

Biologický korespondenční seminář



Biozvěst

Ročník 6

Série 3

Milé řešitelky, milí řešitelé,

Biozvěst se přehoupí do druhé poloviny a již se blíží závěrečná odměna za vaše vynaložené úsilí. V termínu od 28.5. do 2.6. se vypravíme na Expedici Biozvěstu, jejíž útočištěm bude **terénní stanice PřF UK Ruda**, která se nachází u Veselí nad Lužnicí uprostřed kraje močálů, komárů, losů, orlů, vlků a dalších organismů, které denně nepotkáme. Pocit divočiny bude posílen tím, že na stanici není elektřina a tekoucí voda je jen ve Zlaté stoce. Čas budeme trávit průzkumem divočiny a možná i splouváním Zlaté stoky a jezer z doby ledové.

Expedici budete mít jako odměnu za aktivní řešení všech sérií Biozvěstu zadarmo. Doufáme, že vás budou bavit nové úlohy, které jsme pro vás přichystali v aktuální sérii, v níž jsme navíc vylepšili a zpřehlednili formátování (někdy docela dlouhých) textů úloh.

Jak řešit

Veškeré pokyny k řešení semináře získáte na **internetové stránce Biozvěstu** (nebo zadejte „Biozvěst“ do Google). Na stránce také naleznete přihlášku, kterou vyplíte (pouze v případě, že je tato série Vaše první řešená v rámci aktuálního ročníku). Úlohy Vám budeme zasílat automaticky na e-mailovou adresu uvedenou v přihlášce. Pokud budete chtít ukončit odběr novinek o Biozvěstu, napište nám e-mail.

Dále se k nám můžete připojit prostřednictvím **Facebooku, skupina „Biozvěst“**, kde lze probírat aktuality a diskutovat dle libosti.

Vaše řešení nám posílejte na adresu biozvest@gmail.com

Nejpraktičtější formou řešení bude prostý text v e-mailu, ale přijímáme veškeré formáty příloh. Každou úlohu pište do samostatného e-mailu a v předmětu uveďte

Ročník-Série-Úloha-Jméno_Příjmení,

např. **6-3-5-Bioslav_Biomilný** v případě páté úlohy třetí série aktuálního ročníku. Moc nám pomůže, když uvedený zápis dodržíte (na jeho základě si došlá řešení filtrujeme).

Uzávěrka 3. série: pondělí 18. 3. 2019 o půlnoci.

Vyhodnocení Vašich řešení dostanete e-mailem.

Nelekejte se, když Vám přijdou úlohy na první pohled příliš těžké, ponořte se do informačních zdrojů a uvidíte, že na vše lze někde nalézt odpověď. Dobré tipy k řešení naleznete také na stránce Biozvěstu v sekci „Návody“. Není nutné, abyste kompletně vyřešili všechny úlohy a asi se to ani nikomu nepodaří, stačí odeslat libovolně velký fragment. Oceníme, pokud přiložíte jakékoliv připomínky (např. úloha byla příliš lehká/těžká, nesrozumitelná, nudná), úlohy se pokusíme tvořit k Vaší maximální spokojenosti.

Veškeré dotazy či připomínky směrujte na adresy **biozvest@gmail.com** či **vosolsob@natur.cuni.cz** (na druhé adrese máte větší šanci na rychlé zodpovězení otázky), nebo na e-mailové adresy autorů konkrétních úloh. Kontakty naleznete na webu Biozvěstu.

Biodiverzitě a řešení Biozvěstu zdar!

Stanislav Vosolsobě a Václav Bočan

Úloha 1: Proč se nemůže hýbat?

Autor: Kristýna Minářová

Počet bodů: 12

Na neurologickou ambulanci přichází 31letá narkomanka závislá na pervitinu, který si píchá do žíly. Doprovod pacientky zde ztropí scénu a pacientka odchází bez vyšetření. Druhý den je přivezena rychlou záchrannou službou na interní ambulanci, kde již na vyšetření vyčkala, protože nedokázala odejít. Nemůže hýbat nohama, necítí dotyk od úrovně prsních bradavek níže. Nemůže se vymočít, udává, že již od včerejšího dne nebyla na toaletě. Ruce cítí dobře, stejně tak hybnost je zachována, ale má problém s citem v prstech. Dále udává, že má již 3 dny horečku. Tento stav vznikl náhle, z plného zdraví, úraz předtím neměla. Bylo provedeno CT a následně magnetická rezonance postižené oblasti těla a vzhledem k nálezům byla provedena operace ložiska. Pacientka byla po výkonu přeložena na JIP infekční kliniky. Tam byla pacientka dva dny stabilní, ale poté došlo při manipulaci – otáčení na boky – náhle k poruše vědomí a těžké hypoxii (nízká saturace krve kyslíkem), proto bylo nutné bezodkladně pacientku zaintubovat a zahájit umělou plicní ventilaci. Pacientka se záhy probírá do plného vědomí, zároveň jsou snižovány ventilační parametry na ventilátoru tak, že již druhý den má zcela minimální podporu. Nicméně při pokusu o odpojení od ventilátoru opět klesá saturace, pacientka není schopna odkašlat a dýchat sama.

1. Pacientka má očividně neurologický problém – poruchu centrálního nervového systému.
 - a. V jaké úrovni došlo k jeho postižení? Napište rovněž, o jakou oblast se jedná, nestačí pouze, zda mozek či mícha.
 - b. Jedná se v případě naší pacientky o obrnu chabou, nebo spastickou?
2. Jakým mechanismem došlo u pacientky k postižení plic, kvůli kterému nebyla schopná dýchat?
3. Pacientka nebyla schopná močit, měla tzv. močovou retenci. Rovněž se rozvinul tzv. paralytický ileus, což je zástava střevní peristaltiky. K tomu dochází u jednoho neurologického syndromu. Jak se nazývá?
4. A je tu otázka z názvu úlohy. Proč se vlastně nemůže hýbat? Jak mohlo u této pacientky dojít k tak těžkému neurologickému postižení? Napište pravděpodobnou příčinu jejího onemocnění. Napovím, že pacientka má horečku.
5. Jaké další neúrazové stavy by mohly vést k těmto projevům?

Úloha 2: Chromatin eukaryotické buňky

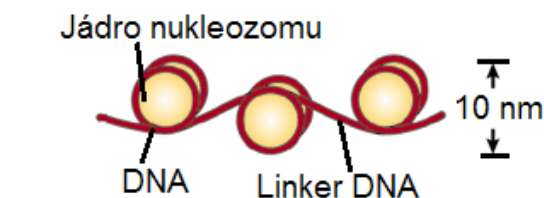
Autor: Marek Jankásek

Počet bodů: 15

Od doby, kdy Walther Flemming v roce 1882 poprvé popsal rozchod chromozomů během mitotického dělení v živočišné buňce, byly chromozomy často studovány strukturami. Za zmínku stojí i zjištění Thomase Hunta Morgana v roce 1909, že geny jsou lokalizované na chromozomech. Chromozomy jsou nesmírně důležité struktury zajišťující rozdělení genetické informace do dceřiných buněk a potomstva organismů celkově. Jejich přestavby (chromozomové mutace) či změny počtů (genomové mutace) mohou vést k řadám onemocnění, ale také vzniku nových druhů. Materiál tvořící chromozom se nazývá **chromatin**; sestává z DNA, ale i obrovské škály proteinů, které

s ní přímo či nepřímo asociují. Tyto proteiny mnohdy regulují funkce samotných genů a jejich vliv může být dědičný. V této úloze si povíme detailněji o obsahu chromatinu a také jeho prostorové uspořádanosti. Zkráceně si popíšeme také dynamiku chromatinu, jelikož se jedná o velice proměnlivou strukturu.

