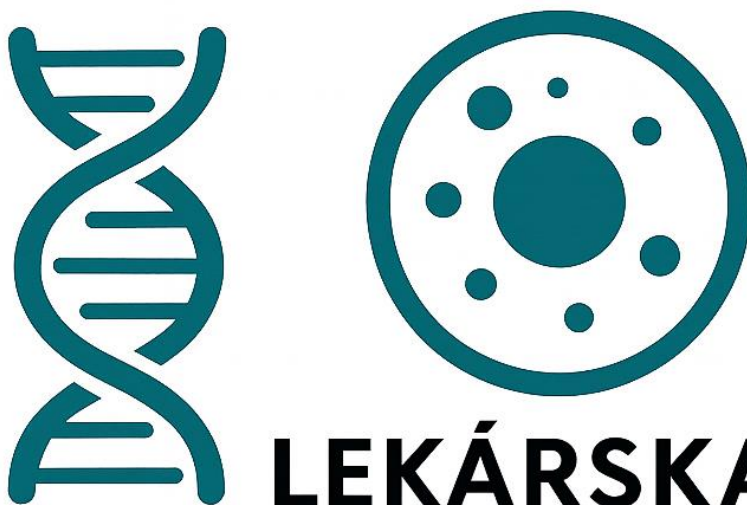


Štefan Harsányi
Daniela Klimová
a kolektív



LEKÁRSKA
BIOLÓGIA A GENETIKA 1
REPETITÓRIUM
A SÚBOR MODELOVÝCH OTÁZOK



UNIVERZITA
KOMENSKÉHO
V BRATISLAVE

Štefan Harsányi

Daniela Klimová

a kolektív

LEKÁRSKA BIOLÓGIA A GENETIKA 1

REPETITÓRIUM A SÚBOR MODELOVÝCH OTÁZOK

Vysokoškolská učebnica pre pregraduálne štúdium na lekárskech fakultách

2026

Univerzita Komenského v Bratislave

© Autori 2026

MUDr. Štefan Harsányi, PhD. [3,33]

RNDr. Daniela Klimová, PhD. [2,25]

MUDr. Martina Čulenová, PhD. [0,54]

RNDr. Marcela Kuniaková, PhD. [0,32]

RNDr. Ľubica Milošovičová, PhD. [0,59]

RNDr. Andrea Pastoráková, PhD. [0,36]

RNDr. Petra Priščáková, PhD. [0,59]

RNDr. Zuzana Varchulová Nováková, PhD. [0,33]

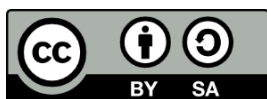
Univerzita Komenského v Bratislave, Lekárska fakulta, Ústav lekárskej biológie, genetiky a klinickej genetiky LF UK a UNB

Recenzenti

prof. MUDr. Martin Péč, PhD., MPH

prof. RNDr. Ivan Varga, PhD. et PhD.

Ilustrácia na obálke: Štefan Harsányi; grafické spracovanie s využitím ChatGPT (OpenAI) podľa pôvodnej autorskej kresby.



Publikácia je šírená pod licenciou Creative Commons CC BY-SA 4.0 (vyžaduje sa: povinnosť uvádzať pôvodného autora, povinnosť odvodené dielo zdieľať pod rovnakou licenciou ako pôvodné dielo). Viac informácií o licencií a použití diela:

<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



https://stella.uniba.sk/texty/LF_lekarska_biologia_genetika_1_repetitorium_modelove_otazky.pdf

ISBN 978-80-223-6344-0 (online)

Obsah

Predhovor	4
1 Úvod do mikroskopickej techniky (Harsányi, Čulenová)	5
2 Štruktúra a funkčná organizácia prokaryotickej a eukaryotickej bunky. Molekuly v bunkách a organizmoch (Harsányi)	18
3 Biomembrány, transport látok a medzibunková komunikácia. Receptory (Harsányi, Čulenová)	31
4 Organely eukaryotickej bunky (Harsányi)	43
5 Reprodukcia buniek (Harsányi, Kuniaková)	57
6 Bunkové a tkanivové kultúry. Hodnotenie základných biologických vlastností buniek (Harsányi, Varchulová Nováková).....	75
7 Bunková smrť (Harsányi).....	88
8 Nukleové kyseliny (Klimová, Milošovičová, Priščáková).....	100
9 Replikácia DNA (Klimová, Milošovičová, Priščáková)	114
10 Proteosyntéza (Klimová, Milošovičová, Priščáková).....	126
11 Metódy v molekulovej genetike. Omiky (Klimová)	144
12 Formy vstupu a existencie cudzorodej DNA v bunke. Vektory. Rekombinančné techniky (Klimová, Pastoráková)	162
13 Vzťahy medzi mikro- a makroorganizmami (Klimová, Harsányi)	177
14 Vírusy (Klimová, Harsányi)	190
Použitá literatúra.....	204

