

V ýrazné učitelské osobnosti jsou jako epigenetické značky¹ které spouštějí, ovlivňují nebo naopak inaktivují schopnosti dřímající v myslích žáků a studentů přesně tak, jako jsou modifikovány naše geny, namotané ve formě DNA na histony v jaderném chromatinu. Když učitelův „epigenetický“ vliv pomine, když se žáci-jablíčka odkulí dál od rodného stromu, nebo dotyčný učitel-koryfej odejde do všeobecného pohřebiště lidstva, tito jeho duševně acetylovaní nebo metylovaní žáci bilancují, jak jeho osobnost spustila nebo modulovala jejich vlastní vědecký život. Já jsem se od svého učitele například mj. naučil, jak elegantně koulet po chodbě fakulty těžkou bombu se stlačeným dusíkem v téměř svislé poloze; to uměl tehdy ještě pan docent znamenitě.

Chtěl bych připomenout Kubištův přínos k fantastickému molekulárnímu „stroji“, řízenému nadto nervovou soustavou funkčně i metabolicky. Jde o hmyzí svalovinu, tedy konkrétně svaly u sarančete a švába, s nimiž Václav Kubišta pracoval. Na nich r. 1958 demonstroval, že obsahují hodně glycerol-3-fosfátu a pyruvátu (pyrohroznové kyseliny) a málo laktátu (kyseliny mléčné, Biochem. Z. 330, 315, 1958). Znamená to, že v metabolické dráze štěpení glukosy bez kyslíku (anaerobní glykolýza) se u hmyzu sice netvoří 2–3 mol ATP na mol glukosy, ale okamžitě se rozjíždí na kyslíku závislá kaskáda úplně

Na co létá moucha?

(k počtě Václava Kubišty)

FRANTIŠEK
VYSKOČIL

oxidace (předávání elektronů až na kyslík) v mitochondriích s mnohem větším ziskem ATP.

Anaerobní degradace cukrů u obratlovců probíhá sumárně takto:

glukosa + 2ADP + 2Pi = 2 laktáty + 2ATP.

(Pi – anorganický fosfát, ADP – adenosindifosfát, ATP – adenosintrifosfát).

Zde je glycerol-3-fosfát jen meziproduktem. Tomuto procesu se někdy říká laktátová glykolýza. Naproti tomu u hmyzu je souhrnná reakce glykolýzy jiná:

glukosa + Pi = glycerol-3-fosfát + pyruvát,

což je ten pověstný Cimrmanův krok stranou v provedení Kubištovy glycerofosfátové zkratky (shuntu).

Glycerofosfátová glykolýza má pro hmyz velký význam. Sice se netvoří při glykolýze dvě „brikety“ ATP a ani není možná zpětná syntéza glukózy a glykogenu, ale obě sloučeniny mohou přes acetylkoenzym A a glycerol-3-fosfátové „kyvadlo“ (Voet, Voetová: Biochemie obr. 20-6) ihned přenést elektrony do Krebsova cyklu trikarboxylových kyselin a oxidačního řetězce v mitochondriích, kde vzniká ATP mnohem víc (34 molů ATP z 1 molu glukózy). Z toho je jasné, že výkonné hmyzí svaly nutně potřebují atmosférický kyslík pro získání chemické energie ve formě ATP.

Když bylo v atmosféře před asi 300 miliony let, v období karbonu, až 35 % kyslíku, proháněly se vzduchem skoro metrové vážky (*Meganeura monyi*), ale dnes takové obry v říši hmyzu nenajdeme; měli by problémy

se zásobením svalů kyslíkem, realizovaným prostou difuzí ve vzdušnicích. Naproti tomu v obdobích zimního metabolického klidu pod hladinou zamrzlých rybníků snadno přežívají některé želvy a ryby (zvláště karasi) v podstatě anaerobně a stačí jim jen to malé množství ATP, vznikající při snížené tenzi kyslíku ve vodě hlavně laktátovou glykolýzou (viz Vesmír 84, 604, 2005/10).

Kubišta se svými studenty analyzoval v šedesátých letech klidový a aktivní stav sarančete nebo letícího švába pomocí někdy velmi originálních nástrojů. Zkonstruovali např. velké kleště s navařenými kovovými destičkami, ochlazenými v tekutém dusíku (–196 °C). Volně zavěšený hmyz, mávající usilovně křídly, byl rychle scvaknut kleštěmi a tím se fixoval okamžitý stav tkání a mohlo se kolorimetricky stanovit množství fosfátových sloučenin a dalších metabolitů. My, co jsme pracovali jako diplomanti na oby-

čejných žábách nebo myších, jsme sadisticky žadonili, abychom si mohli taky cvaknout...

