

5. Oběh tělních tekutin

Aby mohly tělní tekutiny plnit své funkce, musí v organismu obíhat - v tomto stavu je udržují různé typy cévních soustav. Cévní soustava je složitý trubicovitý systém cév, ve kterých kolují tělní tekutiny - krev, míza nebo krvomíza - hemolymfa. Některé cévy - tepny - jsou schopny peristaltickými pohyby měnit svůj průměr a uvádět tak tekutinu do pohybu. Často se některá z hlavních tepen mění v dutý svalnatý orgán - srdce. Jiné cévy - žil - slouží jako potrubí, kterým tekutina jen protéká.

Rozlišujeme 2 typy cévních soustav:

1. Otevřená cévní soustava - tělní tekutinou je hemolymfa, která je vedena ze srdce krátkými cévami do tělních dutin, kde se rozlévá mezi orgány, které tak zaplavuje přímo (**obr. 1**). Určité látky se z ní vstřebávají, jiné se do ní zase vylučují. Jinými cévami se hemolymfa nasává zase zpět do srdce. Výměna látek se tak děje difúzí mezi buňkami, tkáňovým mokem v mezibuněčných prostorech a hemolymfou.

2. Uzavřená cévní soustava - tělní tekutinou je krev, která koluje v uzavřených trubicích nebo míza, která se nachází v dutinách nebo má vlastní oběh (obratlovci). Krev je vedena ze srdce tepny do drobných cévek - krvních vlásečnic (kapilár), které hustě prostupují všechny orgány. Ve směru toku krve se síť krevních vlásečnic zjednodušují, kapiláry se spojují ve větší cévky, které ústí do žil, které odvádí krev zpět do srdce. Krev tedy po celou dobu oběhu neopouští cévní soustavu. Výměna látek mezi buňkami a krví se děje přes stěny vlásečnic a tkáňový mok.

5.1. Hemolymfa hmyzu

U hmyzu se setkáváme s otevřenou cévní soustavou, ve které koluje - hemolymfa. Hemolymfa cirkuluje v dutině zvané - hemocél a omývá hmyzí orgány. Směr a rychlost jejího toku jsou regulovány vnitřními orgány. Hlavní roli hraje - dorsální céva - někdy nazývaná také srdce, která funguje jako peristaltická pumpa a rozhání hemolymfu do těla. Tomu napomáhá svalová kontrakce a pohyb dalších orgánů. Hemolymfa omývá vnitřní orgány, které jsou kryty bazální membránou. Ta může ovlivňovat výměnu materiálu mezi hemolymfou a buňkami orgánů. Je zřejmé, že otevřený cévní systém má jen několik málo cév nebo kompartmentů (viz kap. 5.2.), které ovlivňují tok hemolymfy.

U druhů s měkkým povrchem těla (např. housenky motýlů), kde tělní tekutiny hrají roli hydrostatického skeletu, představuje obsah hemolymfy asi 20 - 40% hmotnosti těla. U druhů s pevným vnějším skeletem (imaga, nymfy) je to méně než 20%.

5.1.1. Funkce hemolymfy

Hmyzí hemolymfa plní v organismu několik základních funkcí:

1. Transport - transport živin do tkání a zplodin metabolismu do exkretčních orgánů, transport hormonů, obranných látek a vyjímečně kyslíku na barvivech nebo fyzikálně rozpuštěného.

2. Mechanická funkce - u druhů s měkkým tělním povrchem (housenky motýlů) se hemolymfa podílí na celkovém tvaru těla (viz hydrostatický skelet - kap. 1.1.4.), u všech druhů zajišťuje změny tlaku při líhnutí a svlékání (odstranění staré a roztahování nové kutikuly). Lokálními změnami tlaku se hemolymfa podílí na ventilaci tracheálního systému a rozpínání křídel.

3. Zástava krvácení - při mechanickém poranění tělní stěny vzniká melaninová zátka (přeměnou tyrozinu na polyfenoly a melaniny), na kterou se nabalují krevní buňky a která ucpává vzniklou ránu a zabraňuje dalšímu krvácení.

4. Obranná funkce - fagocytóza cizorodých látek krevními buňkami, enkapsulace, produkce obranných látek lysozymů, lytických proteinů, lektinů atd. (viz kap. 5.3.)

5. Rezerva vody pro organismus - plazma hemolymfy je vodný roztok, který může podle potřeby „pufrovat“ nedostatek vody v organismu.

