziom testosteronu we krwi był poniżej normy.

Podniecenie

Faza podniecenia rozpoczyna się z chwilą napotkania odpowiedniego partnera seksualnego. W tej fazie dochodzi do interakcji wielu struktur, niezbędnych dla odpowiedzi seksualnej: bodźce zmysłowe, przetwarzanie informacji, elementy motywacyjne i motoryczne odpowiedzi seksualnej muszą zostać zintegrowane, aby doprowadzić do skomplikowanego, celowego działania. Badania, które części mózgu są zaangażowane w podniecenie prowadzi się najczęściej technikami neuroobrazowania mózgu. Badania

te dowiodły, że u samców z reguły kluczową rolę odgrywa pobudzenie przyśrodkowego obszaru przedwzrokowego (mPOA) i innych struktur limbicznych, przekształcających napływające informacje sensoryczne w odpowiednią odpowiedź behawioralną. U samic mPOA gra rolę przeciwną, hamując pobudzenie, które jest wywołane aktywacją innego jądra podwzgórzowego, jądra przykomorowego.

Stopień podniecenia bada się u ludzi technikami neuroobrazowania mózgu w czasie oglądania klipów pornograficznych. Pierwsze takie badania, techniką PET, wykonano w 1999 roku, opisując zmiany aktywności mózgu męskiego w czasie pobudzenia seksualnego. Analogiczne badania na kobietach wykonane dwa lata później doprowadziły do wniosku, że u obu płci pobudzenie seksualne aktywuje wiele takich samych obszarów, przy czym jednak odpowiedzi u mężczyzn są silniejsze niż u kobiet, w szczególności w jądrze migdałowatym i podwzgórzu, a siła odpowiedzi obserwowanej obiektywnie koreluje z subiektywną oceną stopnia pobudzenia. Dalsze badania wykazały niezwykle interesującą różnicę między płciami: w mózgu kobiecym oprócz obszarów aktywowanych przez filmy erotyczne, występują obszary, których aktywność jest hamowana przez pobudzenie seksualne. Dotyczy to głównie górnego i środkowego zawoju czołowego i to w znacznie silniejszym stopniu po stronie prawej. Sądzi się, że są to obszary hamujące pewne typy zachowania, w innych bowiem badaniach okazało się, że są one aktywowane przy uczuciu zawstydzenia i podejmowaniu decyzji o charakterze moralnym. Tak więc neurobiologia sugeruje, że kobiety są bardziej wstydliwe od mężczyzn, mając wykształcony „organ wstydu”. Nie można jednak wykluczyć, że jest to cecha nabyta kulturowo, a obserwacje wskazują, że silna u młodych dziewcząt wstydliwość często całkowicie zanika u kobiet starszych.

Neuroprzekazniki biorące udział w regulacji podniecenia to monoaminy: dopamina i noradrenalina, a także acetylocholina, pełnią rolę aktywatorów, a serotonina hamuje zachowania seksualne.

Seks szczura

Badania behawioru seksualnego szczurów dostarczyły bardzo wiele informacji dotyczących podstaw neurobiologicznych procesów związanych z reprodukcją.

Zachowanie seksualne samca szczura reguluje szlak przewodzący podniety zmysłowe – u szczura przede wszystkim zapachowe. Jest to szlak biegnący z opuszki węchowej do tylnobocznego i podstawno-przyśrodkowego jądra migdałowatego. Z jądra podstawno-brzusznego pobudzenie biegnie bezpośrednio

do struktury regulującej poczucie przyjemności – do jądra półleżącego przegrody. Natomiast jądro tylnobocznego przyśrodkowego pobudza przyśrodkowy obszar przedwzrokowy, z którego najsilniejsze pobudzenie idzie do brzuszno-tylnego obszaru nakrywki – okolicy zawierającej jądra neuronów dopaminowych. Te wysyłają projekcje do jądra półleżącego przegrody, głównego elementu już wspomnianego układu nagrody. Obszar przedwzrokowy pobudza również bezpośrednio jądro półleżące przegrody, a ponadto część brzuszno-tylną gałki bladej. Obszar ten jest również pobudzany przez jądro półleżące przegrody, a jest to obszar bardzo ważny w utrzymywaniu więzi partnerskiej.

Chociaż badania zachowania seksualnego szczurów bardzo rozwinęły naszą wiedzę, musimy pamiętać, że samo zachowanie seksualne szczura – zarówno zaloty, jak i kopulacja, są bardzo różne od ludzkich. Męski behawior kopulacyjny szczura zaczyna się od wielokrotnego krycia, czyli wskakiwanie na samicę i zeskakiwanie z niej. Dopiero po wielu kryciach następuje okres intromisji – wprowadzania członka do pochwy na 200–300 ms i wyjmowanie go. Takich intromisji jest zwykle kilkanaście i są one powtarzane co 20–30 s. Dopiero po zazwyczaj 10–12 intromisjach następuje ejakulacja, przy czym ejakulacje powtarzane są wielokrotnie, do momentu nasycenia samca. Jeżeli jednak nasyconego samca zetknie się z nową samicą, zachowanie kopulacyjne powraca. Jest to tak zwany efekt Coolidge’a – zniesienie zmęczenia seksualnego samca przez zmianę partnerki – obserwowany w całym świecie ssaków, łącznie z człowiekiem. Efekt ten niewątpliwie podnosi szansę na zwiększenie liczebności potomstwa samca.

Zachowaniem samicy szczura przez długi czas się nie przejmowano, ale ze względu na coraz większe docenianie partnerskiej roli kobiet i tu wreszcie podjęto badania. Okazuje się, że behawior samicy, która ma możliwość swobodnego dostępu do samca i ucieczki przed nim jest znacznie bardziej złożony. Występuje w nim trzy odmienne elementy.

Pierwszym z nich jest *receptywność* – zdolność do kopulacji, mierzona odruchem lordozy czyli wygięciem grzbietu w czasie krycia. Jeżeli samica nie posiada hormonów żeńskich, nie przyjmie tej pozycji i kopulacja jest niemożliwa. Reakcja lordozy jest jednak reakcją automatyczną i samica przyjmuje tę pozycję nawet wówczas, gdy nie ma ochoty na kopulację.

Proceptywność to chęć samicy do kopulacji, mierzona liczbą zachowań zachęcających, takich jak podchodzenie do samca, trącanie go nosem, obwąchiwanie mu genitaliów, a także charakterystyczne strzyżenie uszami oraz podskoki i ucieczki dookoła klatki.

Atrakcyjność to jeszcze jeden atrybut samicy. Jedne samice szczurów mogą być dla samców atrakcyjne, a inne nie. Nieatrakcyjne samice nie wzbudzają w samcu chęci do kopulacji (samce nie chcą na przykład kopulować z samicami kastrowanymi).

Feromony ludzkie?

Chociaż u człowieka wiele detali się różni, pewne cechy zachowania seksualnego są analogiczne. Zachowanie seksualne gryzoni jest bardzo silnie sterowane przez feromony. Powstał więc problem, czy feromony występują również u ludzi, u których organ wykrywający feromony, narząd przylemieszowy, jest niedorozwinięty? Badania wykazały jednak, że jeżeli w pomieszczeniu rozpyli się bezwonne hormony płci przeciwnej, w okolicach podwzgórza związanych z odpowiedziami seksualnymi następuje pobudzenie. Tak, że chyba możemy się zauroczyć płcią przeciwną, sami o tym nie wiedząc. Jak wykazały niezwykle pomysłowe badania, mężczyźni potrafią „wyczuć” czy kobieta jajeczkuje. W badaniach poproszono grupę dziewcząt tańczących między stolikami w lokalu (ang. *go-go girls*), aby przez dwa miesiące codziennie notowały wysokość otrzymywanych napiwków i zaznaczały, w jakiej fazie cyklu miesięcznego się znajdują. Średnie napiwki dziewczyn wynosiły 260 USD za noc. Dziewczyny w czasie miesiączki zarabiały w ciągu nocy tylko 185 USD, zaś jajeczujące *go-go girls*, (ale tylko te, które nie stosowały hormonalnych środków antykoncepcyjnych), przynosiły rano do domu 335 USD.

Orgazm i oksytocyna

Fazą do której zmierza zachowanie kopulacyjne jest orgazm. Badania aktywności męskiego mózgu w czasie orgazmu (badani musieli pozostawać wówczas praktycznie nieruchomo w maszynie do neuroobrazowania, ale byli stymulowani ręcznie przez swoją partnerkę i wspomagali się wyobrażeniami wzrokowymi). W czasie ejakulacji obserwowano silną aktywację obszaru przejściowego między między mózgowiem a śródmózgowiem, zwłaszcza obszaru brzusznej nakrywki (VTA) – głównego ośrodka układu nagrody. Wystąpiła też silna aktywacja zwojów podstawy (bocznej łupiny), przedmurza, przedniej części kory wyspowej i przedniego jądra wzgórza. Brak natomiast było aktywności w podwzgórzu. Obserwowana aktywacja prawostronnej kory wzrokowej dowodziła, że badani rzeczywiście wspomagali się wyobrażeniami erotycznymi, Ciekawym zjawiskiem była też silna aktywacja mózdzku, ale może bardziej

interesujący był zanik aktywności zespołu jąder migdałowych i kory śródwęchowej. Te struktury są silnie związane z emocjami strachu, napięcia i stresu, więc badanie sugeruje, że po orgazmie następuje okres wyciszenia, zmniejszenia aktywności i zapomnienia o kłopotach. Wiele doświadczonych par wie to zresztą z doświadczenia – stosunek płciowy jest najskuteczniejszą taktyką pojednania się, choćby chwilowego, zwaśnionych małżonków.

Wydaje się, że znamy również neurochemiczny mechanizm tego zjawiska – jest to opisane u człowieka i zwierząt uwalnianie się w czasie orgazmu oksytocyny, hormonu silnie wpływającego na psychikę, znośzącego lęk, stymulującego zachowania opiekuńcze. U człowieka donosowe podania oksytocyny zwiększają zaufanie do partnera i obniżają poziom lęku, prawdopodobnie działając na zespół jąder migdałowych.

Badania na szczurach, w których samce trzymane z samicami niereceptywnymi (nie dochodzi do kopulacji) i receptywnymi (kopulacja) wykazały, że u zwierząt kopulujących podnosi się poziom oksytocyny we krwi, a samce po kopulacji są „odważniejsze”, częściej odwiedzając otwarte ramiona podniesionego labiryntu i wchodząc do oświetlonej skrzynki, a efekty te blokuje podanie swoistego antagonisty oksytocyny.

Konsekwencje zmniejszenia lęku po kopulacji u różnych gatunków mogą być różne i mogą przynosić różne korzyści. U szczurów ewolucyjnie korzystne po kopulacji będzie poszukiwanie, nowej partnerki, nawet gdy związane to jest z ryzykiem,

System oksytocynowy zmniejsza reaktywność na stres i promuje sen wolnofalowy, stąd też może być odpowiedzialny za odprężenie i uspokojenie po kopulacji i orgazmie. Być może orgazm poprawia też psychiczną odporność wojownika i stąd częste pomieszanie agresji seksualnej i wojennej.

Tak więc aktywność seksualna i kopulacja powodują uwalnianie w mózgu samców oksytocyny, co powoduje obniżenie odpowiedzi emocjonalnych na czynniki powodujące lęk, a to może mieć znaczenie dla pozytywnego wpływu aktywności seksualnej na zdrowie psychiczne. Jak wspomniano, kopulacja jest dobrym środkiem łagodzenia sporów małżeńskich. W tym kontekście należałoby rozważyć społeczne behawioralne konsekwencje celibatu.

Ciekawe są również obserwacje dotyczące orgazmu u kobiet, chociaż nie jest on tak łatwo widoczny, jak u mężczyzn. Badania ankietowe wykazały, że w wielu parach kobiety nie przeżywają orgazmu, oraz że w małżeństwach, w których kobietom zależy na dobrym samopoczuciu mężczyzny, orgazmy symulują. Z drugiej strony udany orgazm dla kobiety zwykle

bardzo podnosi jej sprawność fizyczną i psychiczną, co też wydaje się ważnym zjawiskiem przystosowawczym.

Odpężenie i wazopresyna

Końcowa faza stosunku seksualnego – odpężenie – występuje u gatunków tworzących stałe pary i odpowiada za tworzenie więzi partnerskiej, u człowieka określanej jako przywiązanie. Faza ta jest związana z uwalnianiem nie tylko oksytocyny, ale także pokrewnego jej neuropeptydu – wazopresyny. Uwalniania w fazie odpężenia jest silnym czynnikiem promnestycznym (potęgującym pamięć) i konsoliduje pamięć przeżytych chwil, co łączy przyjemność z osobą partnera, a ta u gatunków monogamicznych może powodować stworzenie pary, w przyszłości wspólnie opiekującej się potomstwem (czyli nośnikami wspólnych genów). Po stworzeniu pary i przesunięciu akcentu na reprodukcyjną stronę seksu, zwykle utrzymuje się wysokie zainteresowanie seksem rekreacyjnym, co wzmacnia siłę związku partnerskiego.

O znaczeniu wazopresyny dla tworzenia monogamicznych par powiedziały badania nad pokrewnymi gatunkami norników, z których jeden – nornik preriowy, jest gatunkiem monogamicznym, a drugi – nornik łąkowy – promiskuitycznym (to znaczy żyjącym z wieloma partnerkami bez stałych związków).

Neurobiologia wierności

Monogamia jest zjawiskiem stosunkowo rzadkim u ssaków, gdyż w trwałe pary łączy się u nich mniej niż 5% gatunków, podczas gdy 90% gatunków ptaków jest monogamicznych. Naczelne są nieco „moralniejsze” niż inne ssaki, ale i tu przeważają gatunki promiskuityczne (wiele partnerek, żadnych związków) i poliginiczne (jeden samiec, kilka samic w trwałym związku). Jeżeli chodzi o ludzkie społeczeństwa historyczne, to tylko około 20% było monogamicznych, a kultury poligamiczne ustąpiły monogamicznym dopiero w ostatnich stuleciach.

W około 80% wczesnych cywilizacji występowała poligamia typu haremowego. W kulturach zachodnioeuropejskich i pochodnych obowiązywać zaczęła monogamia, współcześnie przechodząc często w poligamię sukcesywną. Promiskuityzm jest zawsze popularny, obecnie w naszej kulturze również wśród kobiet, chociaż w wielu kulturach jest bardziej potępiany, niż wśród mężczyzn. Pogodzeniem monogamii i promiskuityzmu stała się instytucja prostytucji.

Badanie, dlaczego niektóre gatunki wybierają monogamię umożliwił fakt, że wśród blisko spokrewnionych gatunków rodzaju nornik (*Microtus*)

występują zarówno gatunki promiskuityczne, jak i monogamiczne. Tak np. nornik preriowy *Microtus orchogaster* jest społeczny, monogamiczny, a samiec dba o potomstwo, natomiast samiec nornika łąkowego *Microtus pennsylvanicus*, to promiskuityczny samotnik, o potomstwo niedbający. W zachowaniu tych dwóch gatunków widać różnice w odnoszeniu się do płci przeciwnej, które można zinterpretować jako większą czułość partnera u nornika preriowego. Norniki preriowe trzymane razem chętnie pozostają w kontakcie cielesnym stykając się bokami, a więc tulą się do siebie, norniki łąkowe preferują natomiast samotność i tulą się do siebie znacznie rzadziej.

Te różnice w stosunku do partnera ujawniły się zwłaszcza w doświadczeniu, które zaczynało się tym, że pary norników, tak preriowych jak i łąkowych, umieszczano na noc we wspólnej klatce, przy czym samica była w receptywnym okresie cyklu rujowego. Niezależnie od gatunku, wszystkie pary wykorzystywały taką okazję. Po wspólnej nocy, rano do klatki wprowadzano drugą samicę i przez trzy godziny obserwowano, do której samiec będzie się chętniej tulił. Nornik preriowy tulił się głównie do starej, a nie nowej partnerki, a łąkowy w ogóle tulił się mało, i nie wykazywał żadnej preferencji.

Czy w mózgu nornika preriowego istnieje coś, co czyni go wiernym partnerem? Metodą autoradiografii badano gęstość receptorów wazopresynowych V1aR w mózgu obu gatunków i stwierdzono, że stężenie tych receptorów w brzusznej gałce błędej jest znacznie wyższe u nornika preriowego. Aby potwierdzić rolę receptora V1aR spróbowano „umoralnić” molekularnie norniki łąkowe, podając im do brzusznej gałki błędej wirusowy wektor zawierający gen kodujący receptor wazopresyny V1aR. Trafiona iniekcja powodowała zwiększoną ekspresję V1aR w brzusznej gałce błędej, a to powodowało powstanie skłonności do monogamii: transfekowane V1a norniki łąkowe zaczęły przebywać ponad połowę czasu z partnerkami z poprzedniej nocy.

Znaczenie więzi partnerskiej

Najistotniejszym biologicznie celem seksu, bardzo silnie nagradzanym uczuciem przyjemności, jest macierzyństwo oraz ojcostwo, również w zdrowej rodzinie dające olbrzymią satysfakcję i stabilizujące uczucie przywiązania. Wiąż partnerska utrzymuje się zwykle bardzo długo, znacznie poza okres reprodukcyjny, a wzmacnia ją aktywność seksualna, utrzymującą się w zaskakująco dużej liczbie starszych par (ponad 25% po 80 roku życia). Mamy zresztą na ten temat przekazy historyczne i biblijne. Z całą pewnością starą parą uprawiającą seks, i to owocny, byli podeszli

w wieku święty Zachariasz i święta Elżbieta. Owocem tej aktywności był święty Jan Chrzciciel. Być może nadmierna aktywność seksualna spowodowała mały wylew u św. Zachariasza, który przejściowo stracił mowę, kiedy dowiedział się o ciąży swej starej żony od archanioła Gabriela.