Od té doby byly svaly hmyzu prozkoumány mnohem podrobněji. Inervace kosterních svalů je natolik jiná než u obratlovců a v řadě vlastností se liší od kosterních svalů obratlovců do té míry, že se ani nechce věřit evolučním představám, že hmyz a obratlovci měli nějakého společného předka. U obratlovců je nervosvalová synapse sice složitá, leč poměrně tupé zařízení sloužící k bezpečnému přenosu elektrického nervového impulsu přes sy-

Mouchy z čeledi lupicovitých (Dolichopodidae) jsou většinou dravci a zdržují se na vlhkých místech a v blízkosti vody. Dlouhé nohy jim slouží mimo jiné k pohybu po vodní hladině. Všechny snímky dvoukřídlých (Diptera) na s. 266–269 © Stanislav Krejčík, www.meloidae.com.

Prof. RNDr. František Vyskočil, DrSc., (*1941) vystudoval Přírodovědeckou fakultu UK v Praze. Ve Fyziologickém ústavu AV ČR, v. v. i., se zabývá neurofyziologií a biofyzikou buněčných membrán. Objevil nekvantové uvolňování neuropřenašečů na synapsích savců. Hirschův index (Vesmír 85, 555, 2006/9) jeho prací je 31. Je členem Učené společnosti ČR a The Physiological Society (Londýn a Cambridge). Na Přírodovědecké fakultě UK v Praze a na Lékařské univerzitě v Kazani přednáší fyziologii živočichů a člověka. V roce 2011 získal čestnou oborovou medaili J. E. Purkyně a na návrh předsedy AV ČR medaili Josefa Hlávky.

¹⁾ Epigenetika studuje regulace (posílení či potlačení) syntézy proteinů vnitřními nebo vnějšími vlivy během vývoje a života jedince. Expres (uskutečnění) výroby určitého proteinu za pomoci příslušného genu může být silně ovlivněna přímo v šroubovici DNA metylací a hydroxylmetylací cytosinu v dinukleotidu cytosin-guanin. To je obvykle spojeno s inaktivací tohoto genu. Tato modifikace může (ale nemusí) být děděna epigeneticky, protože existuje systém, který po replikaci DNA rozpoznává hemimetylované sekvence a konvertuje je na plně metylované sekvence v obou vlákních. Další regulační místa leží na bílkovinách histonech, proteinových válečcích obtáčených smyčkami DNA (nukleosomální histony). Histony mohou být vcelku náhodně funkčně inaktivovány nebo aktivovány metylací nebo acetylací příslušnými enzymy. Z epigenetických důvodů mohou mít naklonované, geneticky naprosto stejné myši nebo kočky např. různou barvu srsti nebo oční duhovky.



Vlevo pakoň (čel. Chironomidae) z Dominikánské republiky, vpravo kuklice *Phasia aurigera* vyfocená v horském smrkovém lese v Jeseníkách.

naptickou šterbinu na svalovou membránu a k následnému stahu. Každý jednotlivý stah je výsledkem jednoho nervového elektrického akčního potenciálu z míchy. Sval je tedy s nervem synchronizován. U hmyzu je to často jinak. Vysoká frekvence mávání křídel bývá zajištěna tím, že jeden nervový impuls, depolarizace membrány svalového vlákna, vyvolá několik, řekněme pět, rytmických pohybů křídel.

Tento děj je vzhledem k nervu asynchronní. Každý akční potenciál vyvolá zvýšení Ca^{2+} ve vlákne (aktivace kontraktilní ATPázy), ale během zvýšeného Ca^{2+} dochází k sérii velmi rychlých stahů, rytmizovaných natažením antagonistických svalů, nebo elastickou složkou, „pružinkou“ uvnitř svalového vlákna. Drobnouci pakoňi proto mohou kmitat křídly až 1000krát za sekundu, tj. jedenkrát za milisekundu. Tak je to např. u much a komárů (Diptera), vos a včel (Hymenoptera) a brouků (Coleoptera). Svět hmyzu je ale rozmani-

tý, takže třeba u vážek (Odonata) je mávnutí křídel také synchronní s každým nervovým impulsem a tedy méně časté – „jen“ kolem 150 Hz. Když houslista nebo zpěvák (oba to jsou obratlovci) vytváří umělý třes prstu na struně nebo třes hlasivkových svalů pro krásný tón, vibrují s nesrovnatelně pomalejší frekvencí 6krát až 9krát za sekundu. Kolibříci jsou rychlejší, létají s frekvencí mávání křídel asi 70 Hz.

Další rozdíl je v chemických látkách, které se uvolňují z nervu a dráždí receptory na svalové membráně. U obratlovců je to acetylcholin, kdežto u hmyzu glutamát, což jsme kdysi potvrdili u larviček drozofily (Experientia 35, 213, 1979).