6. Termoregulace - u některých druhů hmyzu se cirkulující hemolymfa podílí na termoregulaci (viz kap. 7.1.).

5.1.2. Složení hemolymfy

Hemolymfa je vodnatá tekutina obsahující ionty, molekuly a buňky. Může být čirá a bezbarvá, ale často je pigmentována a je nažloutlá, zelenavá, modrá nebo hnědá; vzácně může být také červená (u některých nedospělých stadií vodních nebo parazitických Dipter) z důvodů přítomnosti hemoglobinu. pH hemolymfy je - slabě kyselé - 6,4 až 6,8. Koncentrace solí dosahuje hodnot 1,5 - 2,1% (obratlovci 0,9%), vysoký je také obsah aminokyselin (20 až 30 krát vyšší než u obratlovců) i peptidů. Hemolymfa obsahuje též steroidní látky a hormony. Ze sacharidů je nejdůležitější trehalóza - transportní disacharid složený ze dvou molekul glukózy (viz kap. 2.4.) Jeho hladina může značně kolísat bez následků v rozmezí 4 - 20 mg/ml. Slouží také jako kryoprotektant. V hemolymfě je také řada dalších cukrů - glukóza, sacharóza, fruktóza, galaktóza, ribóza atd. - mají však minoritní funkci.

Hmyzí hemolymfa obsahuje mnoho různých proteinů s různou funkcí. Jejich obsah v hemolymfě je druhově specifický a závisí především na vývojovém stádiu. Běžná koncentrace proteinů dosahuje hodnot okolo 6% (podobně jako u obratlovců). Někdy jsou však tyto hodnoty podstatně překročeny: nejvyšších koncentrací proteinů v hemolymfě bývá dosaženo koncem posledního larválního instaru u Dipter a Lepidopter, kdy hodnoty dosahují až 20%.

Nejvýznamnější proteiny hmyzí hemolymfy:

1. Zásobní (storage) proteiny - velká skupina larválních zásobních bílkovin (např. arylphoriny a methionin bohaté proteiny - viz kap. 2.4.) o molekulové hmotnosti zpravidla

okolo 500 kDa, které se v určitých obdobích vývoje stávají abundantní a dosahují v hemolymfě značné koncentrace. Hlavním místem syntézy zásobních proteinů je - tukové těleso (Lepidoptera). Ukazuje se však, že se syntetizují i v jiných tkáních - epidermis, střevo a perikardiální buňky. Zásobní proteiny se skládají z 6 podjednotek a proto se nazývají - hexamery. Mají několik funkcí - slouží jako:

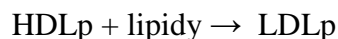
- zásobárna aminokyselin - akumulace zásobních proteinů v hemolymfě posledního instaru napovídá, že tyto proteiny slouží jako aminokyselinová rezerva pro produkci strukturních imaginálních proteinů.

- komponenty kutikuly - předpokládá se, že jsou zdrojem komponentů pro syntézu nové kutikuly. Tomu odpovídá změna jejich titru sladěná se svlékacím cyklem. Využívají se jak jednotlivé aminokyseliny vznikající degradací proteinů, tak proteiny samotné. Celé molekuly bílkovin jsou součástí endokutikuly, kde se sklerotizují pomocí chinonů odvozených z N-acetyl-DOPA.

- zajišťují transport ligandů - v malém množství mohou transportovat lipidy, ekdysteroidy nebo jiné hydrofóbní molekuly.

Utilizace zásobních proteinů - zásobní proteiny koncem larválního vývoje z hemolymfy rychle mizí. Ukládají se do tukového tělesa, kde podmiňují tvorbu granulí. Tento proces je zpravidla ukončen začátkem kuklového vývoje. V mnoha případech obsahují zásobní proteiny kovalentně vázané - oligosacharidy. Lze je detekovat např. pomocí lektinů.

2. Lipophoriny - jsou to lipoproteiny hmyzí hemolymfy, které představují multifunkční prostředek pro transport širokého spektra lipidů mezi hmyzími orgány (**obr. 2**). Z hlediska jejich transportní funkce je dělíme na - HDLp (high density lipophorin) a LDLp (low density lipophorin). Přičemž rozdíl je pouze formální - HDLp představuje “prázdný” bílkovinný nosič, zatímco LDLp molekulu nosiče s navázanou molekulou lipidu:



Lipophoriny obecně transportují lipidy z místa absorpce ze střeva do tukového tělesa nebo z tukového tělesa do místa spotřeby - pracujícího svalu, rostoucí tkáň atd. Lipophoriny jsou charakteristické polyfunkčností - transportují nejen diacylglycerol a fosfolipidy, ale i triacylglycerol, cukerné složky kutikuly nebo cholesterol, který v prothorakálních žlázách slouží k syntéze ekdysteroidů. HDLp váže xenobiotika, takže má pravděpodobně detoxikační efekt. Mezi lipophoriny patří také JHBP (juvenile hormone binding protein - viz kap. 10.2.2.), který transportuje juvenilní hormon. Lipophoriny se podílí i na srážení hemolymfy. Nejvýznamnější je však jejich podíl na transportu diacylglycerolů do místa spotřeby energie.

Lipophoriny mají komplikovanou strukturu. HDLp se skládá z - apolipoproteinu I a II (ApoLp-I, ApoLp-II). U většiny druhů existuje ještě apolipoprotein III (ApoLp-III), který zvyšuje kapacitu lipophorinu připojením na HDLp, čímž zvětšuje jeho povrch. To se

uplatňuje především v transportu lipidů kryjících energeticky náročnou lokomoci - především let. Po připojení transportovaného lipidu na takový nosič vzniká LDLp, který s vysokou efektivitou transportuje lipidy do létacích svalů. Celý proces je řízen prostřednictvím adipokinetického hormonu.

Dynamický charakter lipophorinů - mezi mechanismem fungování hmyzích lipophorinů a jím analogických savčích lipoproteinů (LDL - low density lipoprotein) je několik rozdílů. Hlavním rozdílem je kyvadlový systém přepravy diacylglycerolu u hmyzích lipophorinů tj. mechanismus (**obr. 2**), kdy samotné lipophoriny na rozdíl od savčích lipoproteinů nevstupují přímo do buněk a diacylglycerol si pouze předávají v hemolymfě. Přesto však lipophoriny v době, kdy molekulu diacylglycerolu přebírají z tukového tělesa nebo ji předávají do svalu, musí nějak interagovat s buněčným povrchem. To je zajištěno přítomností lipophorinového receptoru jak v tukovém tělese, tak i ve svalech - tím je zajištěno obousměrné předávání diacylglycerolu. Ve svalech je potom diacylglycerol hydrolyzován na glycerol a mastné kyseliny příslušnou lipázou na membráně buňky svalu. LDLp se předáním diacylglycerolu a uvolněním ApoLp-III mění na HDLp, čímž je jeho funkce naplněna a prázdný nosič se může účastnit přepravy další molekuly.

3. Další proteiny - enzymy (běžné jsou fenoloxidázy), inhibitory proteáz, proteiny imunitní reakce (viz kap. 5.3.), atd.

5.1.3. Cytologie hemolymfy

Hmyzí hemocyty jsou tvarově velmi proměnlivé, vznikají v hemopoetických orgánech a vyznačují se tím, že všechny typy mají jádra (**obr. 3**). Dělí se na:

1. prohemocyty - (**obr. 3a**) jsou charakteristické kulovitým tvarem, velkým jádrem a absencí organel, odvozují se od nich ostatní hemocyty. Jsou relativně malé, mají schopnost se dělit, ale nejsou schopny fagocytózy

2. plasmacyty - (**obr. 3b**) jsou velmi variabilního tvaru, obsahují množství RER (drsného endoplasmatického retikula) a Golgiho aparátu a mohou obsahovat granule. Jsou to nejběžnější hemocyty hemolymfy, jejich hlavní funkcí je fagocytóza a enkapsulace mikroorganismů a parazitů

3. granulocyty - (**obr. 3c**) obsahují množství ER a Golgiho aparátu. Vyznačují se velkým množstvím membránově vázaných granulí, které se mohou povrchově vyměňovat v souvislosti s obrannou funkcí organismu. Hrají roli při koagulaci hemolymfy a tvorbě nodulů (viz kap. 5.3.). Jsou v hemolymfě hojně zastoupeny.

4. cystocyty (granulocyty) - (**obr. 3d**) typ granulocytů, ve kterých je syntéza granulí ukončena, syntetický aparát je tedy redukován, mají relativně velké jádro. U některých řádů chybí.

5. spherulární buňky - (**obr. 3e**) obsahují velké množství spherulí, nejsou zcela běžné a jejich funkce je neznámá.

6. oencyty - (**obr. 3f**) velké buňky, které se nachází v hemocélu, tukovém tělese (viz kap. 2.4.) i epidermis. Jejich funkce je nejasná, zdá se, že produkují látky nutné pro tvorbu kutikuly, ale i ekdysteroidy; u chironomidů produkují hemoglobin.

7. adipocyty - obsahují tukové kapénky, mají malé jádro a vyvinuté ER a Golgiho aparát

8. nefrocyty (perikardiální buňky) - (**obr. 4**) objevují se blízko dorzální cévy a zřejmě fungují jako žláznatý orgán, který vychytává určité látky, které pak metabolizuje pro další použití.

Hemocyty jsou odvozeny z embryotického mezodermu. Nové hemocyty vznikají dělením existujících hemocytů nebo z nediferencovaných prohemocytů v - hemopoetických orgánech. Zpravidla jsou to struktury nacházející se v oblasti srdce (**obr. 5**) nebo jsou s ním přímo spojeny. Tyto orgány jsou u různých druhů různé, u některých ploštic dokonce nebyly nalezeny.

Počet hemocytů - v hemolymfě kolísá, závisí na vývojovém stádiu a roste během metamorfózy, protože se zvyšuje nutnost fagocytózy řady částic nebo velkých molekul. Obecně platí, že malé druhy hmyzu mají méně hemocytů než velké: např. dospělci komárů mají v těle asi 10.000 hemocytů, švábi *Periplaneta americana* více než 9 milionů. Totéž platí i v rámci druhu - u *Galleria mellonella* je na začátku posledního instaru asi 2,2 milionu hemocytů, tento počet se zvětšuje asi na 4 miliony před zahájením svlékání.

Hemocyty mají 4 základní funkce:

1. Fagocytóza - pohlcování malých partikulí a substancí (metabolitů). Fagocytující buňky jsou vřetenovitého tvaru - putují hemolymfou, často se přilepují k povrchu tkání a vytváří hvězdicovité úvary. Při shluku většího množství buněk vznikají - fagocytární orgány - vytvářející váčky - kapsuly - kolem cizorodých částic nebo bakterií.

2. Enkapsulace parazitů a dalšího cizorodého materiálu větších rozměrů.

3. Koagulace - hemocyty se podílí na tvorbě zátky, která ucpává poranění a zabraňuje tak dalšímu krvácení.

4. Zásobní funkce - některé hemocyty - adipocyty obsahují tukové kapénky nebo jiné živiny a slouží jako zásobárna energetických nebo stavebních látek. Jiné hemocyty obsahují látky potřebné při svlékání, mukopolysacharidy atd.

5.2. Cirkulace hemolymfy

Cirkulace hemolymfy je u hmyzu zajištěna systémem svalových pump, které ženou hemolymfu tělními kompartmenty vzájemně oddělenými fibromuskulárními septy neboli

diafragmami (obr. 6). U většiny druhů hmyzu se nachází dvě hlavní diafragmy - dorsální diafragma a ventrální diafragma, které podélně dělí tělo na tři části (siny) (**obr. 6**):

1. Perikardiální sinus - nachází se v dorsální části těla a leží v něm dorsální céva
2. Periviscerální sinus - nachází se v centrální části těla a leží v něm trávicí soustava
3. Perineurální sinus - nachází se ve ventrální části těla a leží v něm břišní nervová páska

Diafragmy jsou perforované, ale svou polohou a svými pohyby usměřňují tok hemolymfy. Podobné útvary (přepážky) usměřňující tok hemolymfy jsou i v končetinách a tykadlech (**obr. 7**).

Anatomie hmyzího srdce

Hlavní pumpou umožňující tok hemolymfy je - dorsální céva, jejíž zadní část se nazývá – srdce, přední část pak - aorta, (termíny nejsou ale exaktně vymezeny). Dorsální céva je jednoduchá trubice, složená z jedné vrstvy myokardiálních buněk a opatřena segmentálně uspořádanými otvory - ostii. Ostie umožňují jednosměrný tok hemolymfy do cévy díky chlopním zabraňujícím zpětnému toku. U hmyzu zpravidla nacházíme 3 páry thorakálních a 9 párů abdominálních ostií - s tendencí redukce jejich počtu. Dorsální céva leží v perikardiálním sinu, který se nachází nad dorsální diafragmou tvořenou zmíněnými fibromuskulárními konektivami a segmentálně uspořádanými páry - alárních (křídlatých) svalů (název nepochází od spojení s křídlem, ale sval má tvar připomínající křídlo). Alární svalovina podpírá dorsální cévu, a podílí se na jejích pohybech.

Činnost srdce

Činnost srdce se skládá podobně jako u obratlovců ze systoly a diastoly. Diastola srdce je aktivní a zajišťuje ji hlavně srdceční křídlatá svalovina. Ta srdce roztáhne, čímž vzniká podtlak a srdce nasává hemolymfu. Tomu dále napomáhá její pružnost i pružnost dorsální diafragmy. Ochabnutím svaloviny vzniká přetlak - systola - ostie se uzavřou a hemolymfa je hnána dopředu. Systola hmyzího srdce je tedy více méně pasivní. Tokem hemolymfy aortou pomáhá peristaltika její svaloviny.

Hemolymfa se dostává do perikardiálního sinu přes segmentálně uspořádané otvory v dorsální diafragmě především ze zadní části těla a vstupuje do srdce (dorsální cévy) ostiemi. Vlna kontrakce - která postupuje dorzální cévou odzadu dopředu žene hemolymfu do aorty a tou pak do hlavy. V hlavě se hemolymfa dostává do hlavových přívěšků a postupuje dále posteriorventrálně. K tomu napomáhá ventrální diafragma, která svými peristaltickými pohyby usměřňuje tok hemolymfy dozadu perineurálním i periviscerálním sinem. Důležitou funkcí ventrální diafragmy je nejen usměrnit tok hemolymfy, ale usnadnit i rychlou výměnu látek mezi hemolymfou a nervovou páskou. Rychlý pohyb hemolymfy je také důležitý pro hmyz, který využívá cirkulaci k termoregulaci (Odonata, Diptera, Lepidoptera, Hymenoptera) (viz kap. 7.1.).

Tlak hemolymfy - je u různých druhů různý. Obecně platí, že u druhů s tvrdou kutikulou je nižší než atmosférický, zatímco u druhů s měkkou kutikulou je vyšší než atmosférický tlak. Tlak hemolymfy hraje důležitou roli při ventilaci, svlékání, rozpínání křídel, líhnutí atd.

Frekvence srdeční činnosti a její kontrola - frekvence srdeční činnosti je druhově závislá a závisí také na vývojovém stadiu jedince. Obecně je frekvence vyšší u mladších a nižší u starších stádií. Např. u bource morušového klesá z 80 tepů za minutu u druhého instaru na 50 tepů u pátého instaru; u kukly dosahuje 10 - 20 tepů za minutu. U některých kukel (např. Anopheles) však není srdeční činnost vůbec zaznamenána. Frekvence srdeční činnosti závisí také na vnějších faktorech, hlavně na teplotě - za normálních okolností se téměř zastavuje při teplotách nad 45 - 50° C a pod 1 - 5° C.

Pro srdeční činnost je typické, že se často na několik sekund až několik desítek sekund zastaví, u některých druhů zase dochází k "reverzní" aktivitě - vlny kontrakce běží na dorsální cévě opačně, tedy odpředu dozadu.

Srdeční aktivita je podobně jako u obratlovců myogenního původu, ale může být modulována nervově i humorálně. Srdce je bohatě inervováno, ale díky myogenní aktivitě je schopno autonomních rytmických kontrakcí i po přetěti nervů, kterými je inervováno. V humorální kontrole srdeční činnosti se uplatňuje serotonin, acetylcholin a peptidy na bázi FMRF-amidu a dále některé neurohormony (viz kap. 10.2.3.) - proctolin, CCAP (crustacean cardioactive peptide), corazonin a AKH (adipokinetický hormon).

Akcesorické pulsační orgány

Zvláštním způsobem je zajištěna cirkulace hemolymfy v končetinách, křídlech, tykadlech a dalších výběžcích. Existují zde svalové - akcesorické pulsační orgány (obr. 7 a 8), které pomocí sept, chlopní a trubic tyto tělní výběžky zásobují. Navíc antenální pulsační orgány uvolňují neuropeptidy, které ovlivňují antenální čichové senzory. Křídla mají také významnou, i když variabilní cirkulaci; cirkulaci zde napomáhá také tlak vzduchu, který vzniká při letu. Na pohybu hemolymfy se podílí i činnost vzdušných vaků (**obr. 8**).

Aktivita pulsačních orgánů je nezávislá na aktivitě srdce - např. u *Periplaneta americana* pulzuje antenální pulsační orgán rychlostí 28 tepů za minutu.