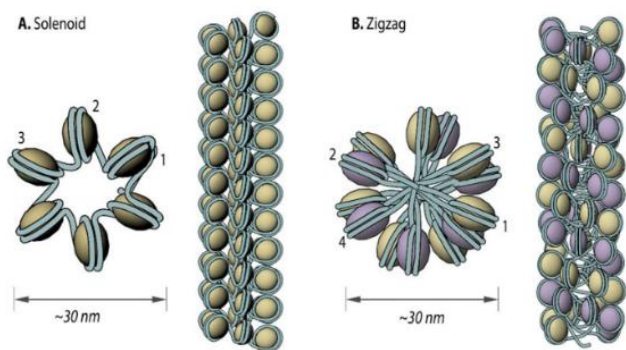
Jedna z prvních otázek, která člověka napadne: Jak je chromatin v jádře buňky vlastně uspořádán? Totiž, musí se zajistit všechny potřebné funkce a zároveň se několikametrová DNA (u člověka cca 2 m) musí vejít do jádra buňky, která má průměr několika málo mikrometrů (u lidí v průměru 10 až 15 μm). Otázka to není věru jednoduchá a stále ji nedokážeme úplně zodpovědět. Prostorovému uspořádání, jež zhušťuje chromatin, se říká **spiralizace**. Samotnou spiralizaci můžeme pozorovat na několika úrovních. Základní jednotkou spiralizace chromatinu je takzvaný **nukleozom**, jenž je tvořen DNA a proteiny zvanými histony, které tvoří jádro nukleozomu (viz obr. 1). DNA se okolo jádra nukleozomu levotočivě ovíjí a poté pokračuje jakožto takzvaná linker DNA (linker DNA se také váže na jeden určitý typ histonu) na další nukleozom. Na jeden nukleozom se namotá přibližně 200 párů dusíkatých (nukleových) bází. Navinutím DNA na histony poté vzniká zkrácené **vlákno** o průměru **10 nm**.



Obr. 1: Vlákno DNA namotané na jádra nukleozomů. (<https://go-nature.com/2Wk2V98>)

1. Jádro nukleozomu je tvořeno čtyřmi typy histonů. Další typ histonu se váže na linker DNA. Jak se tyto typy jmenují?
2. Kolik molekul histonů tvoří jádro nukleozomu?
3. Proč mají histony tendenci vázat se k DNA?

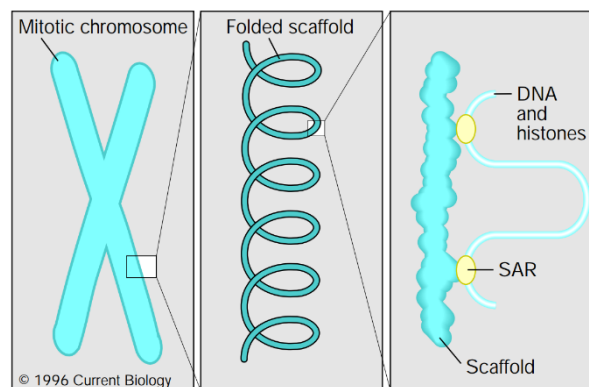
Druhá úroveň spiralizace je již o něco problematičtější, jelikož si stále nejsme zcela jisti, jak probíhá. Byly navrženy dva klasické hlavní modely snažící se tuto otázku objasnit. Model solenoidu předpokládá stáčení nukleozomů do spirály, přičemž na jednu otočku připadá šest jader. Druhý model pojmenovaný zig-zag (viz obr. 2) předpokládá vždy střídavou orientaci dvou sousedících nukleozomů víceméně naproti sobě. Oba tyto modely skládání chromatinu vytváří chromatinové vlákno o průměru 30 nm, tato vlákna však byla vždy pozorována pouze in vitro (mimo organismus) a jejich přítomnost v organismech tak není prokázána. Druhá úroveň spiralizace chromatinu tedy stále zůstává nejistou. Současný náhled na kondenzaci 10nm chromatinového vlákna je značně odlišný.



Obr. 2: 30nm vlákna chromatinu dle modelu solenoidu a zig-zag. (<https://bit.ly/2FRkqc2>)

4. Jaký je současný náhled na skládání 10nm a 30nm vlákna chromatinu tvořeného nukleozomy?

Další úroveň organizace chromatinu je zprostředkována pomocí tzv. **S/MARs** (Scaffold/matrix attachment regions). Jedná se o sekvence DNA ve vláknu chromatinu, díky kterým se ono vlákno váže na tzv. **scaffold** (jaderné proteinové lešení) nebo **jadernou matrix**, chromatin mezi jednotlivými S/MARs poté vytváří smyčku (obráz. 3). Jaderná matrix je proteinová struktura sloužící jako jaderná kostra a podobně jako cytoskelet (viz úlohu 6-1-5) vykonává řadu důležitých funkcí. Jelikož jsou součástí jaderné matrix i enzymy (RNA a DNA polymerázy) zajišťující replikaci a transkripci, má pozice S/MARs značný vliv na regulaci exprese genů. Scaffold funguje jako jakási kostra samotného chromosomu. Čím je DNA na scaffold volněji navázána, jeví se chromozom rozostřeněji a je hůře rozpoznatelný ve světelném mikroskopu. Taková je velká část chromatinu po většinu života buňky – v interfázi. Naopak během profáze mitózy nebo meiózy se chromatin vysoce kondenzuje (zhušťuje) a v metafázi je kompaktní nejvíce. Scaffold obsahuje řadu proteinů zodpovědných za kondenzaci chromatinu. Jedny z nejznámějších proteinových komplexů s touto funkcí jsou **kondenziny**.



Obr. 3: Schéma navázání SAR sekvencí na scaffold. (Swedlow et al., 1996)

5. Jaká je struktura kondenzinů a jakým způsobem se pravděpodobně podílejí na sbalení chromatinu?
6. Strukturně podobný proteinový komplex kondenzinům také zajišťuje soudržnost sesterských chromatid chromozomů. O jaký proteinový komplex se jedná a jakým způsobem tuto kohezi zajišťuje?

Míra kondenzace chromatinu se mění v určitých částech chromozomu či v určité fázi buněčného cyklu. Geny v některých oblastech chromozomů jsou vysoce exprimovány, což znamená, že je potřeba podle nich vyrábět dostatečné množství RNA (transkripce) a z některé této RNA dále proteiny (translace). V těchto oblastech je chromatin méně spiralizovaný/kondenzovaný, což je dáno například vyvázáním sekvence DNA z jádra nukleozomu či menším působením kondenzinů a kohezinů. Takovému chromatinu říkáme **euchromatin**. Naopak silněji kondenzovaný chromatin označujeme jako **heterochromatin**. Heterochromatin dále rozlišujeme na fakultativní a konstitutivní.

7. Jaké jsou základní rozdíly mezi fakultativním a konstitutivním heterochromatinem?
8. Jaké části/regiony chromozomů typicky odpovídají konstitutivnímu heterochromatinu?
9. Co znamená pojem poziční efekt variegace heterochromatinu (někdy jen poziční efekt heterochromatinu)?

Přechody mezi fakultativním heterochromatinem a euchromatinem vznikají procesy zvanými **remodelace chromatinu**. Tyto remodelace ovlivňují expresi sekvencí DNA, aniž by se měnil zápis těchto sekvencí (tedy sekvence bází), a mohou být zděděny dceřinými buňkami, a tedy i potomstvem mnohobuněčných organismů. Dochází tak ke specifickému umlčení či naopak posílení genové exprese specificky v určitých tkáních, na pohlavních chromozomech a v určité fázi života. Těmito remodelacemi se zabývá obor zvaný **epigenetika**. Vrátime se zpět na úroveň histonů, jelikož základními remodelacemi chromatinu jsou **kovalentní modifikace molekul histonů**. Každý typ histonu má centrální globulární část a (stejně jako všechny proteiny) N (-NH₂ skupina) a C (-COOH skupina) konce. Oblasti blízko konců jsou často cílem posttranslačních modifikací (po vzniku proteinu procesem translace). Mezi nejznámější z těchto úprav patří acetylace a deacetylace.

10. Jaký vliv má acetylace a deacetylace na chromatin a jaké části histonů se týkají? Přiložte i chemický zápis této reakce.

