
6/ Námluvy s ladičkou

Signální funkce letových zvuků



Všichni známe ten protivný zvuk, zlověstné komorní „a“, kterým se ohlašuje hladová komáří samička, vyhlížející si to nejhodnější místo na naší šíji nebo obličej, když se chystáme usnout ve stanu někde u vody. Většine z nás dříve či později povolí nervy, vztekle rozsvítíme a mokrým ručníkem vytlučeme všechny okřídlené známky života okolo sebe. Nezřídka však ráno patří náš první pohled červeně napitému komárovi, který jako výsměch našemu večernímu rozhořčení čeká, až otevřeme stan a vyšleme ho plnit své další biologické poslání. To nás ovšem ani nenapadne, a pak se jen divíme, jak rezignovaně se nechal rozmáčknot, a velká ošklivá červená skvrna na plátně je nám až do konce dovolené vzpomínkou na naši neuváženou krvavou pomstu. Být v té chvíli, kdy se samička chystala ke své poslední večeři, na našem místě komáří sameček, zcela jistě by neodolal. Tón, jenž nám byl signálem zákeřného útoku, je pro něho příliš silné milostné lákadlo.

Již před mnoha lety lidé pozorovali, že komáří reagují na rozmanité zvuky. Dochovaly se zmínky i o tom, že je přitahují tóny hudebních nástrojů nebo lidský hlas⁹⁰⁸. Helsinský entomolog dr. Jaakko Sürjämäki si údajně při práci v terénu prozpěvoval jistou finskou národní písničku, když mu náhle při určitém tónu celé hejno rojících se mušek zamířilo přímo do úst. Ne nadarmo praví španělské přísloví: *En una boca cerrada no entran moscas*, do zavřené huby mouchy nevletí. Nebo jiná zaznamenaná kuriozita. Po spuštění elektrického osvětlení v New Yorku roku 1878 technici pozorovali, že bzující dynamo lákají roje komárů, kteří se pokoušeli dostat do skříně s generátory. Podobný zájem komárů o elektrotechniku byl později hlášen i odjinud. Entomologové už tehdy pozorovali, že na zvuk reagují jen samečkové a že je nejvíc vzruší bzukot letící samičky. Nejlepším způsobem, jak v laboratoři přimět komáry k páření, je zatřást klecí a donutit je vzlétnout.

První důkladná studie komářích námluv a jejich sexuálního chování byla provedena až v roce 1948 u obávaného přenašeče žluté zimnice komára tropického (*Aedes aegypti*) entomologem Luisem M. Rothem¹¹⁴⁵. Po přečtení 87 stran publikace se člověk dozví i ty nejintimnější podrobnosti sexuálních praktik tohoto otravného hmyzu. Nebudu probírat, kterou nohou si partner partnerku přidrží nebo jak dlouho jejich vzájemné splynutí trvá, vybral jsem jen partie týkající se jejich akustických námluv. Samečky různého stáří vystavoval dr. Roth tónům ze zvukového generátoru o výškách od 150 do 750 Hz a různých intenzit a zaznamenával jejich *fonotaktické reakce*, tj. vzlétnutí směrem ke zdroji zvuku. Nejmladší samečkové jako by zvukům ještě nerozuměli a nenechali se jimi vzrušovat. Jakmile ale dospěli, což jim trvalo 15 až 24 hodin, nabízené zvuky

v rozmezí 300 až 800 Hz pro ně nabyly na přitažlivosti a nejúčinnějšími se ukázaly tóny o kmitočtu okolo 430 Hz. Jen pro představu, je to přibližně výška komorního (jednočárkovaného) A, podle něhož hudebníci ladí nástroje. Hladina zvuků, jež vyvolala největší zájem samečků, byla 68 dB (decibelů). Určité procento jich ještě reagovalo na intenzitu odpovídající hladině 119 dB. To představuje v našem zvukovém světě ohlušující řev tryskového letadla! Zajímavé bylo i zjištění, že atraktivní tón byl účinný i v přítomnosti značně silného zvukového pozadí. Teprve při stonásobném přehlušení jeho přitažlivost poklesla. Tón ze zdroje bodového byl účinnější než tón ze zdroje difuzního. V přísně kontrolovaném prostředí akustické komory tak byla poodhalena část tajemství sluchové orientace komářích samečků.



