

potencjalnie można byłoby po wydrukowaniu hodować pełen organ. W ten sposób powstały: pierwszy drukowany ząb, serce czy tchawica. Amerykańska firma Organovo, która jako pierwsza rozpoczęła produkcję ludzkich tkanek technologią 3D biodrukowania, tworzy naczynia krwionośne w ciągu kilku godzin.

Przy rozwoju opisywanych technik coraz bliżej jesteśmy osiągnięcia tzw. „idealnego” szkieletu, który miałby możliwość transplantacji bez dodatkowego uszkodzenia tkanki, dobrą adhezję nasiewanych komórek, pozytywny wpływ na przeżywalność oraz różnicowanie się transplantowanych komórek oraz zdolność do biodegradacji. W celu wytworzenia takich szkieletów dochodzi najczęściej do połączenia kilku przedstawionych technik. Ze względu na cechy fizyko-chemiczne zbliżone do tkanek, najczęściej bazą do tworzenia sztucznych nisz są hydrożele. W celu ukierunkowania neuralnego komórek w szkielet wkomponowuje się nanowłókna, które stanowią przewodnice dla zasiedlających i migrujących komórek. Ostatnim etapem jest biofunkcjonalizacja przy pomocy nadrukowywania powierzchni z zastosowaniem aktywnych mikromolekuł, celem ukierunkowanego różnicowania zasiedlających szkielet komórek.

Ze względu na łatwość podania i wstępne pozytywne wyniki, do zastosowania szkieletów 3D doszło najszybciej w chirurgii urazowej, a dokładnie w rekonstrukcji

uszkodzeń nerwów obwodowych. W latach 1990–2000 rozpoczęto pierwsze próby kliniczne z zastosowaniem polimerowych szkieletów, jako tzw. konduktów przewodzących. W pierwszych doświadczeniach zastosowano silikonowe lub kolagenowe tuby. Wykorzystanie szkieletów o różnych parametrach biofizycznych nie tylko umożliwiło odbudowę uszkodzenia, ale pozwoliło również kontrolować kierunek wzrostu pojedynczych włókien nerwowych. W kolejnych próbach wzbogacono szkielety polimerowe w składniki osocza pacjenta i komponenty macierzy zewnątrzkomórkowej, co znacznie przyspieszyło obserwowaną w elektromiografii (EMG) prawidłową regenerację włókien nerwowych. Na podstawie powyższych osiągnięć rekonstrukcyjnych rozpoczęto wstępne doświadczenia z zastosowaniem szkieletów kolagenowych opłaszczonych komórkami Schwanna. Zastosowanie komórek macierzystych znacząco przyspieszało proces regeneracji nerwów obwodowych. Zastosowanie biorusztowań do regeneracji OUN jest dopiero w fazie badań przedklinicznych, chociaż pierwsze, głośne w Polsce osiągnięcie naukowców z Wrocławia, którzy doprowadzili do skutecznej regeneracji rdzenia kręgowego było połączeniem terapii komórkowej z naturalnym rusztowaniem szkieletu otrzymanego z nerwu obwodowego.

Prof. dr hab. Leonora Buzańska, Marzena Zychowicz, Anna Sarnowska. Pracownia Bioinżynierii Komórek Macierzystych, Instytut Medycyny Doświadczalnej i Klinicznej im. M. Mossakowskiego PAN. E-mail: buzanska@imdik.pan.pl.

BORNEO – NAUKA LATANIA

Józef Różański (Kraków)

Borneo, trzecia co do wielkości wyspa świata o łącznej powierzchni 743 330 km², położona jest w południowo-wschodniej Azji i wchodzi w skład Archipelagu Malajskiego (Ryc. 1). Wyspa ta jest pochodzenia wulkanicznego i ma zróżnicowaną rzeźbę terenu. Znajduje się na niej najwyższa góra Azji południowo-wschodniej, o nazwie Mount Kinabalu (Ryc. 2). Z punktu widzenia administracyjnego Borneo podzielone jest na trzy części. Około 1/3 powierzchni znajduje się na terenie państwa Malezyjskiego, blisko 2/3 wchodzi w skład Indonezji, natomiast niecały jeden procent powierzchni to sułtanat Brunei. Z przyrodniczego punktu widzenia najistotniejszy jest fakt, iż Borneo to jedno z najbogatszych pod względem bioróżnorodności miejsc na naszej planecie.