Predhovor

Milí študenti,

práve držíte v rukách materiál, ktorý má byť vaším sprievodcom pri štúdiu lekárskej biológie a genetiky. Ide o oblasti, ktoré tvoria základ medicíny a ich pochopenie je nevyhnutné pre orientáciu v ďalších predmetoch aj v klinickej praxi.

V tomto texte sme pre vás spracovali kľúčové témy prvého semestra a doplnili ich o súbor modelových otázok. Tieto otázky sú rozdelené do 14 kapitol podľa obsahu prednášok a praktických cvičení. Slúžia na upevnenie vedomostí, avšak nenahrádzajú predpísanú študijnú literatúru. Na konci každej kapitoly nájdete kľúč k správnym odpovediam, ktorý vám umožní okamžitú spätnú väzbu a sebahodnotenie.

Našou snahou bolo vytvoriť materiál, ktorý vám pomôže nielen pri príprave na skúšky, ale aj pri hlbšom pochopení základov biológie a genetiky. Veríme, že vám umožní systematickejšie sa učiť, zopakovať si dôležité fakty a s väčšou istotou pristupovať k záverečným hodnoteniam.

S úprimným práním veľa úspechov v štúdiu,

Štefan Harsányi, Daniela Klimová a kolektív

1 Úvod do mikroskopickej techniky

Mikroskopy patria medzi základné nástroje modernej vedy a techniky, najmä v biomedicínskych disciplínach. Ich hlavnou úlohou je umožniť pozorovanie objektov, ktoré sú pre ľudské oko príliš malé (majú menšie rozmery než 70 μm). Toto zahŕňa rôzne biologické vzorky, ako sú bunky, baktérie alebo iné mikroorganizmy. Mikroskopy umožnili zásadné objavy v biológii, medicíne a mnohých iných oblastiach.

Typy mikroskopov

Od prvých jednoduchých prešli mikroskopy mnohými vylepšeniami, ktoré viedli k vzniku moderných svetelných a elektrónových mikroskopov. **Svetelný mikroskop**, ktorý sa používa najčastejšie, využíva ako zdroj žiarenia biele alebo ultrafialové svetlo. Optické časti svetelného mikroskopu sú zvyčajne vyrobené z brúseného skla, ktoré zabezpečuje vysokú presnosť a rozlišovaciu schopnosť. **Rozlišovacia schopnosť** svetelného mikroskopu je približne 0,2 mikrometra (μm), čo znamená, že je schopný rozlíšiť dva body, ktoré sú od seba vzdialené o túto vzdialenosť. Svetelný mikroskop dokáže dosiahnuť maximálne teoretické zväčšenie až do 2 000 $\times$, ale v praxi sa väčšinou používa zväčšenie okolo 1 000 $\times$.

Na pozorovanie jemnejších detailov, ktoré sú mimo rozlišovacej schopnosti svetelných mikroskopov, boli vyvinuté **elektrónové mikroskopy**. Elektrónové mikroskopy namiesto svetla využívajú prúd elektrónov, ktoré sú emitované katódou a fokusované pomocou špeciálnych elektromagnetických šošoviek. Vďaka tomu majú oveľa vyššiu rozlišovaciu schopnosť ako svetelné mikroskopy (až 0,2 nm) a umožňujú dosiahnuť zväčšenie až miliónkrát. Elektrónové mikroskopy sa delia na dva hlavné typy: **transmisné elektrónové mikroskopy** (TEM) a **skenovacie elektrónové mikroskopy** (SEM). TEM umožňuje prenos elektrónového lúča cez veľmi tenký preparát, čo vytvára detailný obraz vnútorných štruktúr. SEM zasa skenuje povrch preparátu a registruje odrazené elektróny, čím vytvára trojrozmerný obraz povrchových štruktúr.