Pohlaví u komárů se na první pohled pozná podle tykadel. Hustěji zpeřená tykadla mají samci, samičí tykadla bývají delší. Ilustrace: Zuzana Kučerová

Byl čas obrátit pozornost i na letící samičku, o níž se předpokládalo, že je hluchá, a pomocí akustických analyzátorů se přesvědčit, zda to skutečně může být píseň jejích křídel, co tak neodolatelně vzdušné nápadníky láká. Údaje z akustické komory stroze oznamovaly: frekvence 449 až 603 Hz, hladina 30 dB 2 cm od zdroje, hodnoty proměnné s teplotou, stářím, množstvím přijaté potravy a stupněm opotřebování křídel. Akustické parametry bzukotu letící samičky tedy odpovídají vlastnostem generovaných tónů, jež nejvíc vzrušovaly pohlavně dospělé samečky. Ověřovací pokus s magnetofonovým záznamem bzuknutí letící samičky jednoznačně závěry potvrdil. Pro samečky byl stejně přitažlivý jako umělý zvuk z generátoru a jeho účinnost rovněž klesala při snižování nebo zvyšování kmitočtu zpomalováním nebo zrychlováním přehrávky záznamu.

Vše doposud uvedené dobře vysvětluje, proč lze komáří samečky snadno ošálit třeba i obyčejnou ladičkou – a název kapitoly hned ztrácí svou absurdnost. Skutečně, přiblížíme-li zvučící ladičku ke klíčce s komářími samečkami v celibátu, vrhají se na stěnu u ladičky a pokoušejí se kopulovat buď sami se sebou, nebo s tkaninou dělící je od vytouženého zvuku.

Popsané pokusy však ještě nevysvětlují spoustu otázek, které musí napadnout každého, kdo se hlouběji zamyslí nad tímto primitivním způsobem předsvatební domluvy. Reaguje vzrušený sameček i na jiného letícího samečka? Obtěžuje každou kolem letící samičku? Je samička schopná říci své „ne“? Může se samečkovi stát, že se bude dvořit samičce jiného druhu? Jak to, že slyší jen samečkové a kde mají své uši? Jak poznají směr, kterým se dát za samičkou? Odpoví nám výsledky dalších pokusů Luise Rotha a řady jeho následovníků.

Co určuje frekvenční rozsah (výšku) tónů atraktivních pro komáry? Dr. Roth zjistil, že klíčem k odpovědi je jejich stáří, přesněji pohlavní zralost. Pohlavně dospělé samice a čerstvě vylíhlí samci mávají křídly s přibližně stejnou relativně nízkou frekvencí a pohlavně aktivní (starší) samci reagují na oba zvuky. Naproti tomu bzukot čerstvě vylíhlé

samičky je pro samce neatraktivní, protože je příliš vysoký. Ostatně pro příslušnici něžného pohlaví je to období, kdy milostné dobrodružství nemůže být její prvořadou starostí a kdy jakékoli pozornosti ze strany samečků ji budou nepříjemně rušit. Třeba při shánce krve pro první snůšku vajíček. A opravdu, mladá nenasátá samička, sama v kleci plné pohlavně dospělých samečků, zůstane bez úhony, neboť zvuk, který za letu vyluzuje, je mimo oblast kmitočtů podněcujících u nich pářicí choutky. Pedofilní sklony dospělých samců jsou, zdá se, tím vyloučeny. Mladí samečkové se snaží vyhnout harašení ze strany svých dříve narozených soukmenovců jednoduše tím, že po celou dobu dospívání někde tiše vyčkávají, až jim skončí puberta a křídla se jim rozezpívají v té správné tónině. Dospělý sameček vyluzuje tóny vyšší až o jednu oktávu než samička, a proto je pravděpodobnost záměny malá.

Záměna se samičkou jiného druhu přichází teoreticky v úvahu, pokud by ovšem vydávala onen správný tón. Navíc většina badatelů byla přesvědčena, že samička hraje v komáří milování zcela pasivní úlohu, a nenašli žádné důkazy, že by sama reagovala na jakékoli zvuky jinak než poplašeným chováním. Panovalo přesvědčení, že veškerá iniciativa při námluvách zůstává jen na samečkovi. Ten se přitom nespolehá jen na svůj sluch, ale v intimnějším styku zapojí i další smysly, takže omyl pozná dřív, než dojde ke spáření. U komárů byly později skutečně zjištěny i sexuální feromony^{215, 411}. Ale k situacím tohoto druhu v přírodě nedochází často. Až se dostaneme k rojení, uvidíme, jak různé zvyky různých druhů záměnu partnerů prakticky vylučují.

Další otazník visí nad zjištěním, že samečkové reagují na poměrně širokou kmitočtovou oblast – v rozmezí nejméně 320 až 550 Hz. Dr. Roth to vysvětluje úvahou, že takový stupeň volnosti zaručuje „sex-appeal“ i samičkám, které by nemohly svůj bzukot z nejrůznějších nekontrolovatelných příčin (poškození křídel, nadměrný náklad nasáté krve apod.) vyladit, a tím by přišly o možnost ztratit panenství. Věrohodnost svých argumentů opřel o pokusy, při nichž ustříhoval upoutaným samicím části křídel a sledoval, jak se tón jejich zpěvu mění. Čím větší plochu křídla odstranil, tím víc poklesla hlasitost tónu a stoupla jeho výška, ale samice byla stále pro samce atraktivní. O kopulaci se pokoušeli i se samicí, které z křídel zbyly jen krátké vibrující pahýlky. Usoudil, že zdrojem zvuku může být jakýsi „stridulační orgán“ při základech křídel, což údajně dodatečné morfologické studie nevyloučily.



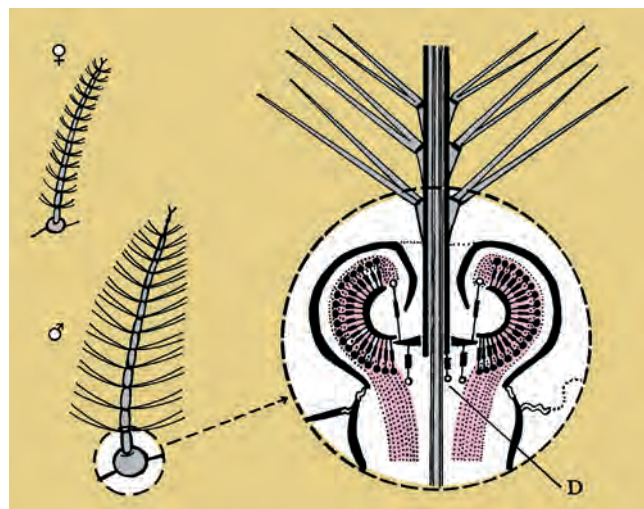
Vypátrat sídlo sluchových orgánů nebylo těžké. Čím se nejnápadněji komáří samečci od samiček liší, jsou jejich tykadla – samci je mají dlouze ochmýřená, takže připomínají vánoční stromeček, samičí tykadlo je o něco delší, ale zdaleka ne tak bohatě ochmýřené. Stačilo samečkovi tykadla ustříhnout a ten ohluchl. Stejně tak přestal na letící samičku nebo na tón ladičky reagovat, když mu dr. Roth tykadla znehýbnil kapičkou šelaku kápnutou na jejich bázi nebo když konec tykadla kapičkou šelaku zatížil. Po odstříhnutí „závaží“ samci opět reagovali normálně. A konečně i oholení chmýřité ozdoby tykadla přivodilo samcům značnou nedoslýchavost. Své partnerky začali ignorovat, ale stále je vzrušoval mnohem hlasitější zvuk ladičky. Těžké nebylo ani odhalit vlastní smyslový orgán citlivý na zvukové vlnění. To už ostatně udělalo několik badatelů před ním.

Tady ale musíme poněkud odbočit a podívat se na tykadlo hodně zblízka. Všechna tykadla hmyzu, ať je jejich tvar, velikost nebo funkce jakákoli, mají jedno společné. Vět-

šina pohybů tykadla se uskutečňuje od druhého článku výš. Nejpohyblivější vůbec je pak kloub mezi druhým článkem a zbytkem tykadla (bičíkem). Pohyb kloubu je vnímán pozoruhodným smyslovým orgánem, s nímž jsme se už setkali při popisu letového rychloměru mouchy. Poprvé byl popsán už v roce 1855 právě u komárů⁷⁰³, snad proto, že u nich je nejnápadnější. Jeho objevitel, baltimorský lékař Christopher Johnston, správně tušil, že jde o detektor zvuku, a nazval ho proto zvuková kapsle. Jako první přišel s domněnkou, že pomocí ní je sameček naváděn na bzukot samičky. O dvě dekády později jeho domněnku potvrdil profesor A. M. Mayer⁹¹¹ a na počest objevitele kapsli nazval *orgán Johnstonův*. Od té doby se mu v odborném písemnictví nejen u komárů věnovalo víc než tři desítky publikací^{237, 972}.

Podívejme se pod mikroskopem na řez Johnstonovým orgánem. Na pohyblivé části kloubu tykadla se upínají jemná smyslová vlákénka, nám již dobře známá jako chordotonální. Součástí každého vlákénka je jedna nebo více smyslových buněk, které jsou s to zachytit i sebenepatrnější změny v napětí vlákénka při pohybu kloubu. Základní funkcí Johnstonova orgánu u kteréhokoliv hmyzu je informovat o postavení tykadla v daném okamžiku. Je citlivý nejen k pohybům tykadla způsobeným hmyzem samotným, ale též k pohybům vyvolaným třeba vzdušným proudem. Vzpomínáte na rychloměr mouchy? Odstraníme-li okřídlené mšici bičík tykadla, její let se stane chaotickým. Normální let se obnoví, když bičík nahradíme umělým tykadlem třeba z jemného vlasu. Brouk vírník, brázdící v divokých kruzích hladinu, pokládá svá tykadla na povrchový film vody. Jeho Johnstonův orgán vnímá i nepatrná zakřivení hladiny okolo překážek a je schopen reagovat dokonce na ozvěnu vlnění způsobeného vlastním pohybem. Je to nepostradatelný navigační přístroj, zajišťující bezpečnost provozu na hladině.

Vraťme se však ke komárům. Žádný hmyz nemá tak nápadně vyvinutý Johnstonův orgán jako právě oni. Druhý tykadlový článek je kulovitě nadmutý a doslova nabitý chordotonálními vlákny. Ochmýřený bičík je zase jako stvořen pro zachycování zvukového chvění. Není proto divu, že jak strukturu bičíku, tak anatomii chordotonálních orgánů dával již dr. Johnston do souvislosti se sluchovou funkcí tykadla. Dostatečným důkazem to však není. Údajně hluchá samička sice tak bohatě ochmýřené bičíky nemá, Johnstonův orgán však má téměř stejně velký jako sameček. Teprve v 70. letech se podařilo po-



Tykadlo komářího samce je oproti tykadlu samičky bohatěji ochmýřeno. Pohyby tykadla vyvolané akustickým vlněním vnímá Johnstonův orgán ve druhém článku, vybaveném čtyřmi druhy chordotonálních mechanoreceptorů uspořádaných do tvaru kalicha. Dlouho se věřilo, že na zvuk letící samičky je citlivé jen chordotonální vlákénko D, které samička postrádá. Podle pozdějších výzkumů je však mechanismus audiorecepce komára mnohem složitější. Ilustrace: Zuzana Kučerová



Snímek hlavy samce komára rodu *Anopheles* hodně zblízka ukazuje delikátní topořivé ochmýření bičíku tykadla a jeho kulovitý pedicel (druhý článek) nesoucí Johnstonův orgán. Foto: Gabriella Gibson

mocí elektronového mikroskopu nalézt u samečka něco, co samičce chybí¹⁵⁷. Každé z cca 16 tisíc chordotonálních vláček se dá přiřadit k jednomu ze čtyř typů. K typu A jich patří většina (několik tisíc v jednom tykadle) u obou pohlaví. Typ B je zastoupen asi dvěma sty a typ C pouze dvěma vláčkem, ale také u obou pohlaví. Jen typ D byl zjištěn pouze u samečka, a to jako jediné vláček v celém orgánu. Bude to snad ta pravá strunka mezi tisíci ostatních, nezbytná pro zprostředkování vzdušného setkání dvou okřídlených milenců?

Ještě jedna vlastnost komářího „ucha“ stojí za zmínku. Protože reaguje výlučně na pohyb vzduchových částic provázející zvukové vlnění, je pěkným příkladem ucha *pohybového*. Slyší proto i směr, odkud zvuk přichází. Tykadla totiž nevibrují v podélném směru své osy, jsou-li vystavena zvukům přicházejícím ze strany. A tak i jediné tykadlo je schopné poznat, odkud zvuk přichází, a ztrátou jednoho tykadla není ještě sameček odsouzen ke staromládenectví.



I když se vylíčené úsilí vědců o objasnění podstaty zvukové komunikace u komárů může jevit jako jasný příběh s dobrým koncem, na němž se od Johnstonova objevu v polovině 19. století podílela řada profesionálů a jehož populární verzi omílaly a recyklovaly různé učebnice a žurnály (včetně první verze této knížky), přece jen zůstaly určité otázky a pochybnosti o správnosti interpretace zjištěných pozorování a závěrů z nich učiněných. Skeptikové si kladli nejčastěji otázku, zda je akustická konverzace mezi pohlavími skutečně jednosměrná záležitost, a pakliže ano, proč mají samičky téměř stejně luxusně vybavený Johnstonův orgán při bázi dokonce delšího, byť méně „ochlupeného“ tykadla. Pochybnosti vyvolávala i opakovaně ověřovaná zjištění, že poměrně široký frekvenční rozsah tónů (300 až 600 Hz) více či méně atraktivních pro samečky může zajišťovat dostatečně jednoznačný signál pro identifikaci správného partnera. Pochybovačům se prostě celý příběh začal zdát být podezřele jednoduchý – *too good to be true* –, a tak se s nadšením vlastním jen mládí pustilo do práce hned několik týmů složených z entomologů, neurofyziologů, akustiků, a nakonec i biochemiků.

Přispěla k tomu jistě i skutečnost, že do seznamu nepravostí krvežiznivého komára tropického (*Aedes aegypti*) přibyl koncem dvacátého století ještě jeden „hřích“, byl usvědčen i z šíření nebezpečné virové choroby – *horečky dengue*, a to i v nejcivilizovanějších oblastech světa, kam díky globalizaci emigroval z Asie ještě jeden elegantní zločinec, komár tygrovaný (*Ae. albopictus*). Ten byl usvědčený z přenosu nejen obou virových horeček (nilské a dengue), ale i nově se z Jižní Ameriky šířícího viru horečky

Dva blíže příbuzní komáři – k. tropický (*Aedes aegypti*) (A) a k. tygrovaný (*Ae. albopictus*) (B) jsou si velmi podobní jak vzhledem, tak schopností přenášet při sání krve virové patogeny. Komár tygrovaný se pozná podle bílého hřbetního pruhu na hrudi. Zdroje: (A) Wikipedia; T. P. Sansonovski, (B) Dreamstime.com



Zika, jenž byl dáván do souvislosti s mikrocefalií novorozenců. Na základní výzkum obou druhů komárů byly proto z veřejných rozpočtů uvolněny významné sumy. Obnovený zájem vědců vybavených špičkovými přístroji pro akustiku, smyslovou fyziologii a chování přinesl nové, pro odborníky možná až šokující poznatky nejen o rafinovanosti komářích akustických námluv, ale i o neurofyziologii hmyzího sluchu obecně.

Pandořinu skříňku pootevřeli dva texaští entomologové z Baylorovy univerzity ve Waco, když se pokoušeli v laboratoři spářit ony dva výše zmíněné blízce příbuzné a epidemiologicky stejně závažné druhy komárů, tropického a tygrovaného. To se jim ale v kleci nepodařilo, přestože jejich životní cykly, doba pohlavní zralosti i sexuální chování se na první pohled příliš nelišily³³⁵. Nezbylo než se detailně podívat na jejich sexuální chování. Začali u akustických námluv. O samci komára tropického bylo notoricky známo, že lokalizuje samici podle zvuků za letu, ale u invazního komára tygrovaného to ještě nikdo nezkoumal. Texasané začali tím, že porovnali reakce samců obou druhů na akustické signály vlastní i cizí samičky. Podle očekávání samci komára tropického reagovali na samičí bzukot letem ke zdroji a pokusem o kopulaci, zatímco tygrované samce vyzývavé dámské volání moc nevzrušovalo. Porovnání digitalizovaných záznamů zpěvu samic obou druhů ukázalo, že jejich hlasy se významně liší – zpěv komáříce tropické je hlasitější, ale hlavně, má více harmonických kmitočtů než hlas komáříce tygrované. Pokud si mohli samečkové vybrat mezi oběma současně nabízenými zpěvy, tropičtí dávali jednoznačně přednost hlasu vlastních samic, tygrovaní ani na jeden hlas nereagovali. Zřejmě se způsob hledání partnerky u obou druhů liší – komár tropický spoléhá víc na to, co slyší. Něco tu ale stále nehrálo, tykadla samců obou druhů se nijak zásadně nelišila. Jediné, co se lišilo, byla ta harmonická struktura bzučení letících samiček na spektrogramu. A to se nakonec ukázalo jako hlavní poučení a vodítko pro pokračovatele v tomto výzkumu.*

Další tým, který v následujících letech zvedl pomyslnou rukavici, tvořili tři Němci pracující v bioakustické laboratoři curyšské univerzity pod vedením čerstvého doktora Martina Göpferta^{488, 485, 486}. Mladíci zjistili, že harmonickou strukturu mají u komára tropického zvuky obou pohlaví, tzn. že kromě základních frekvencí (okolo 670 Hz u samce a 460 Hz u samice) mají ještě harmonické komponenty o jednu nebo více oktáv vyšší. S pomocí mikroskenovacího laserového vibrometru pak jako první na světě podrobně prozkoumali všechny druhy tykadlových vibrací, které zvuky letících komárů indukují. Zjistili, že samičí tykadlo se rezonancí rozvibruje při přibližně dominantní frekvenci zvuku samičího letu, ale obráceně to neplatí – samičí tykadlo není na zpěv samčích, ale ani samičích křidélků rezonančně naladěné. Zvláštní pozornost švýcarští studenti věnovali i ochmýření tykadla a jeho funkci při vnímání zvuků.

Že vlásky na samčím tykadle rezonují při zvucích různých ladiček různě, popisuje už v roce 1874 profesor Mayer⁹¹¹, ano ten, který sluchový orgán pokřtil po Johnstonovi. Domníval se, že jejich vibrace se přenášejí na osu bičíku, což umožňuje samci reagovat na širší pásmo vibrací, a považoval to za výhodu. Pozdější autoři rovněž pokládali ochmýření za prostředek ke zvětšení plochy tykadla, a tím ke zvýšení jeho akustické citlivosti^{241, 1342}. Studie curyšských mladíků tyto závěry v podstatě potvrdila a ještě je upřesnila zjištěním, že tykadlové vlásky se rozechvějí ve dvou rezonančních vrcholech.

* Vyšší harmonické tóny (aliquotní tóny) zní společně s tónem základním. U každého tónu (zvuku) se většinou vyskytuje množství alikvotních tónů a jejich intenzita určuje charakteristickou barvu zvuku.