Hmyzí cirkulační systém je příkladem koordinace mezi činnostmi dorzální cévy, fibro-muskulárních sept a akcesorických pump. Tyto orgány jsou řízeny nervově i neurohumorálně. Neurohumorální regulace se pak realizuje neurosekrety roznášenými hemolymfou.

5.3. Obranná funkce hemolymfy a hmyzí imunitní systém

Hmyzí imunitní systém se značně liší od obratlovcího, ale přesto je schopen zmobilizovat odpověď, která je zaměřena na likvidaci původce nákazy a která zajistí zvýšenou rezistenci vůči ní. Tento imunitní systém je mnohem složitější než se donedávna myslelo (**obr. 9**).

Hmyzí imunitní systém zajišťuje obranu organismu před mikroorganismy, parazity, cizorodými částicemi, zraněním a někdy i predátory. V posledním případě obsahuje hemolymfa antifeedanty, tj. látky, které odpuzují predátory. Zranění vyvolá v hemolymfě koagulační proces, který zahrnuje plasmatickou reakci - jedná se o aktivaci profenoloxidáz (jejichž výsledkem je vznik melaninu (viz kap. 1.1.3.) a tvorba melaninové zátky) a účast hemocytů. Výsledná sraženina ucpe ránu a zabraňuje dalším ztrátám hemolymfy a vniknutí infekce. Jestliže dojde k infekci, spouští se imunitní odpověď - ta zahrnuje buněčnou i humorální reakci.

Základem spuštění imunitní reakce je schopnost těla rozeznat vniknutí cizorodých částic na základě fyziologických nebo chemických vlastností jejich povrchů. Důležitou roli při tomto procesu hrají hmyzí - lektiny - dříve zvané hemaglutiny. Obecně jsou to látky bílkovinné povahy (glykoproteiny), schopné rozeznat glycidy obsažené ve stěnách bakterií (např. lipopolysacharidy - LPS) nebo parazitických hub (této skutečnosti se využívá v praxi k biochemickému průkazu glycidové složky v molekulách např. glykoproteinů). Tato reakce pak spustí buněčnou odpověď (fagocytózu) nebo profenoloxidázovou odpověď.

1. Buněčná odpověď

Buněčná odpověď se dělí na několik typů - zásadní roli v ní hrají - plasmatocyty a granulocyty:

a. fygocytóza - malé bakterie, spóry hub nebo prvoci jsou fagocytovány plasmatocyty. Na procesu se asi podílí i proteiny produkované fagocytárními buňkami. Fagocytóza je mechanismus, který se podílí i na likvidaci zbytků tkání během metamorfózy.

b. tvorba nodulů - (**obr. 10**) uplatňují se při masivnější invazi spór nebo bakterií. Cizorodý objekt je přitom obklopen koagulátem tvořeným velkým počtem granulocytů. Tento proces je velmi rychlý, trvá řádově minuty a je následován melanizací (**obr. 11**) nekrotických granulocytů a koagulátu. Později je celý útvar obklopen plasmatocyty. Obecně platí, že patogenní organismy indukují rychlejší a silnější odpověď než nepatogenní.

c. enkapsulace - rozvíjí se při invazi velkých objektů např. parazitoidů nebo larev nematodů, které jsou obklopeny velkým počtem hemocytů. Hemocyty - plasmatocyty i granulocyty vytváří několik vrstev a celý objekt obsahuje i melanin, produkt působení fenoloxidáz (**obr. 11**). Jde tedy o komplexní proces, jehož výsledkem je nekrotizace celé kapsule.

2. Humorální odpověď

Ta spočívá v tvorbě a reakci bílkovinných látek, které v případě tvorby – antimikrobiálních peptidů (AMP) připomínají tvorbu imunoglobulinů (**obr. 12**). V některých imunitních kaskádách hraje důležitou roli - hemolin, který se nachází v malé koncentraci v hemolymfě. Při infekci je hemolin aktivován a pravděpodobně iniciuje syntézu dalších proteinů -

cecropinů, attacinů, defensinů, drosomycinů a dalších (**viz obr. 9**), které se účastní vlastních imunitních reakcí. Tyto proteiny se syntetizují v tukovém tělese nebo v hemocytech a svým účinkem působí baktericidně. Jinou skupinou látek indukovaných infekcí u hmyzu jsou enzymy - lysozomy, které doplňují uvedenou humorální reakci organismu.

Oba typy reakcí - buněčná i humorální se často doplňují a kombinují (**obr. 13**). Do řízení některých obranných reakcí u hmyzu vstupují také hormony (**obr. 14 a 15**).