W skład flory lasu deszczowego porastającego Borneo (Ryc. 3), wchodzi około 15000 gatunków roślin okrytonasiennych. Spośród 3000 gatunków drzew,

267 to dipterokarpy. Ich nazwa pochodzi z Greki (*di* = dwa, *pteron* = skrzydło, *karpos* = owoc) i odnosi się



Ryc. 1. Azja południowo-wschodnia z uwzględnieniem zasięgu trzeciorzędowego Szelfu Sundajskiego oraz granicami krain zoogeograficznych: orientalnej i australijskiej (linie Wallace'a, Webera oraz Lydykera). J. Różański.

do budowy owocu. Różnorodność gatunkowa wśród dipterokarpów jest największa właśnie na Borneo, co znajduje potwierdzenie także we wskaźniku endemizmu, gdyż 155 gatunków należących do rodziny *Dipterocarpaceae* występuje wyłącznie na tej wyspie.



Ryc. 2. Mount Kinabalu, najwyższa góra Archipelagu Malajskiego. Fot. J. Różański.

Wśród niezliczonych gatunków bezkręgowców Borneo, warto zwrócić uwagę na owady socjalne, jak termity czy mrówki. Szacuje się, że te drugie reprezentowane są tam nawet przez około 1000 gatunków z 30% rodzajów i 7% gatunków świata. Ogromne wrażenie robią osiagające ponadprzeciętne rozmiary motyle i ćmy. Występują tam także jadowite skolopendry, dochodzące do ponad 20 cm długości (Ryc. 4).



Ryc. 3. Pierwotny las deszczowy w Danum Valley, Sabah, Borneo. Fot. J. Różański.

Fauna kręgowców na Borneo jest bogato reprezentowana przez przedstawicieli wszystkich gromad. Na uwagę zasługuje wskaźnik endemizmu w poszczególnych grupach zwierząt, największy wśród płazów (Tab. 1). Niewątpliwą atrakcją tego terenu są przedstawiciele rzędu naczelnych, z tak charakterystycznymi gatunkami jak nosacz *Nasalis larvatus* czy orangutan borneański *Pongo pygmaeus* (Ryc. 5).

Wpływ na tak bogatą bioróżnorodność gatunkową na Borneo ma kilka czynników, spośród których jednym z najistotniejszych jest fakt, iż las deszczowy porastający Borneo liczy około 130 mln lat, co czyni go najstarszym ekosystemem leśnym świata.

Tab. 1. Bioróżnorodność gatunkowa kręgowców na Borneo w poszczególnych gromadach, z wyszczególnieniem wskaźnika endemizmu, J. Różański

Gromada	Ssaki	Ptaki	Gady	Płazy	Ryby
Liczba opisanych gatunków	222	420	254	149	430
Liczba endemitów	44	74	91	114	160
% endemizmu	19,8	17,6	35,8	76,5	37,2

Istotny może być też aspekt biogeograficzny. Według linii wydzielonej przez słynnego brytyjskiego biologa Alfreda Russela Wallace'a (Ryc. 1), między Borneo, a będącym jeszcze 50 mln lat temu jego częścią, sąsiednim Celebesem, przebiega granica między krainami: orientalną i australijską. Pozostałe granice, wydzielone przez Webera czy Lydekkera (Ryc. 1) przesunięte są bardziej na wschód. Jest bowiem kwestią sporną, gdzie ta granica dokładnie przebiega, zaś wspomniani wyżej biogeografowie wydzielili ją na podstawie badań dotyczących różnych grup zwierząt. Niewątpliwym jest jednak fakt wpływu bioty australijskiej na bioróżnorodność Borneo. Bardzo ważne są



Ryc. 4. Skolopendra, Danum Valley, Sabah, Borneo. Fot. J. Różański.

także geologiczne dzieje tego regionu, które w dużej mierze były decydujące co do obecnego rozmieszczenia organizmów żyjących na wyspie. Przez większą część trzeciorzędu, wskutek niższego poziomu oceanu, istniało połączenie między Azją a Borneo, zwane Szelfem Sundajskim (Ryc. 1), ułatwiające dyspersję wielu gatunkom zwierząt i roślin. W tym rejonie mogły w przeszłości istnieć ciągi migracyjne (*stepping stones*) w postaci niewielkich wysepek,

ułatwiające przemieszczanie się organizmów między Borneo a Celebes. W trzeciorzędzie na Borneo doszło do wytworzenia wielu różnorodnych siedlisk, w efekcie czego następowała szybsza specjacja. To przypuszczenie może potwierdzać duża liczba endemitów występujących na wyspie.

Szybownicy Borneo

Bioróżnorodność organizmów lasu deszczowego na Borneo sprawia, że poszczególne gatunki są zmuszane do ciągłego poszukiwania nowych nisz ekologicznych, w których mogłyby bytować. Nierzadko po zajęciu określonej niszy, organizm zmuszony jest do wykształcenia adaptacji umożliwiających mu funkcjonowanie w danym typie siedliska. Jak nigdzie indziej na świecie, leśne ekosystemy Azji południowo-wschodniej, a w szczególności Borneo, wydają się promować przystosowania zmierzające ku umiejętności biernego lotu, zwanego także szybownictwem.



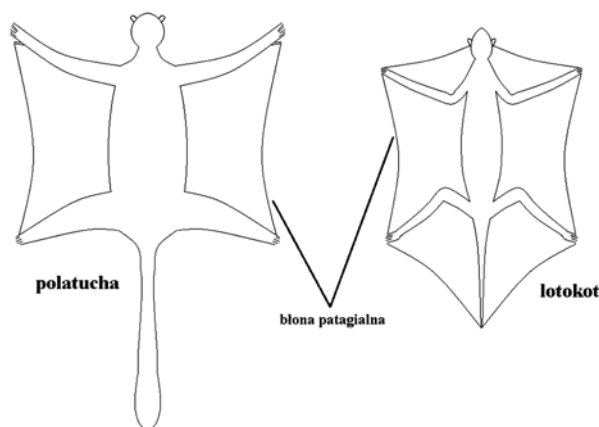
Ryc. 5. Młody orangutan borneański *Pongo pygmaeus*, wspinający się po drzewie w pobliżu Sepilok Orangutan Rehabilitation Centre, Sabah, Borneo. Fot. J. Różański.

Zdolność biernego lotu określana jest jako kontrolowane zachowania lokomotoryczne w powietrzu, z wykorzystaniem sił aerodynamicznych. W celu wykorzystania owych sił organizm, podejmujący ewolucyjne wyzwanie walki z grawitacją, jest zmuszony do wykształcenia odpowiednich przystosowań związanych z lotem. Wymodelowane w toku ewolucji narządy lotne mają różne rozmiary i kształty, uzależnione od masy zwierzęcia oraz od wysokości, z której wykonywane są czynności szybownicze. Przystosowania anatomiczne, a w konsekwencji także behawioralne, są wykorzystywane w poszczególnych fazach lotu, związanych z inicjowaniem, podtrzymywaniem i kończeniem lotu. Niektóre zwierzęta nabyły także umiejętność przyspieszania i przyhamowywania w powietrzu. Badania wykazują, że zdolność biernego lotu została

wielokrotnie wykształcona w sposób niezależny w grupach ewolucyjnie tak odległych jak ssaki, płazy, gady, a nawet ryby, ale też u bliżej spokrewnionych, na przykład u różnych gatunków płazów bezogonowych z rodzin *Rhacophoridae* i *Hylidae*.

W południowo-wschodniej części Azji, w tym na Borneo, występuje wyjątkowo dużo kręgowców, które przystosowały się ewolucyjnie do biernego lotu. Niektóre hipotezy badawcze sugerują, że ten sposób przemieszczania się związany jest ściśle z nadrzewnym trybem życia. W związku z tym, iż region ten porośnięty był do niedawna praktycznie w całości lasem, można by tutaj dopatrywać się jednej z przyczyn takiej różnorodności wśród szybowników. Nie jest to jednak wytłumaczenie wystarczające, bowiem rejony Amazonii czy Afryki Środkowej są równie zasobne w ekosystemy leśne, a szybowników jest tam niewielu lub nie ma ich wcale. Zaproponowane przez naukowców badających rejon tropików azjatyckich hipotezy wyjaśniające taki stan rzeczy sugerują, iż niebagatelną rolę odgrywa tu średnia wysokość drzew. Jest ona najwyższa właśnie w lasach deszczowych Azji. Ponadto nie bez znaczenia może być fakt, że tamtejsze lasy mają mniej połączeń w postaci lian między drzewami, co zmusza organizmy do poszukiwania alternatywnych sposobów przemieszczania się.

Biorąc pod uwagę samo Borneo, znaczenie może też mieć wiek lasu, w którym zwierzęta z poszczególnych grup miały wystarczająco dużo czasu na wykształcenie cech związanych z biernym lotem. W myśl praw ewolucji, na wyspach jest większa konkurencja, w efekcie czego proces specjacji zachodzi szybciej, co dodatkowo mogło mieć wpływ na dzisiejsze zróżnicowanie szybowników.



Ryc. 6. Różnica w usytuowaniu błony patagialnej u latającej wiewiórki oraz u lotokota. Józef Różański.

Na Borneo można spotkać zwierzęta wykorzystujące zdolność biernego lotu należące do płazów, gadów oraz ssaków. Spośród ssaków, najbieglejszymi

w sztuce szybowania są przedstawiciele rzędu Dermoptera, nazywani też skóroskrzydłymi lub latawcami. Obecnie żyją jedynie dwa gatunki, lotokot filipiński (*Cynocephalus volans*) i lotokot malajski (*Cynocephalus variegatus*). Ten drugi zamieszkuje między innymi borneański las deszczowy. Ciekawym jest fakt, iż wedle niedawno przeprowadzonych badań, latawce są siostrzanym taksonem dla naczelnych, bliżej z nimi spokrewnionym niż jakakolwiek inna grupa ssaków. Ich cechą charakterystyczną jest błona patagialna łącząca szyję, kończyny, a także, w odróżnieniu od latających wiewiórek, cały ogon (Ryc. 6). Lotokot malajski (*Galeopterus variegatus*) prowadzi samotniczy, nadrzewny, nocny tryb życia.



Ryc. 7. Smok latający (*Draco volans*), Danum Valley, Sabah, Borneo. Fot. J. Różański.

W skład jego diety wchodzi przede wszystkim owoce, ale także liście, pąki kwiatowe oraz nektar. Rozród u tego gatunku odbywa się przez cały rok. Po porodzie młode noszone jest przez matkę w błonie patagialnej, która wraz z jego wzrostem coraz rzadziej decyduje się na przemieszczanie się z miejsca na miejsce. Warto zwrócić uwagę na fakt, że poszczególne osobniki tego gatunku często powtarzają skoki dzień za dniem z tego samego drzewa o tej samej porze, co ułatwia ich obserwację. Przedstawiciele rzędu skóroskrzydłych są zdolne do lotu nawet na odległość 100 m.

Na Borneo spotkać można 14 gatunków latających wiewiórek, zwanych polatuchami. Należą one do 7 rodzajów (*Petaurillus*, *Iomys*, *Aeromys*, *Petinomys*, *Hylopetes*, *Pteromyscus*, *Petaurista*). Ich błona patagialna rozpięta jest między kończynami przednimi i tylnymi (Ryc. 6). Wiodą nocny, samotniczy tryb życia. Są wszystkożerne, uzależniając dietę w dużej mierze od ekosystemu, w którym żyją, jednak głównie żywią się owocami, liśćmi, orzechami lub grzybami. Młode pozostają pod opieką matki przez około 2,5 miesiąca. W tym czasie opanowują do perfekcji

zdolność szybowania, która jest w dużej mierze wyznacznikiem usamodzielnienia się.



Ryc. 8. *Hemidactylus craspedotus* z wyraźnie widocznymi fałdami skórnymi po bokach ciała, Kota Kinabalu, Sabah, Borneo. Fot. J. Różański.