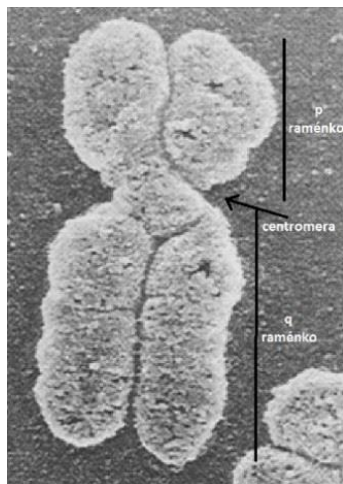
Mezi další kovalentní modifikace histonů patří například metylace (navázání skupiny -CH₃), ubikvitinylace (navázání polypeptidu ubikvitinu), fosforylace (navázání fosfátu) a ADP-ribozylace (navázání molekuly adenosindifosfát ribózy).

Druhá úroveň remodelace chromatinu je obstarávána **proteinovými komplexy vyžadujícími molekuly ATP**. Tyto komplexy mají podjednotku s ATPázovou aktivitou (odštěpující fosfát z molekuly ATP). Pomocí uvolněné energie následně posouvají jádro nukleozomu po sekvenci molekuly DNA.

Z výše uvedených informací je zřejmé, že chromozom je dynamickou strukturou, která se mění dle aktuálních potřeb buňky či organismu jako celku. Během interfáze buněčného cyklu je rozvolněn a probíhá na něm intenzivní exprese genů. Dříve se předpokládalo, že jsou chromozomy v této fázi v jádře navzájem propletené. V současnosti již víme, že tomu tak úplně není.

11. Popište, jak jsou interfázní chromozomy v jádře eukaryotické buňky dle současného náhledu rozloženy.

Během mitózy či meiózy dochází k výrazné kondenzaci chromatinu (a to i euchromatinu). Tato kondenzace usnadňuje potřebnou manipulaci s chromozomy během této fáze buněčného cyklu. V průběhu tohoto procesu hraje výraznou roli část chromozomu označovaná jako centromera. Jedná se o oblast napojení dvou sesterských chromatid tvořenou heterochromatinem se specifickými sekvenčními repeticemi a proteiny. Centromera dělí chromozom na dvě **raménka**: krátké (**p**) a dlouhé (**q**) (viz obr. 4).



Obrázek 4: Fotografie chromozomu ze skenovacího elektronového mikroskopu. (Summer, 1991)

12. Podle poměru *q* raménka ku *p* raménku rozlišujeme celkem pět základních kategorií morfologie chromozomu. Které?

13. Jaký bílkovinný komplex se vytváří kolem centromery během mitózy a meiózy a zajišťuje ukotvení dělicího vřeténka na centromere?

14. Jak se nazývá typ chromozomu, kde se tento proteinový komplex vytváří téměř po celé jeho délce a je přítomen například u štěrnic (*Cimex*) či motýlů (*Lepidoptera*)?

15. Jaká vlákna cytoskeletu tvořící dělicí vřeténko se váží na tento proteinový komplex?

Úloha 3: Jurský park

Autor: David Machač

Počet bodů: 15

Předpokládám, že každý z nás zná Spielbergův film z názvu úlohy, někteří možná četli knihu Michaela Crichtona. Myšlenka takového parku je naprosto kolosální, avšak všude, kam se podíváme, vidíme komplexní problémy. V této úloze se budeme zabývat spíše teoretickou možností vytvoření pravěkých plazů z jantaru a několika překážkami v této problematice, ale také chybami, které jsme ve filmu mohli vidět.

Začneme jednou neodpuštělnou chybou již v začátku filmu. Nacházíme se na nalezišti jantaru v džungli Dominikánské republiky (obr. 5). Pokud bychom se na taková významná naleziště jantaru v Dominikánské republice opravdu podívali, uvidíme spíše než džungli krajinu stepního rázu. Nicméně co se týče filmové kompozice, prostředí džungle je určitě atraktivnější. Avšak hlavní kámen úrazu je geologické stáří jantaru! Kromě ptačích dinosaurů se zde další dinosauri nevyskytovali, jelikož už leží cca 40 mil. let v propadlišti dějin.



Obr. 5: Komár v jantaru z Dominikánské republiky. (<https://bit.ly/2FYqJuh>)

1. Z jakého geologického období pochází jantar z Dominikánské republiky (obr. 5)?

Kromě ptačí krve bychom v zadečích dominikánských komárů našli také krev drobných savců a plazů. Fosilie v dominikánském jantaru jsou občas i obratlovců, a tak jsou významné pro rekonstrukci ostrovní fauny, jelikož Dominikánská republika se nacházela na území ostrova odtrženého od Jižní Ameriky asi před 60 mil. lety. V Evropě máme model pro studium křídlové dinosaurů ostrovní fauny na území Rumunska. Setkáváme se zde z notoricky známým ostrovním nanismem a gigantismem – sauropodními dinosaurů velikosti ovce a největším známým azhdarchoidním pterosaurem *Hatzegopteryx* s rozpětím křídel přes 12 m. Podobná fauna se mohla vyskytovat i na křídlových ostrovech v ČR (Vysočina a Jeseník).

2. Jak se jmenuje pravěký křídlový ostrov, jehož pozůstatky leží na území dnešního Rumunska?

Pokud bychom získali nějaký organický dinosauří materiál z fosilního komára, tak by byla veškerá genetická informace s největší pravděpodobností zubem času rozložena (komáří trávicí procesy nepočítaje). Zároveň práce s tak archaickou DNA je velmi náročná na čistotu, na což se ve filmu moc nedbá. Kontaminace je velmi velký problém. Pokud bychom však nějaké fragmenty DNA získali, museli bychom podle filmu chybějící části nahradit žabí DNA.

3. Jaký organismus je podle vás lepší použít pro nahrazení chybějících částí DNA a proč?

Diskuse o izolaci, možnostech zachování a rekonstrukci archaické DNA je na velmi dlouhou dobu, ale alespoň si můžeme říci, že odhad životnosti volné DNA za optimálních podmínek, co se týče pH, vlhkosti a teploty okolo -20°C je odhadován na cca 1,2 mil let, než se vlivem entropie rozpadne na jednotlivé nukleotidy. Tudiž tuto konspirační kapitolu rychle přeskočíme a budeme pracovat s hypotézou, že již máme zrekonstruovaný genom dinosaura včetně správného počtu chromosomů. Jedno je ale jaderný genom a něco jiného je genom mitochondriální. Během evoluce dochází u různých organismů k různým přestavbám mitochondriálního genomu, migraci genů mezi jádrem a mitochondrií. Pokud by se někde vyskytla chyba, genomy mitochondrie a jádra by spolu nedokázaly během života buňky komunikovat a doplňovat se, takže kromě dýchání by nefungovaly ani jiné fyziologické pochody, jako třeba programovaná buněčná smrt, na níž je závislé formování embrya.

4. Jakou úlohu hrají mitochondrie během apoptózy?

Když už mluvíme o dinosauřím embryu, tak takové embryo potřebuje pochopitelně vajíčko. Avšak není vejce jako vejce. Každý organismus má trochu odlišně biochemické složení cytoplazmy tak, aby se mohl zárodek rychle dělit. V rané fázi vývoje střídají dělicí se buňky embrya jen dvě fáze buněčného cyklu, a to M (mitotickou) a S (syntetickou). Embryo tak nemá čas na proteosyntézu a mohlo by se stát, že uhynie v důsledku nedostatku bílkovin.

5. Jak je ve vajíčku zajištěna tvorba bílkovin i bez transkripce?

Pokud by se nám však embryo zdárně vyvíjelo, měli bychom být dále schopni ovlivnit, jakého pohlaví náš budoucí dinosaurus vlastně bude. Podle románu se v laboratořích Jurského parku líhly pouze samice, které se tak ve výběžích, alespoň podle originální myšlenky, nemohly nekontrolovatelně množit. Mazaní vědci parku podle dostupných informací vložili do dinosaurů gen, který vyvíjejícím se zárodkům bránil se stát samci. Než toho ale docílili, museli nepochybně identifikovat systém určení pohlaví jednotlivých dinosauřích druhů.