Jiný rozdíl. Svalová vlákna hmyzu mají často místo stejně velkých akčních potenciálů, běžných u obratlovců, své elektrické potenciály odstupňované (u pomalých „červených“ svalů obratlovců tento princip známe ale také). Nadto jsou hmyzí nebo račí vlákna inervována nejen excitačními nervovými vlákny, ale také inhibičními a navíc ještě speciálními neuromodulačními motoneurony. Takže hmyzí svalovina může být ovládnuta nejen z hlediska nervových povelů, tj. kdy a jak se má stáhnout, ale i metabolicky, jak bylo nedávno prokázáno u sarančete. U sarančete a jiných druhů je tvořen neuromodulační systém v gangliích unikátní skupinou nepárových dorsálních modulačních neuronů (DUM), od nichž vedou na obě strany tě-

2) Oktopamin je významný modulační neuropřenašeč v nervovém systému bezobratlých. Byl nazván podle chobotnic (*Octopus* sp.), z jejichž slin byl poprvé izolován r. 1948. Nachází se také v některých rostlinách, např. v citrusech. Patří mezi biogenní aminy, jako jsou adrenalin, noradrenalin a dopamin, a podobně jako ony vzniká také z aminokyseliny tyrosinu. Oktopamin ovládá sociální chování, příjem potravy, kladení vajec, útok nebo ústup při vzájemných soubojích u hmyzu a korýšů. Podílí se také na metabolických pochodech v orgánech sloužících ke světélkování, především u mořských živočichů (ostnokožci, např. hadice Ophiuroidea). Hlavní způsob účinku spočívá v otevírání membránových vápníkových kanálů a v metabotropní regulaci intracelulárních procesů (adenylylcyklázy aj.), které zpětně působí na funkce neuronů a endokrinních buněk uvolňujících jiné neuropřenašeče nebo hormony. Oktopaminergní nervový systém je schopen přepnout celý organismus z tonického do dynamického stavu. Údajně má oktopamin přispívat ke spalování tuků i u člověka, ale to nebylo prokázáno; u kobyly tento neuromodulátor zvyšuje spalování cukrů (viz text).

Druh *Syrphus vitripennis* patří mezi pestřenký (čel. Syrphidae), laikům známé jako drobné „vosičky“, které umí létat na místě. Dospělci se živí nektarem a pyllem rostlin, larvy jsou dravé. Svým zjevem se snaží napodobit jiný, zejména nebezpečný hmyz, jsou však neškodné.

la bilaterálně symetrické axony, které vylučují oktopamin² a inervují svaly s vysokou spotřebou energie, především svaly létací.

K čemu tato nervová vlákna slouží? V přípravné fázi před letem se svaly „nabíjejí“ energií za pomoci oktopaminu, vylučovaného právě z nervových zakončení DUM. Začíná se tvořit velké množství okamžitě použitelného paliva, tj. ATP, aktivací glykolýzy (glykolytickým aktivátorem fruktóza 2,6-bisfosfátem) a zrychluje se dýchání (na pumpující zadečku sluněčka nebo chroustka před startem z dětského prstu je to pěkně vidět). Jakmile se ale saranče odrazí a vyletí, neuroiny DUM jsou utlumeny, oktopamin se nevylučuje a svaly začnou vzácnými cukry šetřit. Nejen při startu, ale i při letu je samozřejmě třeba energie. A tak sice dojde k poklesu svalové glykolýzy, ale svalový metabolismus se během dlouhodobého letu přepne na oxidaci tuků především z tukových tělísek typických pro hmyz [Physiology (Bethesda) 26, 293, 2011]. To je jeden z nejvýznamnějších poznatků fyziologie hmyzu v poslední době.

Možná by se tento geniální princip přepnutí na jiné (lacinější?) palivo dal použít i při dálkových letech našich letadel. To by se jistě panu profesorovi Kubišovi moc líbilo. ☺



Vývoj realizace projektu **Řízení lidských zdrojů organizace ÚHÚL**

*Projekt „Vytvoření a implementace komplexního systému řízení lidských zdrojů v organizaci“
RČ. CZ.1.04/4.1.00/58.00011*

V rámci projektu byly zpracovány a akceptovány výstupy:

Analýza a optimalizace personálního řízení

Analýza a optimalizace systému vzdělávání zaměstnanců ÚHÚL

(Součástí dokumentu je Analýza systému vzdělávání ÚHÚL, Kompetenční model, základní charakteristiky a podmínky pro vytvoření plánu vzdělávání zaměstnanců ve vazbě na Kompetenční model a znalostní databázi pro ŘLZ)

Kompetenční mapa, Katalog kompetencí, Katalog rozvojových programů

Implementační plán

Plán na přípravu školení relevantních zaměstnanců ŘLZ



Výstupy budou dále využity v navazujících aktivitách projektu a budou vstupem pro nový Komplexní systém řízení lidských zdrojů v organizaci, pro plán vzdělávání zaměstnanců a pro zavedení systému hodnocení profesní, kompetenční a manažerské způsobilosti.

Vývoj projektu probíhá v souladu s harmonogramem, jeho ukončení se předpokládá 1. 9. 2012.



evropský
sociální
fond v ČR



OPERAČNÍ PROGRAM
LIDSKÉ ZDROJE
A ZAMĚSTNANOST

PODPORUJEME
VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz