

Narządy zmysłów i budowa mózgu ważek w zestawieniu z innymi owadami

Sense organs and the construction of the brain of dragonflies in comparison to other insects

Marcin GŁADYSZ¹, Bogdan DOLEŻYCH²

Uniwersytet Śląski w Katowicach, Wydział Biologii i Ochrony Środowiska, Katedra Fizjologii Zwierząt i Ekotoksykologii, ul. Bankowa 9, 40-007 Katowice;
e-mail: ¹marcin.gladysz@gmail.com, ²bogdan.dolezych@us.edu.pl

Abstract. The perception of dragonflies is different than that of most insects because it does not rely on odour reception. The most important is their sense of sight. Well-developed structure of the brain responsible for vision and motor coordination allows dragonflies being quick and proactive hunters. Analyzing the anatomy of the dragonflies' brain we can find some evidences of their evolutionary heritage. Odonata are – after all – one of the oldest orders of insects and these primary features of dragonflies' brain make their perception different from holometabolic insects.

Key Words: Odonata nervous system, insect brain, insect sensory system.

Wstęp

Układ nerwowy owadów składa się z mózgu i brzuszego łańcuszka nerwowego. Mózg owada można podzielić na trzy części: przednią (*protocerebrum*), tylną (*deutocerebrum*) i dodatkową (*tritocerebrum*). Konektywy mózgu tworzą obrączkę okołoprzelykową, która łączy go ze zwojem podprzelykowym (STRAUSFELD 1976a). W brzuszonym łańcuszku nerwowym może znajdować się różna liczba zwojów, w zależności od gatunku. U wielu owadów jest to kilkanaście zwojów, natomiast u much występuje tylko jeden duży zwój w tułowiu, powstały ze zlania się mniejszych zwojów (STRAUSFELD 1976b). Nerwy obwodowe wychodzące z ośrodkowego układu nerwowego unerwiają mięśnie, narządy zmysłów, powłoki ciała i narządy wewnętrzne. Cały układ nerwowy stawonogów jest obficie zabezpieczony przez komórki glejowe. Organizacja gleju u stawonogów jest dalece bardziej złożona niż u pierścienic, przykładowo u *Drosophila melanogaster* MEIGEN, 1830 wyróżnia się pięć typów różnych komórek glejowych (NG i in. 2011). W synapsach owadów występują podobne neuroprzekazniki jak u kręgowców: acetylocholina, aminy katecholowe, GABA, glutamina i kwas glutaminowy.

Obecnie ważki rzadko są obiektem prac neurobiologów, jednak – historycznie rzecz biorąc – jedne z pierwszych prac nad budową i funkcjonowaniem układu nerwowego owadów były prowadzone na przedstawicielach tej grupy, zapewne ze względu na duże rozmiary ciała. Można tutaj wymienić rosyjskiego badacza ZWARZINA, który na początku XX wieku badał anatomię układu nerwowego ważek z rodzaju *Aeshna* FABRICIUS, 1775 (HILTON 1925). Na centralny układ nerwowy ważki składa się duży mózg wraz ze zwojem podprzelykowym (Ryc. 1), 3 zwoje tułowiowe i 8 zwojów odwłokowych, z których pierwszy jest zlany z trzecim zwojem tułowiowym.

Ciała grzybkowate i *deutocerebrum* to kluczowe struktury w neuroetologii owadów

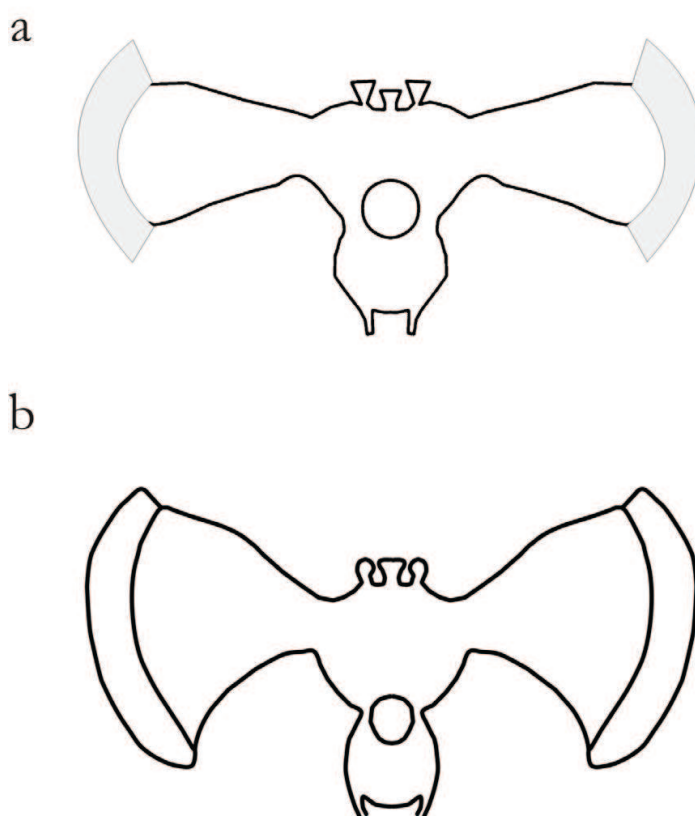
Tak jak różnorodne są owady, tak różnorodna jest morfologia ich mózgow. Bardzo zmienny jest zwłaszcza kształt płatów wzrokowych. Wielkość i stopień rozwinięcia struktur anatomicznych płatów wzrokowych to najprostszy przykład związku pomiędzy budową mózgu a sposobem życia danego gatunku. U owadów bazujących na zmyśle wzroku, takich jak ważki, płaty wzrokowe są znacznie większe niż samo *protocerebrum*. U owadów słabo widzących płaty wzrokowe mogą występować wręcz w szczątkowej postaci.

W mózgu stawonogów występują wyspecjalizowane struktury – neuropile. Są to nagromadzenia wypustek komórek nerwowych o tak dużym stopniu upakowania, że na przekrojach da się je dostrzec w mikroskopie świetlnym, nawet bez wykonania wcześniejszych barwień histochemicznych. Poszczególne neuropile mają ściśle określoną funkcję. Przykładowo trzy neuropile w płatach wzrokowych (*lamina*, *medulla*, *lobula*) analizują bodźce wzrokowe, a położone dokładnie na środku *protocerebrum* ciało centralne odpowiada za koordynację ruchową.

Największymi strukturami w *protocerebrum* są ciała grzybkowate zwane też łądkowatymi (*corpora pedunculata*). Składa się na nie grzbietowo położona część zwana kielichem (*calyx*), łądzka oraz dwa płaty położone w środkowej części mózgu (płat α i β). Neurony, których wypustki budują ciała grzybkowate, noszą nazwę komórek Kenyona. Perykariony tych komórek znajdują się nad kielichem ciał grzybkowatych, dendryty znajdują się w kielichu, a aksony biegną przez łądzkę do płatów α i β . Ciała grzybkowate odpowiadają za uczenie się owadów, głównie to oparte na analizie zapachów.

W *deutocerebrum* znajdują się kłęбки antenalne (glomerule) utworzone z zakończeń nerwów czuciowych antenalnych. Odpowiadają za poruszanie czułkami oraz odbieranie bodźców zapachowych. Z płatów antenalnych w *deutocerebrum* biegnie droga węchowa do ciał grzybkowatych w *protocerebrum*. Wejście tych dróg nerwowych prowadzących z *deutocerebrum* znajdują się w obrębie kielicha ciał grzybkowatych. Płaty antenalne i ciała grzybkowate współdziałają więc w odbieraniu i analizie bodźców zapachowych u owadów.

Podstawowe neuropile znajdziemy u wszystkich owadów, jednak u niektórych będą one bardzo dobrze rozwinięte, a u innych będą występować w postaci szczątkowej. Różnice



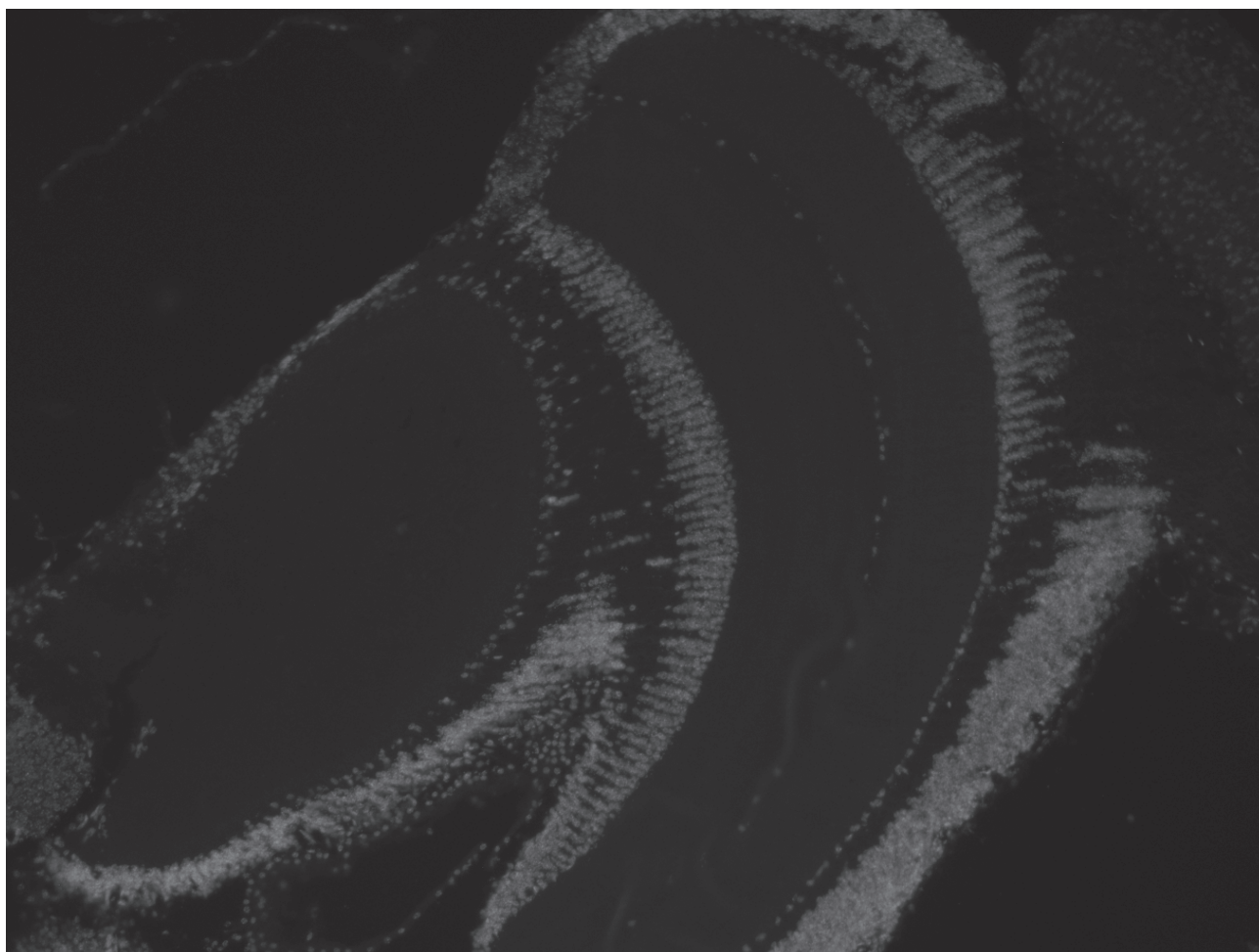
Ryc. 1. Porównanie morfologii mózgu Zygotera (a) i Anisoptera (b).

Fig. 1. Comparison of brain morphology in Zygotera (a) and Anisoptera (b).

w stopniu rozwinięcia poszczególnych neuropil są powiązane z trybem życia owada. Dobrze znanym przykładem jest bardzo wysoki stopień rozwoju ciałek grzybkowatych u wszystkich owadów społecznych (zarówno holo- jak i hemimetabolicznych). Na tym jednak nie koniec. U owadów społecznych stopień rozwoju ciał grzybkowatych, jak i innych neuropil, może różnić się wyraźnie również pomiędzy osobnikami tego samego gatunku. Zarówno u mrówek jak i pszczół stwierdzono różnice w budowie anatomicznej mózgu poszczególnych osobników w zależności od tego, jaką rolę pełnią w roju (GRONENBERG i in. 1996). Jest to czytelny dowód na ważną rolę tych neuropil w zachowaniach społecznych owadów.

Cechy charakterystyczne mózgu ważek

W przypadku ważek szczególnie dobrze rozwinięte są struktury w płatach wzrokowych odpowiadające za analizę bodźców wzrokowych (Ryc. 2). Słabo rozwinięte, w porównaniu



Ryc. 2 Przekrój przez płat wzrokowy *Sympetrum sanguineum* (O.F. MÜLLER, 1764) z widocznymi ogromnymi strukturami odpowiadającymi za analizę bodźców wzrokowych. Świejące punkty to jądra komórkowe wybarwione fluorescencyjnie barwnikiem Hoechst 33258 [Molecular Probes®], dwa duże szare pola bez ciał komórek nerwowych to gęsto upakowane wypustki tworzące neuropile (lewa struktura to *lobula*, prawa to *medulla*).

Fig. 2. Section through the visual lobe in *Sympetrum sanguineum* (O.F. MÜLLER, 1764). Huge structures responsible for the analysis of visual stimuli are shown. Shining points are nuclei stained with Hoechst 33258 [Molecular Probes®] pigment. Two large grey areas without nerve cells bodies are densely packed projections creating neuropils; the left structure is *lobula*, the right one is *medulla*.

do innych owadów, są ciała grzybkowate i *deutocerebrum*. Wskazuje to na dominującą rolę zmysłu wzroku w odbiorze informacji z otoczenia. Ważki posiadają krótkie, segmentowane czułki i struktury w mózgu służące owadom do analizy zapachów (ciała grzybkowate i *deutocerebrum* obsługujące czułki). W rzeczywistości ważki w ogóle nie rozpoznają zapachów (STRAUSFELD i in. 1998). Wydaje się to dość niezwykle. Bodźce zapachowe dla większości owadów mają kluczowe znaczenie. W ten sposób owady znajdują pożywienie, uczą się i komunikują z innymi osobnikami własnego gatunku. Nie oznacza to jednak, że ważki jako rząd w toku ewolucji utraciły zdolność do rozpoznawania zapachów. Najstarsze ewolucyjnie rzędy pośród Hexapoda takie jak: ważki (Odonata), jętki (Ephemeroptera) i skoczogonki (Collembola), są pierwotnie anosmiczne i wynika to właśnie z ich ewolucyjnego dziedzictwa. Praprzodkowie owadów w toku ewolucji wyodrębnili się ze skorupiaków, czyli organizmów wodnych, u których czułki służą do badania środowiska za pomocą zmysłu dotyku. U bardziej współczesnych owadów aparat nerwowy obsługujący czułki wtórnie zmienił swoją funkcję na rozpoznawanie zapachów w powietrzu (STRAUSFELD 1998).

Dominująca rola zmysłu wzroku oraz brak zdolności do rozpoznawania zapachów, a więc i feromonów, znajduje odzwierciedlenie w wyglądzie i zachowaniu ważek. Właśnie dlatego są bogato ubarwione i występuje u nich wyraźny dymorfizm płciowy. Wprawdzie ważki nie są jedynymi owadami z dobrze rozwiniętymi płatami wzrokowymi. Dobrze widzą również przedstawiciele Diptera, Hymenoptera i Lepidoptera. Dotyczy to wyłącznie imago, u larw zwykle występują jedynie zawiązki płatów wzrokowych. Jednak nawet postaci dorosłe owadów holometabolicznych nie są ścisłymi wzrokowcami. Kluczowy pozostaje dla nich świat zapachów. Dla ważek i jętek taki świat nie istnieje, nie są w stanie go odebrać.

Piśmiennictwo

- GRONENBERG W., HEEREN S., HÖLLDOBLER B. 1996. Age-dependent and task-related morphological changes in the brain and the mushroom bodies of the ant, *Camponotus floridanus*. *J. exp. Biol.*, 199: 2011–2019.
- HILTON W.A. 1925. Some remarks on the peripheral nervous system of insects. *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 18: 537–542.
- NG F.S., TANGREDI M.M., JACKSON F.R. 2011. Glial Cells Physiologically Modulate Clock Neurons and Circadian Behavior in a Calcium-Dependent Manner. *Curr. Biol.*, 21: 625–634.
- STRAUSFELD N.J. 1976a. The Primary Compartments of the Brain. [w:] N.J. STRAUSFELD (red.). *Atlas of an insect brain*. Springer, Berlin – Heidelberg: 31–40.
- STRAUSFELD N.J. 1976b. Some Quantitative Aspects of the Fly's Brain. [w:] N.J. STRAUSFELD (red.). *Atlas of an insect brain*. Springer, Berlin – Heidelberg: 49–55.
- STRAUSFELD N.J., HANSEN L., LI Y., GOMEZ R.S., ITO K. 1998. Evolution, discovery, and interpretations of arthropod mushroom bodies. *Learn. Memory*, 5: 11–37.
- STRAUSFELD N.J. 1998. Crustacean-insect relationships: the use of brain characters to derive phylogeny amongst segmented invertebrates. *Brain Behav. Evol.*, 52: 186–206.