Svetelné mikroskopy sú rozdelené na niekoľko špecifických typov podľa ich využitia. Medzi tieto typy patrí stereomikroskop, invertovaný mikroskop, fluorescenčný mikroskop a polarizačný mikroskop. **Stereomikroskop** poskytuje trojrozmerný obraz pozorovaného objektu, čo je veľmi užitočné pri diagnostike alebo pri operáciách, ako sú napríklad gynekologické, neurochirurgické a oftalmologické zákroky. Tento typ mikroskopu neumožňuje dosiahnuť extrémne vysoké zväčšenia, ale poskytuje dostatočný pohľad na pozorovanú štruktúru alebo miesto operácie. Stereomikroskopy využívajú dve samostatné optické dráhy (sústavy), čo umožňuje vytvárať stereoskopický obraz objektu.

Invertovaný mikroskop je ďalší špeciálny typ svetelného mikroskopu, ktorý sa využíva predovšetkým pri sledovaní bunkových a tkanivových kultúr. Oproti klasickému svetelnému mikroskopu má invertovaný mikroskop opačné usporiadanie optickej a osvetľovacej časti.

Optická časť sa nachádza pod preparátom, zatiaľ čo osvetlenie je umiestnené nad ním. Tento dizajn umožňuje pozorovanie buniek, ktoré rastú na dne kultivačných nádob.

Fluorescenčný mikroskop patrí medzi špeciálne typy svetelných mikroskopov. Klasický fluorescenčný mikroskop ako zdroj svetla zvyčajne využíva ortuťovú alebo xenónovú výbojku, moderné prístroje prechádzajú na LED systémy a v konfokálnej či superrezolučnej mikroskopii dominujú lasery. Svetlo zvoleného zdroja prechádza excitačným filtrom, ktorý prepúšťa len vlnové dĺžky potrebné na excitáciu fluorofórov. Tieto molekuly po absorpcii energie prechádzajú do excitovaného stavu a následne uvoľnia časť energie vo forme fotónov s dlhšou vlnovou dĺžkou – emisiou. Emitované svetlo je odfiltrované emisným filtrom a prenesené do okulára alebo kamery. Týmto spôsobom je možné pozorovať inak ťažko viditeľné štruktúry buniek a tkanív, a preto je fluorescenčný mikroskop neodmysliteľnou súčasťou modernej molekulárnej cytogenetiky. Využíva sa napríklad pri technikách ako je FISH (fluorescenčná in situ hybridizácia), ktorá umožňuje identifikáciu genetických zmien priamo v bunkách.

Klasická fluorescenčná mikroskopia má obmedzenú rozlišovaciu schopnosť danú difrakčným limitom svetla. Tento limit čiastočne prekonáva **konfokálna mikroskopia**, ktorá využíva laserový zdroj svetla a sústredí lúč do presne definovaného ohniska. Svetlo z rovnakej roviny prechádza cez pinholový otvor, čím sa eliminuje rušivé žiarenie z iných vrstiev preparátu. Výsledkom je vyšší kontrast, lepšie priestorové rozlíšenie a možnosť získať optické rezy hrubšími vzorkami, ktoré sa následne môžu skombinovať do 3D obrazu. Ešte ďalej ide superrezolučná mikroskopia (napr. STED, PALM, STORM), ktorá dokáže prekonať samotný difrakčný limit a dosiahnuť rozlíšenie až 20 – 50 nm. Využíva špeciálne optické princípy – napríklad potlačenie fluorescencie mimo presne ohraničeného bodu alebo postupnú lokalizáciu jednotlivých molekúl. Tieto techniky umožňujú študovať subcelulárne štruktúry a dynamické procesy, ktoré boli predtým viditeľné iba pomocou elektrónového mikroskopu.

Polarizačný mikroskop je ďalším špeciálnym typom svetelného mikroskopu, ktorý využíva polarizované svetlo. Tento typ mikroskopu sa používa na pozorovanie štruktúr, ktoré vykazujú anizotropné (dvojlomné) alebo izotropné (jednolomné) optické vlastnosti, ako sú napríklad kryštalické inklúzie alebo fibrilárne vlákna. V biomedicíne sa polarizačné mikroskopy často používajú pri pozorovaní špecifických tkanív a bunkových štruktúr, ktoré majú tieto vlastnosti.

Konštrukčné riešenie svetelných mikroskopov

Svetelný mikroskop sa skladá z troch základných častí: optickej, osvetľovacej a mechanickej časti. **Optická časť** zahŕňa objektív a okulár. Objektív je sústava šošoviek umiestnená nad preparátom, ktorá vytvára zväčšený medziobraz. Okulár je šošovka, cez ktorú pozorujeme tento obraz a ďalej ho zväčšujeme. **Osvetľovacia časť** zabezpečuje adekvátne osvetlenie preparátu; zdrojom svetla býva halogénová alebo LED žiarovka. Svetlo prechádza cez optické prvky, ako sú šošovky, kondenzory a filtre, ktoré zabezpečujú rovnomerné a optimálne osvetlenie preparátu.

Mechanická časť mikroskopu zahŕňa tubus, ktorý zabezpečuje správnu vzdialenosť medzi objektívom a okulárom, a stôl mikroskopu, na ktorý sa upevňuje preparát. Zaostrovanie sa vykonáva pohybom tubusu alebo stolíka pomocou makroskrutky (hrubé zaostrenie) a mikroskrutky (jemné zaostrenie). Stolík je vybavený systémom, ktorý umožňuje presný horizontálny posun preparátu v predo-zadnom a pravo-ľavom smere.

Praktické aspekty práce s mikroskopom

Pri práci s mikroskopom je nevyhnutné dodržiavať základné pravidlá správnej manipulácie, údržby a bezpečnosti. Tieto aspekty zabezpečujú nielen dlhú životnosť prístroja, ale aj presnosť a reprodukovateľnosť pozorovaní.

Optické časti mikroskopu sú veľmi citlivé, preto je potrebné zachádzať s nimi opatrne. Objektívy a okuláre sa čistia len špeciálnymi utierkami alebo roztokmi určenými na optiku. Pri dlhodobom nepoužívaní sa mikroskop prikryva ochranným obalom, aby sa predišlo usadzovaniu prachu. Ukladať sa má v stabilnom prostredí bez nadmernej vlhkosti a otrasov.

Na správne meranie veľkostí štruktúr je potrebná kalibrácia pomocou okulárového mikrometra a etalónového meracieho preparátu. Kalibrácia umožňuje presne určiť rozmery buniek, organel alebo iných mikroštruktúr pri konkrétnom zväčšení. Tento postup je dôležitý najmä v histológii, cytológii a mikrobiológii, kde presnosť merania rozhoduje o diagnostickej hodnote pozorovania.

Preparáty pozorované v mikroskope môžu byť natívne alebo fixované. **Natívne preparáty** sa pripravujú bez predchádzajúcej úpravy, napríklad kvapka krvi, moču, výter či bunky z kultúry sa umiestnia priamo na podložné sklíčko a prikryjú krycím sklíčkom. Ich výhodou je možnosť sledovať živé bunky a dynamické procesy, ako je pohyb bičíkov alebo fagocytóza, nevýhodou je nižší kontrast a krátkodobá trvácnosť. **Fixované preparáty** sú naopak trvalejšie a umožňujú detailnejšie štúdium. Materiál sa najskôr fixuje teplom alebo chemicky (napr. formalínom či alkoholom), aby sa zachovala štruktúra buniek a tkanív, a následne sa farbí, čo zvýrazní vnútorné detaily. Fixované preparáty sú základom histologických a cytologických vyšetrení.

Mikroskopické preparáty sú často transparentné a bez farbenia by mali nízky kontrast, čo sťažuje pozorovanie detailov. **Farbenie** umožňuje zvýrazniť štruktúry buniek a tkanív, prípadne odlíšiť rôzne typy buniek či mikroorganizmov. Základné metódy zahŕňajú jednoduché farbenie (napr. metylénová modrá), diferenčné farbenie (napr. Gramovo farbenie baktérií) a špeciálne farbenia (napr. farbenie na tuky, väzivové štruktúry alebo nukleové kyseliny). Giemsovo farbivo patrí medzi špeciálne cytologické farbenia. Umožňuje detailné zobrazenie jadier, cytoplazmy a parazitov. Využíva sa najmä v hematológii na farbenie krvných náterov (diferenciálny krvný obraz) a v cytogenetike na G-pásikovanie chromozómov.

Pri práci so zdrojmi žiarenia, akými sú ortuťové lampy, UV zdroje alebo lasery, je potrebné dodržiavať zásady ochrany zraku a pokožky. Používajú sa ochranné okuliare s vhodným filtrom

a zabránuje sa priamemu kontaktu s lúčom. Dôležité je aj správne vetranie pracoviska, aby sa predišlo expozícii škodlivým výparom z niektorých starších zdrojov svetla.

V nasledujúcej tabuľke uvádzame prehľad základných pojmov používaných v mikroskopii.

Pojem	Definícia	Praktický význam
Rozlišovacia schopnosť	Minimálna vzdialenosť medzi dvomi bodmi, ktoré vidíme oddelene.	Určuje, aké detaily možno pozorovať. Dôležitejšia ako samotné zväčšenie.
Zväčšenie	Pomerné zväčšenie obrazu vzhľadom na skutočnú veľkosť objektu.	Bez dobrej rozlišovacej schopnosti sa nedá poskytnúť kvalitný obraz.
Numerická apertura (NA)	Bezrozmerná hodnota vyjadrujúca schopnosť objektívu zachytiť svetlo; závisí od uhla lúčov a indexu lomu prostredia.	Vyššia NA = viac svetla, lepší kontrast a rozlišovacia schopnosť.
Imerzné médium	Olej alebo voda medzi krycím sklíčkom a objektívom.	Zvyšuje NA, zlepšuje ostrosť a kontrast pri vysokých zväčšeniach (najmä pri objektívoch 100×).
Sférická aberácia	Rôzne lomy svetla cez stred a okraj šošovky.	Rozmazaný obraz sa koriguje špeciálnymi šošovkami.
Chromatická aberácia	Rôzne lomy svetla s rôznymi vlnovými dĺžkami.	Farebné lemy na okrajoch; riešením sú achromatické/apochromatické objektívy.
Astigmatizmus	Lúče v rôznych rovinách sa v jednom bode nestretávajú.	Obraz je ostrý len v jednom smere; korekcia špeciálnou konštrukciou objektívov.



Modelové otázky

1. Aké žiarenie sa využíva pri fluorescenčnej mikroskopii?

- a) infračervené žiarenie
- b) viditeľné excitačné svetlo
- c) ultrafialové žiarenie
- d) prúd elektrónov

2. Aké farbivo sa najčastejšie využíva pri vizualizácii chromozómov?

- a) modrý atrament
- b) Giemsovo
- c) Lugolov roztok
- d) hematoxylín a eozín

3. Aké zväčšenie získame, ak použijeme objektív s 40× zväčšením a okulár s 10× zväčšením?

- a) 400×
- b) 10×
- c) 40×
- d) 4×

4. Elektrónové mikroskopy ako zdroj žiarenia používajú:

- a) biele svetlo
- b) biele svetlo alebo ultrafialové žiarenie
- c) elektrónkové žiarenie
- d) prúd elektrónov

5. Elektrónové mikroskopy:

- a) ako zdroj žiarenia využívajú prúd fotónov
- b) nevyžadujú špeciálnu úpravu preparátov
- c) vyžadujú špeciálnu prípravu preparátov
- d) ako zdroj žiarenia využívajú prúd elektrónov

6. Elektrónový mikroskop:

- a) je typ svetelného mikroskopu, vieme ním pozorovať bunky *in vitro* aj *in vivo*
- b) umožňuje sledovať topológiu buniek a tkanív alebo vnútorné štruktúry
- c) vieme pozorovať rovnaké preparáty pri SEM aj TEM
- d) rozlišovacia schopnosť je väčšia ako pri konfokálnom mikroskope, preparáty sa pripravujú špecifickým spôsobom

7. Farbenie poznáme:

- a) orientačné
- b) špecifické
- c) náhodné
- d) všeobecné

8. Fázový kontrast:

- a) slúži ako zdroj žiarenia pri málo kontrastných preparátoch
- b) sa využíva na zvýraznenie niektorých štruktúr bunky
- c) sa v mikroskopii vôbec nepoužíva
- d) umožňuje pozorovanie priehľadných objektov s málo výrazným kontrastným rozhraním

9. Invertovaný mikroskop:

- a) používa sa napr. pri sledovaní bunkových kultúr
- b) umožňuje pozorovanie preparátov v prechádzajúcom svetle
- c) je typ elektrónového mikroskopu
- d) používa metódu osvetlenia zhora

10. K mechanickej časti svetelného mikroskopu patrí:

- a) irisová clona
- b) revolverový menič objektívov
- c) kondenzor
- d) objektív

11. K osvetľovacej časti mikroskopu patrí:

- a) tubus
- b) objektívy
- c) zdroj svetla
- d) kondenzor

12. Konfokálny mikroskop:

- a) je forma svetelného fluorescenčného mikroskopu so zvýšenou rozlišovacou schopnosťou
- b) ako zdroj svetla využíva lasery s rôznymi excitačnými vlnovými dĺžkami
- c) pri hrubších rezoch umožňuje selektívne zaostriť a zaznamenať konkrétnu optickú rovinu
- d) je to druh elektrónového mikroskopu

13. Ktorá z nasledujúcich možností je najvhodnejšia na získanie povrchového zobrazenia objektu?

- a) SEM – skenovací elektrónový mikroskop
- b) TEM – transmisný elektrónový mikroskop
- c) invertovaný mikroskop
- d) svetelný mikroskop

14. Ktorá z nasledujúcich možností sa používa na vizualizáciu živých buniek?

- a) SEM – skenovací elektrónový mikroskop
- b) TEM – transmisný elektrónový mikroskop
- c) mikroskop s fázovým kontrastom
- d) všetky tieto

15. Ktoré časti mikroskopu majú zväčšujúcu schopnosť:

- a) objektív
- b) irisová clona
- c) kondenzor
- d) okulár

16. Ktorý mikroskop má obrátené poradie svetelnej a optickej časti?

- a) elektrónový
- b) skenovací
- c) invertovaný
- d) rastrovací

17. Medzi optické časti mikroskopu patrí:

- a) okulár
- b) revolverový menič
- c) zdroj svetla
- d) objektív

18. Mechanická časť mikroskopu obsahuje:

- a) tubus
- b) revolverový menič
- c) mikroskrutku
- d) makroskrutku

19. Mechanická časť mikroskopu obsahuje:

- a) makroskrutku
- b) posúvateľný stolček
- c) okuláre
- d) objektívy

20. Na orientáciu v zornom poli sa používa:

- a) rozdelenie na sústredné kruhy
- b) rozdelenie na kvadranty
- c) orientácia podľa ciferníka hodín
- d) irisová clona

21. Natívne preparáty:

- a) sa používajú pri sledovaní fyziologických prejavov buniek
- b) používajú sa aj pri sledovaní typického tvaru buniek
- c) umožňuje detailne pozorovať vnútrobunkové štruktúry
- d) umožňujú sledovať pohyb buniek

22. Obraz v mikroskope je:

- a) obrátený
- b) zväčšený
- c) zmenšený
- d) skutočný

23. Optické časti elektrónového mikroskopu:

- a) sú zo skla
- b) tvoria šošovky z brúseného skla
- c) tvoria elektromagnetické šošovky
- d) sú impregnované elektrondenznými prostriedkami

24. Optické časti svetelného mikroskopu:

- a) sú zo skla
- b) tvoria šošovky z brúseného skla
- c) tvoria elektromagnetické šošovky
- d) sú impregnované elektrondenznými prostriedkami

25. Osvetľovacia časť svetelného mikroskopu obsahuje:

- a) okulár a objektív
- b) zdroj svetla
- c) sústavu filtrov a clôn
- d) kondenzor

26. Podľa spôsobu prípravy poznáme preparáty:

- a) odtlačkové
- b) nátery
- c) zakryté krycím sklíčkom
- d) trvalé

27. Podľa typu konštrukcie rozlišujeme svetelné mikroskopy:

- a) jednoduché lupy a stereolupy
- b) mikroskopy s jedným alebo viacerými objektívmi
- c) elektrónové mikroskopy
- d) invertované mikroskopy

28. Podľa typu používaného žiarenia rozlišujeme mikroskopy:

- a) svetelné
- b) elektrónové
- c) elektrónkové
- d) výbojkové

29. Pracovná vzdialenosť:

- a) je vzdialenosť oka od mikroskopu
- b) je vzdialenosť preparátu od frontálnej šošovky objektívu
- c) je vzdialenosť objektívu od okulára
- d) sa skrakuje so stúpajúcim zväčšením objektívu

30. Pre zvýraznenie štruktúr v natívnych preparátoch je možné použiť:

- a) mikroskopovanie v tmavom poli
- b) fázový kontrast
- c) vitálne farbenie
- d) elektrónovú mikroskopiu

31. Pre zvýraznenie štruktúr v natívnych preparátoch je možné použiť:

- a) mikroskopovanie v svetlom poli
- b) fázové kontrastné farbenie
- c) vitálne farbenie alebo fázový kontrast
- d) elektrónovú mikroskopiu

32. Pri pozorovaní v tmavom poli:

- a) sa používa zvláštny typ kondenzora
- b) kondenzor mikroskopu prepúšťa len bočné svetlo
- c) pozorujeme len lúče odrazené od objektu
- d) fázový kontrast umožňuje pozorovanie fluoreskujúcich objektov

33. Svetelné mikroskopy ako zdroj žiarenia používajú:

- a) biele svetlo
- b) ultrafialové žiarenie
- c) elektrónkové žiarenie
- d) prúd elektrónov

34. Svetelný mikroskop obsahuje:

- a) optickú časť
- b) osvetľovaciu časť
- c) mechanickú časť
- d) biologickú časť

35. Svetelnými mikroskopmi sa bežne pozorujú objekty:

- a) menšie ako 70 μm
- b) väčšie ako 70 μm
- c) menšie ako 70 nm
- d) ktoré sa nedajú pozorovať voľným okom

36. Transmisný elektrónový mikroskop:

- a) má šošovku z brúseného skla, využíva prúd elektrónov a skenuje povrch objektu
- b) má šošovku z brúseného skla, využíva prúd elektrónov a môžeme ním pozorovať aj vnútro bunky
- c) preparát je potrebné pripraviť s elektrón-denznou látkou, ktorá emituje nadmernú energiu z pohlteneho UV
- d) obsahuje elektromagnetickú šošovku a pozorujeme ním aj vnútorné štruktúry bunky

37. Výsledné zväčšenie pri mikroskopovaní sa vypočíta ako:

- a) súčet zväčšenia objektívu a pracovnej vzdialenosti
- b) súčin zväčšenia šošovky a zväčšenia objektívu
- c) súčin zväčšenia objektívu a zväčšenia okulára
- d) súčin pracovnej vzdialenosti objektívu a hrúbky sklíčka

38. Aký je hlavný cieľ fixácie mikroskopických preparátov?

- a) zvýšenie kontrastu preparátu pri pozorovaní
- b) zachovanie štruktúry buniek a tkanív pred poškodením alebo rozkladom
- c) zabezpečenie lepšieho prenosu svetla cez preparát
- d) zníženie hrúbky preparátu na optimálnu úroveň

39. Čo vyjadruje pojem rozlišovacia schopnosť mikroskopu?

- a) maximálne dosiahnuteľné zväčšenie obrazu
- b) minimálnu vzdialenosť medzi dvomi bodmi, ktoré ešte vidíme oddelene
- c) schopnosť mikroskopu zachytiť čo najviac svetla
- d) schopnosť zvýšiť kontrast bez farbenia preparátu

40. Čo platí o numerickej apertúre objektívu?

- a) vyššia numerická apertúra znamená menší prienik svetla do objektívu
- b) numerická apertúra nezávisí od použitého média medzi preparátom a objektívom
- c) vyššia numerická apertúra znamená lepší kontrast a rozlišovaciu schopnosť
- d) numerická apertúra vyjadruje len teoretické maximálne zväčšenie objektívu

41. Čo spôsobuje sférickú aberáciu?

- a) nepravidelný lom svetla na rozhraní rôznych médií
- b) rôzny lom svetla cez stred a okraj šošovky
- c) vznik farebných lemov na okrajoch objektov
- d) nesprávne uloženie preparátu na podložnom skle

42. Ako sa prejavuje chromatická aberácia?

- a) rozmazaný obraz len v jednom smere
- b) znížený kontrast preparátu
- c) farebné lemy na okrajoch pozorovaných objektov
- d) neostrý obraz pri vysokom zväčšení aj po použití imerzného oleja

43. Aký obraz vzniká pri astigmatizme šošovky?

- a) ostrý v jednom smere a rozmazaný v druhom
- b) s farebnými lemmami na okrajoch
- c) rozmazaný po celej ploche rovnomerne
- d) vysoko kontrastný, ale s nízkym zväčšením

44. Aký je hlavný princíp konfokálnej mikroskopie v porovnaní s klasickou fluorescenčnou mikroskopiou?

- a) používa polarizované svetlo na zvýraznenie štruktúr
- b) využíva pinholový otvor na elimináciu rozptýleného svetla a získanie optických rezov
- c) dosahuje rozlišovaciu schopnosť až 0,2 nm vďaka elektrónovému lúču
- d) nepotrebuje fluorescenčné farbivá na zobrazenie preparátu

45. Prečo samotné zväčšenie bez dobrej rozlišovacej schopnosti nie je postačujúce?

- a) pretože obraz zostáva veľký, ale bez detailov
- b) pretože zväčšenie vždy znižuje kontrast
- c) pretože vysoké zväčšenie je možné len pri elektrónovej mikroskopii
- d) pretože zväčšenie sa nedá kombinovať s farbením preparátov

46. Čo je hlavnou úlohou kalibrácie mikroskopu pomocou okulárového mikrometra?