6. Pokuste se vyjmenovat pravděpodobné způsoby a systémy určení pohlaví u dinosaurů, přičemž berte ohled na jejich fylogenetickou pozici v rámci skupiny Archosauria. V čem mají vědci Jurského parku při určování systému určení pohlaví dinosaurů oproti reálným vědcům výhodu? Své odpovědi zdůvodněte.

A je to tady! Z vajíčka se nám vyklubal dinosauřík. Ovšem do vylihnutí nebo do pokročilejšího vývojového stáda embrya si nemůžeme být předem jisti, zdali to bude neškodný býložravec, nebo krvežíznivá bestie, jak jsou bohužel dinosauři velmi často líčeni, a to nejen v hororech nebo thrillerech. Avšak co by nám takový malý drobek mohl udělat? Pravdou je, že některé skupiny dinosaurů by mohli být vědcům smrtelně nebezpečné hned po vylihnutí. Takovým nebezpečným dinosaurem by mohl být čtyřkrádlý *Sinornithosaurus* (obr. 6) patřící mezi mikroraptory.

7. Čím by mohl být *Sinornithosaurus* člověku nebezpečný a podle čeho tuto vlastnost můžeme doložit?

Ve filmu se s tímto fenoménem také setkáváme, avšak u dinosaura, který tuto schopnost ve skutečnosti rozhodně neměl. Ať už však ke vzniku jurského parku dojde nebo nedojde, tak člověk již mnohokrát zasáhl do genetických úprav dinosaurů pomocí domestikace a šlechtění.

8. Který pralesní dinosaurus byl takto poprvé lidmi domestikován? Kdy a kde se to přibližně stalo?



Obr. 6: *Sinornithosaurus* ze slavného naleziště Liaoning v Číně.
(<https://bit.ly/2ToZOUH>)

Úloha 4 (experimentální): Gravitropismus

Autor: Stanislav Vosolsobě

Počet bodů: 15

Orientace růstu rostlin podle gravitace je základním fenoménem vývoje rostliny a také jedním ze základních témat studia experimentální biologie. Gravitropismus v devatenáctém století nezávisle zkoumali dva vědečtí velikáni. Prvním byl proslulý britský amatérský přírodovědec a druhým slovatný pruský rostlinný fyziolog.

1. Odhalte, jak se jmenovali oba pánové. Jak se druhý z nich dostal k vědě a který z vědeckých velikánů mu k tomu pomohl?

Ohýbání kořene je mysteriózní proces, kterému budeme věnovat naši experimentální úlohu. Umí se kořen ohnout, nebo ve skutečnosti pouze přirůstají nové buňky správným směrem? A čím vlastně kořen vnímá gravitaci? Oba výše nejmenovaní pánové vysvětlili gravitropický proces odlišně. Jedno vysvětlení bylo založeno na pozorování, že ke gravitropismu nedochází po odstranění kořenového vrcholu a vedlo ke koncepci „kořenového mozku“ rostliny. Druhá koncepce se opírala o podrobnou analýzu růstové dynamiky a předpokládala, že gravitace působí na celý konec kořene.

2. Jak celý proces vysvětluje moderní věda? Popište podrobně, jak ke gravitropismu dochází a jak je regulován na molekulární úrovni. Které z prvotních vysvětlení bylo z tohoto hlediska správnější?

Nyní se přenesete o 150 let do minulosti a sami si zkusíte prozkoumat, jak se kořen ohýbá. Jak to udělat? Doporučuji použít uzavíratelnou průhlednou hranatou krabičku, ve které budete pěstovat rostliny v takzvané aeroponii, tedy ve vzduchu se sto procentní vlhkostí. Na dno nádoby připevněte vlhkou vatu a na její povrch pevně připevněte například semena fazole. Nádobu umístěte tak, aby vatová plocha byla vertikální, takže kořen poroste po povrchu. Gravitropismus budete stimulovat překlopením nádoby na jiný bok. Na rostoucím kořeni si dělejte značky tenkým lihovým fixem a podrobně zaznamenávejte

změny v rozestupech značek, tak můžete zjistit dynamiku růstu kořene. Porovnejte růst na svrchní a spodní straně gravitropicky stimulovaných semenáčků s neotočenou kontrolou. A co se stane, pokud nebude mít kořen špičku?

3. Pokus podrobně popište, vyhodnoťte a diskutujte, zdali je vaše pozorování v souladu s tím, co je o gravitropismu známo.

Úloha 5: Opěrná soustava bezobratlých

Autor: Jasna Simonová, Jan Pražák

Počet bodů: 16

V minulých dílech seriálu jste se seznámili s buněčnými oporami rostlinných i živočišných buněk a blíže se podívali na některé případy zajímavých povrchových struktur volně žijících buněk prvoků. V tomto díle seriálu se od opor buněčných přesuneme k oporám celého mnohobuněčného těla rozmanitých skupin bezobratlých.

Abychom tělesným oporám bezobratlých dobře rozuměli, je důležité si uvědomit, jakou mají funkci. Podobně jako u buněčných opor i ony udržují tvar organismů a chrání je před okolními vlivy, zejména před predátory. Zároveň je však jejich nesmírně důležitou funkcí i **ukotvení svalů** a převedení síly svalového stahu na pohyb celého organismu či jeho částí. Pro pochopení charakteru tělesné opory je proto důležité uvažovat zároveň o způsobu pohybu daného živočicha.

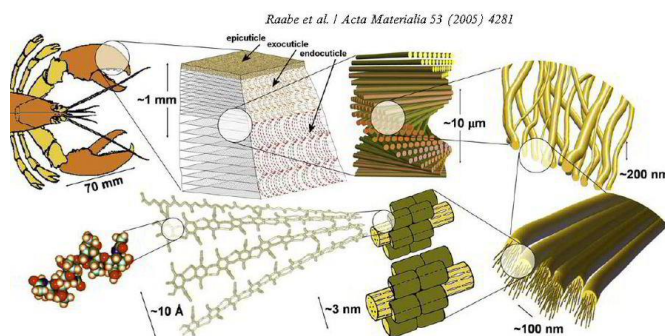
Propojuje se nám zde vlastně téma obou předchozích dílů našeho seriálu. Svaly jsou totiž pouze specializované buňky, které mají uspořádaný **aktinový cytoskelet** do rovnoběžných pruhů napříč buňkou, přičemž jednotlivé pruhy aktinu jsou propojeny svazky proteinu **myosinu**, který funguje jako molekulární motor se schopností pohybovat se po aktinu, čímž zajišťuje vzájemný pohyb aktinových svazků takovým způsobem, že se celá buňka stahuje.

Stahování buněk nebude mít smysl, když nebude celý organismus dostatečně pevný, aby se začal hýbat celý. Pevnost je zajišťována různými způsoby, zpravidla je však podstata opory těla odvozena od mezibuněčné hmoty (extracelulární matrix), které jsme věnovali taktéž v předchozích dílech seriálu. Evoluce mnohobuněčnosti u živočichů je tedy nedílně spjata právě s rozvojem mezibuněčných pojiv. Předchůdci mnohobuněčných živočichů byli vodní bičíkovci, kteří mohli látky extracelulární matrix využívat například k přichycení na povrch, kde žili, či k vytváření vícebuněčných slizovitých kolonií, ze kterých posléze vznikl skutečný mnohobuněčný organismus.

Pokud je mezibuněčná hmota pouze proteinové povahy, vytváří rosolovitou nebo tuhou hmotu, jako třeba v případě obratlových chrupavek. Dále se do ní mohou ale vylučovat i minerální ionty, například vápenaté a uhličitánové, což vede k tomu, že se v rámci proteinové matrix spontánně vytvoří anorganické krystaly a vznikne pevná, **inkrustovaná** hmota, jakou je tvořená například měkkýší schránka.

Vrstva mezibuněčné vrstvy na povrchu těla živočicha bývá většinou označována jako **kutikula**. Nejjednodušší formu kutikuly tvoří vrstva glykoproteinů, často je však kutikula vícevrstvá a poměrně komplexní – její součástí mohou být kolageny, lipidy a různé (i velmi specializované) proteiny. Základní složkou kutikulu členovců je **chitin**. Jde o látku v podstatě obdobnou celulóze, akorát ji nebudují dlouhá vlákna prosté polymerní glukózy, ale polymerní N-acetylglukosamin, což je

glukóza s navázanou acetylovanou aminoskupinou (viz obr. 7). Chitin je vytvářen proteinovými komplexy (stejně jako u celulózy), které leží na plazmatické membráně buňky a vypouští chitinová vlákna do mezibuněčné hmoty. Nemají jej pouze bezobratlí živočichové, ale i houby a řada prvoků. Název kutikula se používá také u rostlin, ale v tom případě je to vrstva buněčné stěny, která je prosycena vosky, aby vytvářela izolační vrstvu proti vysychání na povrchu nadzemních částí rostliny.



Obr. 7: Struktura chitinu. (http://www.dierk-raabe.com/s/cc_images/teaser-box_2455583378.jpg?t=1427835702)

Typy tělních opor bezobratlých

My obratlovci jsme zvyklí na to, že se naše svaly upínají na pevnou vnitřní kostru – **endoskelet**. Tato situace není mezi bezobratlými příliš běžná, kompaktní endoskelet bychom našli jen u některých ostnokožců a u strunatců (do nichž obratlovci také spadají); v podobě jednotlivých jehliček jej mají také houbovci či někteří žahavci a měkkýši. Jednoduchou vnitřní kostru tvoří i redukovaná schránka většiny současných hlavonožců (v jejich případě se ale vnitřní kostrou stala až druhotně, jak se dočtete dále). Mezi bezobratlými jsou nicméně častější různé formy vnější kostry – **exoskeletu**, který tvoří pevný povrch těla a svaly se na něj upínají z vnitřní strany.

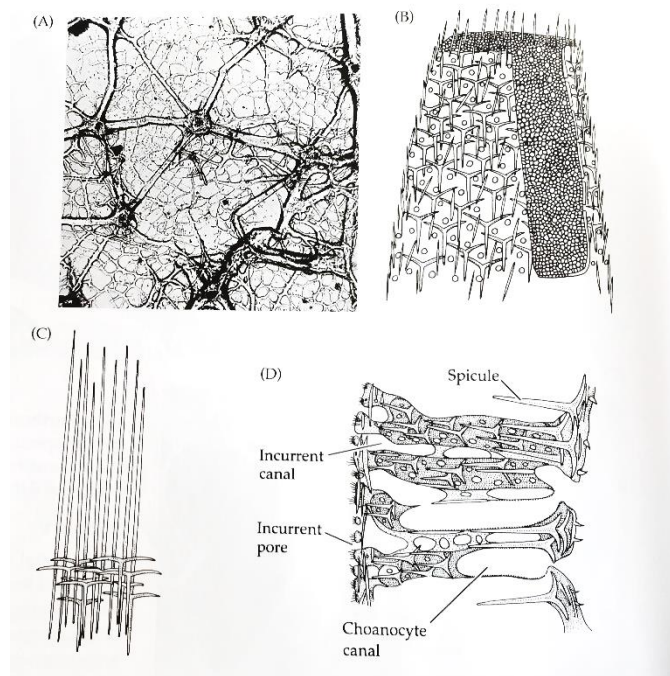
Mnozí bezobratlí pevnou kostru vůbec nemají a tvar jejich těla se může výrazně měnit. Tito bezobratlí mají často jiný typ tělesné opory – **hydroskelet**. Fungování hydroskeletu je založeno na dvou základních vlastnostech tekutin: jejich praktické nestlačitelnosti a schopnosti zaujmout jakýkoliv tvar. Díky tomu dokáží tělní tekutiny výborně přenášet změny tlaku, způsobené činností okolních svalů. Dobře si to můžeme představit na příkladu gumové rukavice, v které je jen tolik vody, aby nebyla úplně napjatá. Pokud rukavici na jednom konci zmáčkne, na druhém se její prsty natáhnou. Nejzákladnější tělesný plán živočicha s hydroskeletem tvoří vnitřní tělní dutina naplněná tekutinou a obklopená dvěma vrstvami svalů. Vlákna svalů jsou uspořádána v jedné vrstvě podélně a v druhé tělní dutinu obkružují. To, jakým způsobem se tvar těla po zvýšení tlaku v hydroskeletu změní, určuje míra kontrakce obou skupin svalů v různých částech těla. Je důležité mít na paměti, že svaly se aktivně pouze stahují (dochází k jejich zkrácení) a aby byly opět uvolněny (prodlouženy), musí na ně působit protikladná síla jiných (antagonistických) svalů, elastických struktur anebo právě hydrostatického tlaku uvnitř cytoskeletu.

Exoskelet mnoha skupin bezobratlých je tvořen **kutikulou**. Její tloušťka a složení se mezi různými skupinami liší, od nenápadné kutikul hlístic či ploutvenek až po chitinózní kutikulu členovců, která je u koryšů navíc často výrazně zesílená přidáním vápníku.

1.
 - a. Jak živočichové zajistí, aby ohýbání těla probíhalo hladce bez zaškrcení? Uvažujte nad orientací vrstev svalů, které ohýbání těla zajišťují. Napovědět vám může také konstrukce válcovitých struktur, u nichž je schopnost změny tvaru důležitá a které jsou používány třeba v lékařství.
 - b. Jakými modifikacemi uvedeného nejzákladnějšího tělního plánu mohou živočichové dosáhnout větší přesnosti a detailnosti pohybu na základě hydroskeletu?
2. Popište výhody pevné kostry oproti hydroskeletu. Co mohlo být prvotní příčinou vzniku pevné kostry – ještě než začala plnit svou opornou či ochrannou funkci?

Tělesné opory vybraných skupin bezobratlých

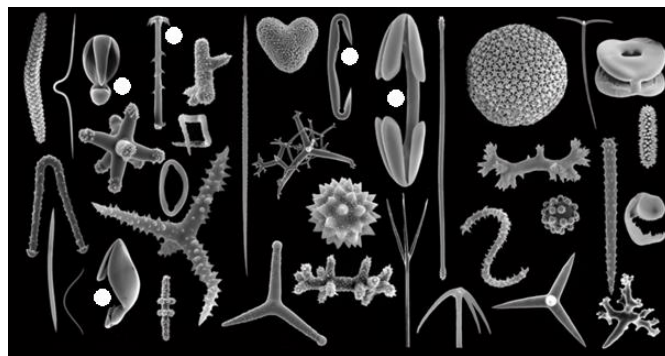
Nyní se už podíváme konkrétněji na tělesné opory vybraných skupin bezobratlých – uvidíme, že diverzita možností, jak dát svému tělu tvar a umožnit mu pohyb efektivní pro konkrétní způsob života, je opravdu obrovská.



Obr. 8: A – sponginová síť, B–D zobrazení organizace spikul v různých houbovcích. (Brusca R.C. & Brusca G. J (2003) Invertebrates, 2nd edition)

Buněčnou oporu HOUBOVČŮ (PORIFERA) tvoří v první řadě **mesohyl**, který se nachází mezi vnitřní a vnější vrstvou buněk houbovců. Jedná se o kolagenní síť vyplněnou rosolovitými (taktéž kolagenními) látkami, viz obr. 8 A. Právě kvůli této kolagenní síti zvané **spongin** jsou houby mycí (*Spongia officinalis*) loveny už od starověku. U většiny druhů houbovců je mesohyl ještě vyztužen anorganickými jehlicemi zvanými **spikuly** (obrázky 8 B–D). Ty mají velmi rozmanitý tvar a jsou tvořeny specializovanými buňkami, sklerocyty, ze silikátů nebo z uhlíkatu vápenatého. Spikuly jsou vytvářeny vnitrobuněčně (v případě silikátových spikul) či vně buněk (vápnité spikuly) a na jejich tvorbě se může podílet i několik buněk najednou. Jejich tvarová pestrost (obrázky 9) je hojně využívána při determinaci.

3. K jakému speciálnímu účelu houbovci využívají typy spikul označené tečkou na obrázku 9?



Obr. 9: Spikuly houbovců pod skenovacím elektronovým mikroskopem. (Van Soest R.W.M. et al., 2012)

Mimo skelet tvořený jednotlivými jehlicemi dochází u některých druhů i ke vzniku masivního vápnitého exoskeletu, takže povrch houby připomíná spíš skálu. Pevná struktura je tvořena vlákny kalcitu či aragonitu zapojenými do organické vláknité sítě. Díky zapojení i organických látek je výsledná struktura méně křehká a pro houbovce je snazší vytvořit tvar, který potřebuje.

4. Kalcit a aragonit jsou dvě minerální formy uhlíkatu vápenatého (CaCO_3). To znamená, že se od sebe neliší chemickým složením, ale pouze vzájemným uspořádáním atomů v mřížce. Kalcit je obecně stabilnější než aragonit. Obě minerální formy mohou za určitých podmínek přecházet jedna v druhou. To, která minerální forma CaCO_3 se při krystalizaci z roztoku vytváří, záleží na podmínkách jako jsou teplota či obsah dalších rozpuštěných minerálů v roztoku. Během geologické historie Země se střídaly fáze, kdy složení oceánů upřednostňuje krystalizaci kalcitu a kdy aragonitu. V jaké fázi žijeme teď? Jak dlouho už tato fáze trvá? Jak se střídání těchto fází projevuje na složení společenstev útesotvorných organismů?

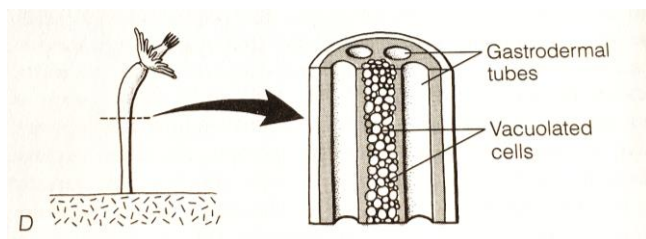
U polypů ŽAHAVCŮ (CNIDARIA) nacházíme úžasnou rozmanitost mnoha různých typů tělesných opor. Někteří polypy se spoléhají na klasický endoskelet – vodou naplněnou tělní dutinou obklopenou svaly tělní stěny – tak tomu je třeba u sasanek (Actiniaria) či našich nezmarů (*Hydra* spp.). Sasanka *Liponema brevicornis* dokonce využívá válcovitý tvar po naplnění vodou k překvapivému způsobu pohybu – nechá se mořskými proudy kutálet po dně (obrázky 10).



Obr. 10: Mořská sasanka *Liponema brevicornis* v pohybu po mořském dně. (http://actiniaria.com/liponema_brevicornis.php)

Hydroskelet polypů může mít také podobu sloupců buněk naplněných vakuolou s velkým turgorem (obrázky 11). Obdobný mechanismus udržování těla využívají suchozemské rostliny.

Velké množství polypů si vytváří více či méně pevný endoskelet. **Mesogleu**, tedy vrstvu extracelulární rosolovité hmoty mezi vnější a vnitřní vrstvou buněk, mohou vyztužovat rohovitá vlákna nebo uhlíkaté krystaly, podobně jako u hub. Krystaly CaCO_3 obdobné spikulám houbovců jsou u žahavců označovány jako **sklerity** a také mohou mít různé tvary.



Obr. 11: Endoskelet tvořený vakuolizovanými buňkami s velkým turgorem, příklad rodu *Tubularia* ze skupiny Hydrozoa. (Ruppert E.E., Fox R.S & Barnes R.D. (2004) *Invertebrate Zoology*, 7th edition)

Příkladem žahavců s oporou vnitřního typu jsou Pérezovci (Pennatulacea). Tito polypé žijí v koloniích připomínajících ptačí pero – osou kolonie je velký (až 1 m dlouhý) polyp vyztužený uhličitánovou nebo rohovinovou tyčkou a zakotvený v podkladu. Boční větve kolonie tvoří sekundární polypé, kteří kolonii zajišťují potravu a rozmnožování. Nasátím vody se osový polyp vztyčí a vynese celou kolonii výše nad substrát (viz obr. 12). Podobnou centrální osovou výztuhu doplněnou spikulami v mesoglee mají také další zástupci skupiny Alcyonacea, jakou jsou například vějířovité rohovitky. Sklerity vytvářené těmito korálnatci mohou dokonce splývat v kompaktní rourky či kostru, což můžeme pozorovat například u známého pravého červeného korálu (*Corallum rubrum*).

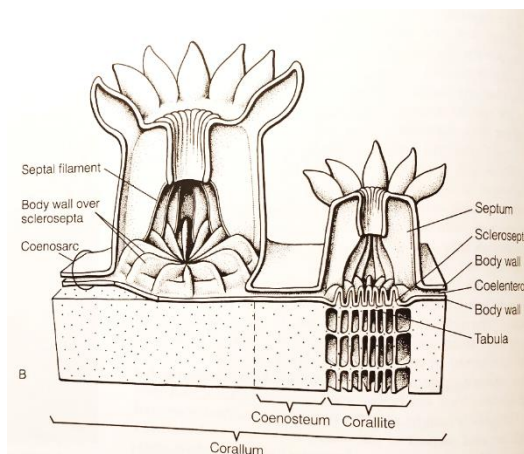


Obr. 12: Koloniální měkký korál ze skupiny Pérezovci (Pennatulacea). (<http://www.keywordhouse.com/cGVubmF0dWxhY2Vh/>)

Překvapivou formou endoskeletu je zabudování částíček okolního sedimentu do mesogley nebo obklopení se úlomky schránek jiných organismů – to dělají některé koloniální mořské sasanky.

Asi nejznámější formou tělesné opory žahavců jsou vnější uhličitánové schránky. Samostatně žijící i koloniální malí polypé si mohou vytvářet také tenkou chitinózní schránku, nicméně právě uhličitánové schránky mají díky koloniálnímu způsobu života svých obyvatel a dlouhému zachování také velký geologický a kulturní význam. I když útesotvorní jsou i někteří zástupci osmičetných korálnatců, nejznámější jsou „tvrdí koráli“ skupiny Scleractinia. Jednotlivě i koloniálně žijící polypé si vytvářejí kolem spodní části těla pohárkovitou uhličitánovou schránku, do které se v případě potřeby mohou zatáhnout. Schránka jednoho polypu je nazývána koralit, celá kostra kolonie tvořená schránkami všech současných polypů i jejich předchůdců, je nazývána koralum. Polypé v kolonii jsou spojenou společnou tělní stěnou (coenosarc), která pokrývá celou kostru korálu (viz obr. 13). Proto by se o koralu dalo uvažovat také jako o endoskeletu. Podle užšího pojetí je nicméně endoskelet vytvářen mesodermálně, k čemuž u korálů nedochází, protože u nich typický mesoderm vyvinutý není.

Také lze spíše říci, že koralum je živou tkání pokryto a jednotlivé polypé sedí na něm jako na podložce, než že by koralum bylo uvnitř živočicha, jak je pro vnitřní kostru typické.



Obr. 13: Schéma stavby koloniálního korálu. (Ruppert E.E., Fox R.S & Barnes R.D. (2004) *Invertebrate Zoology*, 7th edition)

5. Koralit (schránka jednoho polypu) je rozdělena výraznými přehrádkami (sklerosepty), které dávají tvar i tělní stěně korálů v oblasti přísavného disku. K čemu by tyto přehrádky mohly sloužit?

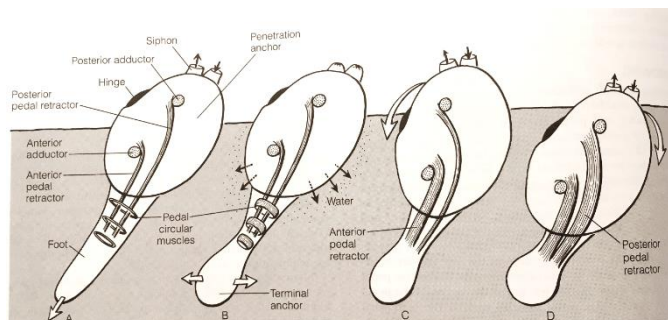
V průběhu života korálu se pod živé tkáně polypu i společné tělní stěny ukládá další vrstvička uhličitánu vápenatého. Tím roste průměr kostry mezi jednotlivými koralitami i výška jejich přehrádek. Když už jsou pro jednotlivé polypé (které mají omezenou velikost) přehrádky příliš hluboké, polyp nad nimi vybuduje nové dno koralitu a obývá jen nejsvrchnější patro (obr. 13). Tak celé koralum roste. Rychlost růstu kolísá během dne i roku spolu s teplotou a množstvím světla, díky čemuž je na korálech možné najít něco jako letokruhy, které umožňují určit stáří a rychlost růstu korálu a tím potažmo i zjistit i něco o historii prostředí na daném místě.

Oporu medúz a medúzovitých stádií polypovců tvoří nebuňčná vrstva mezi spodní a svrchní tělní stěnou – **mesoglea**. Ta může být velmi tenká a měkká, ale i poměrně silná a tuhá skoro jako chrupavka. Pružnost mesogley působí protikladně ke statům svalů, a tak umožňuje jejich opětovné natažení.

Další skupinou známou svými výraznými opěrnými strukturami jsou MĚKKÝŠI (MOLLUSCA). Plášť měkkýšů produkuje vápnitou schránku nebo jednotlivé vápnité spikuly. Schránka může být jednodílná, dvoudílná, osmidílná nebo redukována do podoby vápnité „sépiové kosti“ či chitinózní mečovité výztuhy zvané gladius, který nacházíme u sepiol a olihní, krakatic a jim příbuzných. Mnoho měkkýšů má také schránku redukovanou úplně či do podoby jednotlivých vápnitých zrníček, které už jako tělní opora neslouží.

Tělo měkkýšů je pokryto i kutikulou. Za součást pevné opory bychom mohli považovat také odontofor – většinou chrupavčitou destičku, která tvoří vnitřní výztuhu raduly a umožňuje tak měkkýšům radulou efektivně ostrouhávat potravu. U hlavonožců bychom dokonce mohli najít vnitřní chrupavčitou schránku mozku, tedy jakousi „bezobratlovčí lebku“. Kromě pevné schránky patří k tělesným oporám měkkýšů také hydroskelet. Ten hraje významnou roli i u měkkýšů se schránkou, která může tvořit oporu jen části těla. Hydroskelet má také zásadní funkci při fungování důležitého orgánu specifického právě pro měkkýše – **svalnaté nohy**. Ta bývá využívána nejen k pohybu po povrchu, jak ho známe u našich plžů, ale také má

důležitou roli například při zahrabávání do substrátu. Přední část nohy se natáhne dolů a je do ní napumpovaná hemolymfa. Tím se předek nohy rozšíří a vytvoří „kotvu“, ke které se živočich svalovou činností přitáhne (obr. 14). Takto bychom to mohli pozorovat například při rytí mlžů či kelnatek.



Obr. 14: Zahrabávání mlže do substrátu. (Ruppert E.E., Fox R.S. & Barnes R.D. (2004) *Invertebrate Zoology*, 7th edition)

Nyní se podrobněji podíváme na pevné schránky měkkýšů u jednotlivých skupin. U červovek (Caudofoveata) a rýhonožek (Solenogastres) se v plášti nachází jemné aragonitové šupinky či jehličky, povrch červovek díky nim může mít až hedvábný charakter. Výraznější schránku najdeme u chroustnatek (Polyplacophora). Je tvořena osmi destičkami a může být částečně překryta sklerotizovaným okrajem pláště (tzv. perinotum), na jehož povrchu je ztvrdlá kutikula s různými šupinami, zrníčky či ostny. Destičky chroustnatek jsou vícevrstvé, jednou z hlavních vrstev je **tegmentum**. To má zvláštní strukturu, která je mezi měkkýši unikátní. Skrze tegmentum totiž probíhají vertikální kanálky propojující povrch pláště s vnějším povrchem destiček.

6. K čemu tyto kanálky slouží? Popište v živočišné říši jedinečnou smyslovou strukturu, která je s jejich funkcí spojena.

Schránka tvořená osmi destičkami umožňuje chroustnatkám se v případě potřeby stočit a chránit tak měkkou spodní část těla. Zároveň jim široká noha spolu s okolní vrstvou pláště umožňuje velmi pevně přilnout k podkladu.

Podle současného pohledu na fylogenezi měkkýšů patří červovky spolu s rýhonožkami (dohromady tvořící skupinu Aplacophora) s chroustnatkami do monofyletické skupiny „bezschrátkatých“ (Aculifera), sesterské všem ostatním měkkýšům („schrátkatým“ – Conchifera), kteří mají kompaktní schránku tvořenou jedním či dvěma díly (nebo schránku druhotně redukovanou).

Kelnatky (Scaphopoda) mají jednoduchou dutou schránku připomínající sloní kel či velký zub (odtud i anglický název „tusk shells“). Jednoduchou schránku mají také přílipkovci (Monoplacophora).

Na příkladu hlavonožců (Cephalopoda) si můžeme ukázat další z rolí pevné schránky. Prvohorní hlavonožci patřili totiž mezi hlavní skupiny predátorů pohybujících se volně ve vodním sloupci (pelagiálu). K ušetření energie potřebné k setrvávání ve vodním sloupci vyvinuli mechanismus udržování vztlaku, který je analogický plynovým měchýřům ryb. Jejich vnější schránka je rozdělena do jednotlivých komůrek propojených kanálkem, naprostá většina těla živočicha se nachází pouze v poslední (největší) komůrce (viz obrázek 15). Kanálkem prochází tkáň, která pomocí osmotické pumpy dokáže z opuštěných komůrek schránky vyčerpat vodu a naplnit je plynem. Regulací poměru plynu a tekutiny ve schránce mohou

hlavonožci měnit sílu vztlaku, a tak se pohybovat ve vodním sloupci. U nejstarších skupin hlavonožců byla schránka také velmi robustní, což zvyšovalo potřebu její negativní vztlak nějak kompenzovat. Je nicméně pravděpodobné, že původním účelem tvorby přehrádek bylo zpevnění schránky a regulace vztlaku byla až druhotnou funkcí. Diverzita tvarů schránek hlavonožců je obrovská, zvláště pokud uvažujeme i fosilní skupiny. Najdeme zde schránky rovné či s různým stupněm zavinutí, lišící se tím, která část schránky je robustní a která subtilní či mírou redukce jednotlivých částí. U chobotnice rodu *Argonauta* spp.) vznikla dokonce druhotná schránka, která je mimo ochrany vajíček využívána právě k nadnášení těla.

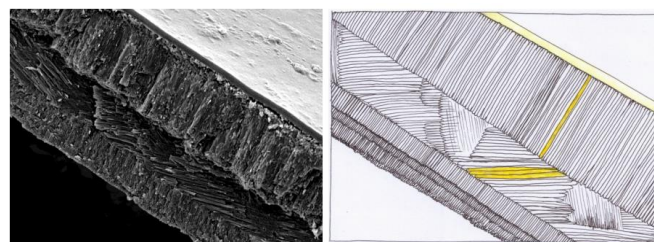


Obr. 15: Schránka loděnky rodu *Nautilus*. (<https://en.wikipedia.org/wiki/Logarithm>)

7. Jak se liší schránky amonoidních a nautiloidních hlavonožců?

Ještě rozmanitější jsou schránky plžů (Gastropoda). Ti kromě mořského prostředí osídlili také sladké vody i souš, což je spojeno s potřebou adaptace na mnohé další vlivy prostředí. Podobně jako u hlavonožců i mnozí plži schránku ztratili. K této redukci došlo vícekrát nezávisle, a to dokonce i na souši, kde bychom mohli předpokládat, že schránka bude zásadní strukturou chránící plže před vyschnutím.

8. Jaké výhody plžům přináší ztráta ulity? Jmenujte alespoň tři.



Obr. 16: Lom schránkou plicnatého plže *Oxychilus glaber*. Vlevo SEM fotografie, vpravo schematický náčrt. Periostrakum – hladká vnější vrstva – chrání vápenaté vrstvy (parketovitě uspořádané struktury složené ze štíhlých hranolů s různou vzájemnou orientací). Ostrakum je v tomto případě tvořeno třemi hlavními vrstvami. (B. Říhová, 2018)

Plži jsou zdaleka druhově nejbohatší skupinou měkkýšů. Na příkladu suchozemských plžů, kteří jsou u nás nejběžnější, si podrobněji představíme strukturu měkkýší schránky. Na povrchu schránky se nachází několikavrstevná organická vrstva zvaná **periostrakum**. Tato vrstva je tvořena proteinovými vlákny, která jsou postupně vzájemně pospojovaná molekulami chinonu, čímž původně tekutá látka tuhne a vzniká **konchiolin**. Periostrakum je vytvářeno záhybem na samém okraji pláště. Jeho důležitou funkcí je ochrana svrchní části ulity, protože je chemicky stabilnější než spodní uhličitánové vrstvy. Periostrakum je také je první vytvářenou složkou ulity, což můžeme vidět i na okraji posledního záhybu nedospělých plžů. Ke

krystalizaci spodních vrstev ulity dochází v uzavřeném prostoru mezi pláštěm a periostrakem. Schéma dvou vrstev lišících se orientací krystalů (ostrakum a hypostrakum), jak je známe z učebnic, platí pouze pro naše velké mlže. U suchozemských plžů bychom pod periostrakem našli několik vrstev různě orientovaných tyčinkovitých aragonitových krystalů, které jsou ještě obalené tenkými vrstvami organické hmoty (obr. 16). Protože je nelze rozlišit do dvou odlišných vrstev (jak popisuje známé schéma), souhrnně je možné je označit jako **ostrakum**. Složitě uspořádání a různá orientace krystalů jednotlivých vrstev dodává schránce výborné mechanické vlastnosti – případné zlomy se totiž mezi vrstvami mnohem hůře šíří, a tak je schránka celkově pružnější. Poměr šířky periostraka, ostraka i počet a šířky jednotlivých ostrakálních vrstev se mezi druhy plžů může velmi lišit. Na povrchu ulity mohou být také vytvářeny rozmanité povrchové struktury jako jsou žebra různé hrubosti nebo periostrakální lišty a chlupy.

9. Jakmile plž obývající schránku uhynie, schránka začíná podléhat rozkladu. Žijící plž totiž nejen opravuje případná poškození, ale jeho sliz také působí antimikrobiálně a schránku tak chrání. Na obrázku 17 vidíte různá stadia poškození schránky malého plže z čeledi vrkočovití (Vertiginidae). Uлита se postupně mačká a srašťuje, až se celá sbalí do klubíčka. Co způsobuje takovýto zvláštní způsob rozkladu ulity? V jakém biotopu by k tomuto typu rozkladu mohlo docházet?



Obr. 17: Fáze rozpadu ulity malého plže čeledi Vertiginidae, velikost schránky asi 2 mm. (B. Říhová, 2018.)

ČLENOVCI (ARTHROPODA), jak se učí již na základní škole, vytvářejí exoskelet neboli kutikulu (termíny se v literatuře používají většinou jako synonymum). Společně s želvuškami (Tardigrada), drápkovci (Onychophora), hlísticemi a strunovci (Nematoida) a chobotovci (Scalidophora) patří do skupiny **Ecdysozoa** – tento název by se asi dal volně přeložit jako „svlečkovci“ či „svlékavci“ a je odvozen od apomorfie, kterou je tato skupina unikátní – pravidelné svlékání a obměňování kutikuly.

Skupina Panarthropoda (tedy Arthropoda + Tardigrada + Onychophora) navíc svou kutikulu vylepšila přidáním chitinu (polysacharid, strukturou připomínající celulózu), který poskytuje kutikule pevnost a pružnost. Členovci mají tělo rozdělené do jednotlivých segmentů, které kopíruje i kutikula analogicky dělená na **sklerity** – destičky, které jsou vzájemně propojeny artikulární membránou. To dohromady zajišťuje dobrou odolnost (vůči mechanickému poškození, parazitům, vysychání apod.), která ale není na úkor pohyblivosti. Má se za to, že právě tento typ exoskeletu je jednou z možných příčin evolučního úspěchu členovců.

U larválních stádií některých skupin, stejně jako u většiny

pavouků a dalších, je pro udržení tvaru důležitý také tlak hemolymfy, dalo by se tedy u členovců mluvit i o jakémsi typu hydroskeletu.

Existuje celá škála různě silných či odolných typů kutikuly, od organismů typu hmyzenka (Protura), která má kutikulu velmi slabou a měkkou až po velmi tvrdé ostrorepy (Xiphosura) a další. Pevnost kutikuly je dána jednak její tloušťkou, ale také sklerotizací či mineralizací. Sklerotizace je založená na zpevňování pomocí proteinů a vyskytuje se u všech členovců, mineralizací se do kutikuly přidávají různé soli (především uhličitán vápenatý) a hraje svou roli především u korýšů (Crustacea, vzpomeňte na tvrdý račí krunýř), ale také třeba u mnohonožek (Diplopoda). Zajímavá struktura související s mineralizací a svlekem právě u raků jsou tzv. rakůvky (viz <https://www.biolib.cz/cz/glossaryterm/id3641/>).

Jak již bylo zmíněno, členovčí kutikula je dobře přizpůsobena k pohybu a některé struktury jsou podobné i třeba naší kostře. Členovci mají dva typy kloubů – **monocondylní** (pohyblivé do všech směrů, něco jako třeba naše rameno) a **dicondylní** (pohyb je omezen dvěma připojeními jen na dva směry, podobné jako náš loket nebo koleno). Svaly se upínají na **apodemy** – vnitřní výběžky exoskeletu. Tak mohou efektivně zajistit pohyb těla a končetin. Pavoukovci (Arachnida) mají často redukované svaly v koncových částech svých přívěsků a pohyb zajišťují alternativními způsoby – pavouci (Araneae) a bičnatci (Thelyphonida) zejména hydraulicky pomocí tlaku hemolymfy (asi proto někomu jejich plynulý pohyb připadá nepřírozený a odpudivý), sekáči (Opiliones) a solifugy (Solifugae) pomocí elastické ztlustěliny v oblasti neosvaleného kloubu, štíři (Scorpiones) a štírci (Pseudoscorpiones) mají svaly, které sahají přes dva klouby najednou.

10. Některé taxony si kromě vlastní kutikuly tvoří také schránku (z vlastních produktů či z materiálu z okolí). Vyjmenujte tři skupiny členovců, u kterých se s nějakým typem schránky můžeme setkat.

11. Z kutikuly se u mnohých skupin vyvinuly různé struktury, které slouží k jiným účelům než k opoře či mechanické obraně. Vyjmenujte alespoň tři takovéto struktury (každou s jiným účelem), uveďte taxon, u kterého se vyskytují, a ke každé přiložte obrázek.

S kutikulou u členovců to může dojít opravdu daleko. U sršně východní (*Vespa orientalis*) bylo zjištěno, že na granulích žlutého pigmentu obsaženého v kutikule na zadečku se vytváří díky slunečnímu záření elektrochemický potenciál a tato energie je využívána jako v metabolismu jedince. Efektivita je sice malá (jen desetiny procenta), ale s nadsázkou bychom mohli říci, že se jedná o jistou formu autotrofie u živočichů! (Více např. zde: http://news.bbc.co.uk/earth/hi/earth_news/newsid_9254000/9254445.stm.)