Szybownicy obecni są także wśród gadów borneańskich. Należy do nich między innymi *Draco*, rodzaj jaszczurek należących do rodziny Agamidae, a żyjących w południowych Indiach, na Archipelagu Malajskim oraz południowo-wschodniej Azji. Na Borneo występuje co najmniej siedem gatunków z tego rodzaju. Ich wspólną, a zarazem najbardziej charakterystyczną cechą jest błona lotna rozpięta na silnie wydłużonych żebrach, między przednimi i tylnymi kończynami. Prowadzą dzienny, ściśle nadrzewny tryb życia. Samica schodzi na ziemię jedynie na krótki okres, w celu złożenia jaj. Najdłuższy stwierdzony lot to około 60 m. Żywią się nadrzewnymi owadami, głównie mrówkami i termitami. Najbardziej znanym i rozpowszechnionym gatunkiem jest *Draco volans*, zwany smokiem latającym (Ryc. 7).



Ryc. 9. Żaba latająca *Rhacophorus paradisi*, Danum Valley, Sabah, Borneo. Fot. J. Różański

Z podrzędu jaszczurek na Borneo spotkać można także przedstawicieli rodziny Gekkonidae. Wszystkie

szybujące gatunki wykształciły w toku ewolucji fałdy skórne między palcami oraz wzdłuż bocznej linii ciała. Najbardziej pod tym względem zaawansowane są gekony z rodzaju *Ptychozoon*, reprezentowane na wyspie przez 3 gatunki. Drugim rodzajem jest *Lupe-rosaurus*, z którego kilka gatunków także występuje

odległości nawet do 100 metrów. Gady te wiodą ściśle dzienny, nadrzewny tryb życia, żywiąc się niewielkimi kręgowcami (jaszczurkami, żabami, ptakami, czy nietoperzami). Rozród jest słabo poznany. Wiadomo, że przedstawiciele *Chrysopelea* są jajorodne

Wśród licznie reprezentowanych na Borneo przed-



Ryc. 10. Żaba latająca *Rhacophorus nigropalmatus*, Danum Valley, Sabah, Borneo. Pomiędzy palcami widoczna jest pofałdowana błona lotna. Fot. J. Różański

na Borneo, wykazując podobne adaptacje do lotu jak *Ptychozoon*. Istnieją sugestie, aby włączyć do grona szybujących gekonów Borneo także gatunek *Hemidactylus craspedotus* (Ryc. 8). Posiada on błony lotne między palcami i po bokach ciała, co sugeruje ewolucję w kierunku biernego lotu. Nie są to jednak informacje naukowo potwierdzone. Pokrewne gatunki nie przejawiają podobnych przystosowań. Podobnie jak inne gekony, latające gatunki są terytorialne i walczą między sobą o dominację.

Jednymi z najosobliwszych zwierząt żyjących w lasach deszczowych południowo-wschodniej Azji są jedyne znane gatunki latających węży, należące do rodziny *Colubridae* i rodzaju *Chrysopelea*. Spośród pięciu żyjących gatunków, na Borneo występują dwa, *Chrysopelea paradisi* oraz *Chrysopelea pelias*. Zasięg tego drugiego ograniczony jest prawie wyłącznie do obszarów wyspy. Węże te nie wykształciły żadnych anatomicznych przystosowań do lotu, ale poprzez przyplaszczanie ciała i specyficzny behavior, polegający między innymi na zwieszaniu się przy starcie z gałęzi i wyginanie ciała w kształcie przypominającym literę „J”, mogą „pofrunąć” na



Ryc. 11. Plantacja palmy olejowej to aktualnie dominujący krajobraz na wyspie, Sabah, Borneo. Fot. J. Różański.

stawicieli płazów bezogonowych znajdują się również gatunki, które wykształciły adaptacje umożliwiające szybowanie między drzewami. Należą one do rodziny nogolotkowatych *Rhacophoridae*, rozprzestrzenionej w rejonach tropikalnych Azji oraz Afryki. Narządami lotnymi żab latających są błony skórne rozpięte między palcami kończyn. Zależnie od gatunku,



Ryc. 12. Zachód słońca. Danum Valley. Fot. J. Różański.

stopień rozwinięcia tych błon jest różny, co wpływa na jakość i odległość lotu. Do najbardziej rozpoznawalnych gatunków spotykanych na Borneo należą *Rhacophorus reinwardtii*, *Rhacophorus paradils* (Ryc. 9) oraz *Rhacophorus nigropalmatus* (Ryc. 10).