Długotrwałe utrzymanie więzi partnerskiej ma istotne znaczenie dla dalszego zapewniania najlepszych warunków przeżycia naszego materiału genetycznego. Wydaje się, że to właśnie spowodowało, że ewolucja preferuje długowieczność człowieka.

Prof. dr hab. Jerzy Vetulani, neuropsychofarmakolog, członek PAU, PAN i EDAB, jest profesorem MWSZ im. Józefa Dietla i Instytutu Farmakologii PAN w Krakowie. E-mail: nfvetula@cyfronet.pl.

GENETYKA SYSTEMU GAL4/UAS, CZYLI JAK WYWOŁAĆ TKANKOWO-SPECYFICZNĄ EKSPRESJĘ GENU W ORGANIZMIE MUSZKI OWOCOWEJ (*DROSOPHILA MELANOGASTER*)

Jolanta Górską-Andrzejak (Kraków)

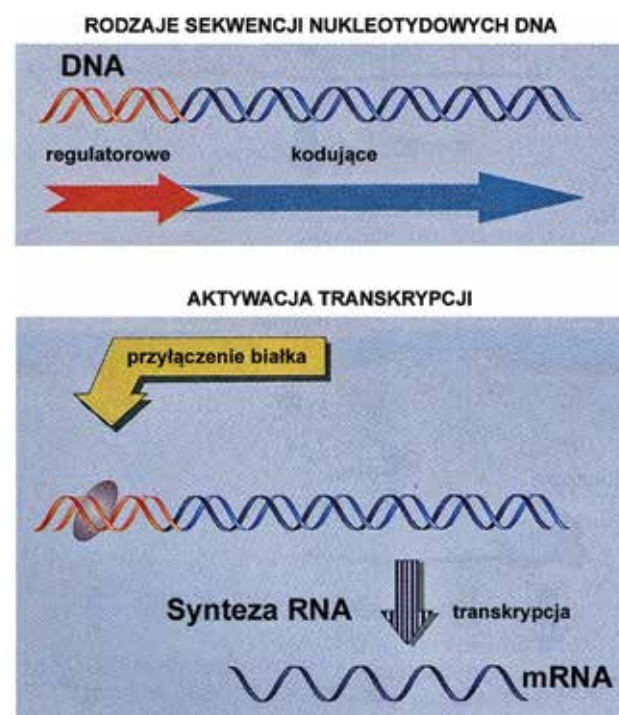
System GAL4/UAS jest metodą genetyczną, w której wykorzystuje się pochodzące z genomu drożdży (*Saccharomyces cerevisiae*) sekwencje *GAL4* i UAS do wywołania w organizmie muszki owocowej ukierunkowanej ekspresji wybranego genu. Przez ukierunkowanie ekspresji genu (ang. *targeted gene expression*) rozumiemy selektywną aktywację jego transkrypcji tylko w pewnym typie komórek lub w ściśle określonym czasie, np. na określonym etapie rozwoju. Metoda ta, opracowana przez Andreę H. Brand i Norberta Perrimona w 1993 roku (Brand i Perrimon, 1993. *Targeted gene expression as a means of altering cell fates and generating dominant phenotypes. Development* 118, 401–415), stała się jedną z ważniejszych metod badawczych stosowanych, gdy celem badań jest poznanie funkcji genu *in vivo* (tj. wewnątrz żywego organizmu).

Fakt, że w organizmie muszki owocowej możliwe jest wywołanie tkankowo-specyficznej ekspresji genów, bardzo przyczynił się do zwiększenia popularności tego owada jako organizmu modelowego w badaniach biologicznych.

Działanie sekwencji *GAL4* i UAS w komórkach drożdży

W skład DNA wchodzi dwa rodzaje sekwencji nukleotydowych (Ryc. 1). Są to sekwencje kodujące, które ulegają ekspresji (na ich matrycy, w procesie transkrypcji jest syntetyzowany RNA, a następnie na matrycy RNA w procesie translacji jest syntetyzowane

białko) oraz sekwencje regulatorowe, które nie ulegają ekspresji, lecz kontrolują ekspresję sekwencji kodujących. Synteza RNA zachodzi tylko wtedy, gdy do sekwencji regulatorowych przyłączą się określone białka (Ryc. 1).



Ryc. 1. Rodzaje sekwencji nukleotydowych DNA oraz aktywacja transkrypcji sekwencji kodujących. Sekwencja DNA regulatorowa zawiera obszar wiążący dla białek (czynniki transkrypcyjne) regulujących proces transkrypcji. Na skutek aktywacji transkrypcji powstaje mRNA, czyli matrycowy RNA (zmienione za *Genes VII*, B. Lewin; Oxford University Press, 2000).