Gatunki te żyją na drzewach w pobliżu niewielkich zbiorników wodnych. Samice umieszczają jaja w gniazdach z piany na gałęziach drzew, nad powierzchnią wody. Uwalniające się z osłon jajowych kijanki wpadają do zbiornika wodnego, w którym przebiega dalszy rozwój, aż do metamorfozy.

Las deszczowy Borneo do połowy XX w. pokrywał praktycznie całą powierzchnię wyspy. Wskutek zakrojonego na szeroką skalę wylesiania, głównie w celu pozyskania drewna lub pod uprawy palmy olejowej (Ryc. 11), obszar ten skurczył się i w chwili obecnej stanowi jedynie 44,4% pierwotnej powierzchni. Szacuje się, że jeśli obecny trend się utrzyma, do roku 2020 las będzie stanowił zaledwie 32,6% powierzchni lądu. Zanikanie i fragmentacja lasu jest głównym zagrożeniem dla bezcennej bioróżnorodności Borneo. Szczególnie narażone są organizmy, które wykształciły zdolność biernego lotu, bowiem ich adaptacje są ściśle związane z nadrzewnym trybem życia.

Józef Różański, magistrant II roku SUM na kierunku Biologia, Zakład Anatomii Porównawczej Instytutu Zoologii UJ. E-mail: jozek.rozanski@uj.edu.pl. Promotor: dr hab. Krystyna Żuwała, e-mail: krystyna.zuwała@uj.edu.pl.

BIOWODÓR – PALIWO PRZYSZŁOŚCI?

Dariusz Dziga (Kraków)

Pewnego razu, w trakcie codziennego, porannego dojazdu do szkoły moja 9 letnia córka zauważyła prawie zerowy stan na liczniku i wyraziła zaniepokojenie, czy nie braknie paliwa zanim dojedziemy do szkoły. Na to jej młodsza siostra zażartowała, że możemy stanąć nad płynącą nieopodal rzeczką i dołąć wody, bo przecież auto oprócz jedzenia potrzebuje się czasem także napić. Tak się złożyło, że był to akurat czas, kiedy przygotowywałem się do rozpoczęcia wykładów dla studentów kierunków przyrodniczych UJ, zatytułowanych „Biotechnologiczne metody produkcji paliw”. Wtedy to przypomniałem sobie sentencję Juliusza Verne, którą pierwszy raz zasłyszałem na kursie White Biotechnology – Biotechnology for Sustainable Development w czasie rocznego stypendium w Åbo Akademi University w Finlandii. Przypomniałem ją w całości, bo mimo pewnych wad zawiera ideę, która znaczy o wiele więcej, niż mogłoby się wydawać na pierwszy rzut oka. W wolnym tłumaczeniu na język polski brzmi ona: „Wierzę, że pewnego dnia woda będzie użyta jako paliwo, ponieważ wodór i tlen, które ją tworzą, użyte oddzielnie lub razem, stanowiąc będą niewyczerpane źródło ciepła i światła.

Jestem przekonany, że gdy zapasy węgla zostaną wyczerpane, będziemy produkować ciepło przy pomocy wody. **Woda jest paliwem przyszłości**” (Jules Verne, 1875).

Czy woda rzeczywiście może być paliwem przyszłości? Precyzyjna odpowiedź brzmi - NIE. Nie paliwem, ale... substratem do produkcji paliwa. Na dodatek jedynym wymaganym substratem, który przy użyciu energii słonecznej może być przekształcony w wydajne paliwo silnikowe – wodór. W tym sensie wodę można potraktować jako wymarzone „paliwo” Juliusza Verne.

Jeśli ktoś pamięta ogólną reakcję fotosyntezy (będzie o tym mowa poniżej), może dojść do oczywistego wniosku, że na tej samej zasadzie woda służy roślinom (także glonom i sinicom) do produkcji energii, a konkretnie do wytworzenia wysokoenergetycznych wiązań estrowych w cząsteczkach ATP. W ogólnym zarysie można więc powiedzieć, że produkcja wodoru z wody (i energii świetlnej) może przebiegać niejako poprzez naśladowanie procesu fotosyntezy „wymyślonej” przez naturę przed miliardami lat. O tym, oraz o innych aspektach związanych