- a) zvýšenie kontrastu preparátu
- b) presné určenie rozmerov mikroštruktúr
- c) predĺženie životnosti mikroskopu
- d) rozlíšenie medzi natívnym a fixovaným preparátom

47. Akou látkou sa najčastejšie fixujú preparáty, aby sa zachovala štruktúra buniek a tkanív?

- a) glycerol
- b) formalín
- c) agar
- d) metylénová modrá

48. Aká je funkcia imerzného média pri mikroskopovaní?

- a) zvyšuje životnosť optických častí
- b) zlepšuje rozlišovaciu schopnosť a kontrast pri vysokých zväčšeniach
- c) umožňuje pozorovať živé bunky
- d) znižuje potrebu kalibrácie mikroskopu

49. Aké riziko predstavuje sférická aberácia pri mikroskopovaní?

- a) vznik farebných lemov na okrajoch obrazu
- b) rozpad štruktúry preparátu
- c) ostrý obraz len v jednom smere
- d) rozmazaný obraz, pretože lúče sa nelámu rovnomerne

50. Čo charakterizuje numerickú apertúru (NA) objektívu?

- a) schopnosť zachytiť svetlo v závislosti od uhla lúčov a indexu lomu prostredia
- b) maximálny počet pozorovateľných buniek
- c) rýchlosť preostrovania pri práci s objektívom
- d) veľkosť preparátu vhodného na pozorovanie

51. Aký problém spôsobuje chromatická aberácia?

- a) obraz je rozmazaný
- b) obraz má farebné lemy na okrajoch
- c) obraz je ostrý len v jednom smere
- d) obraz sa javí trojrozmerný

52. Ako sa majú čistiť objektívy a okuláre mikroskopu?

- a) bežnou papierovou vreckovkou
- b) špeciálnymi utierkami alebo roztokmi určenými na optiku
- c) alkoholom technickej čistoty
- d) destilovanou vodou

53. Čo je základnou funkciou objektívu mikroskopu?

- a) zväčšiť obraz objektu
- b) usmerniť lúče svetla na preparát
- c) zabezpečiť ochranu okulára pred poškodením
- d) upravovať intenzitu svetla

54. Aká je funkcia stolíka mikroskopu?

- a) zabezpečuje správne uloženie preparátu
- b) zvyšuje kontrast pozorovania
- c) obsahuje mechanizmus na výmenu objektívov
- d) slúži na reguláciu napätia

55. Ktorá časť mikroskopu slúži na výmenu objektívov?

- a) tubus
- b) okulár
- c) revolverový nosič
- d) kondenzor

Klíč k modelovým otázkám

1. NSSN	20. SSSN	39. NSNN
2. NSNN	21. SSNS	40. NNSN
3. SNNN	22. SSNN	41. NSNN
4. NNNS	23. NNSN	42. NNSN
5. NNSS	24. SSNN	43. SNNN
6. NSNS	25. NSSS	44. NSNN
7. SSNN	26. SSSS	45. SNNN
8. NSNS	27. SSNS	46. NSNN
9. SSNS	28. SSNN	47. NSNN
10. NSNN	29. NSNS	48. NSNN
11. NNSS	30. SSSN	49. NNNS
12. SSSN	31. NNSN	50. SNNN
13. SNNN	32. SSSN	51. NSNN
14. NNSN	33. SSNN	52. NSNN
15. SNNS	34. SSSN	53. SNNN
16. NNSN	35. SNNS	54. SNNN
17. SNNS	36. NNNS	55. NNSN
18. SSSS	37. NNSN	
19. SSNN	38. NSNN	

2 Štruktúra a funkčná organizácia prokaryotickej a eukaryotickej bunky. Molekuly v bunkách a organizmoch

Bunka (latinsky *cellula*, grécky kytos) je základnou stavebnou, funkčnou a reprodukčnou jednotkou všetkých živých organizmov, či už jednobunkových alebo mnohobunkových. Je to autonómny a dynamický systém, ktorý vykazuje základné životné prejavy, ako sú metabolizmus, rast, dráždivosť, rozmnožovanie a vývoj. Vedný odbor zameraný na štúdium buniek sa nazýva **cytológia**.

Prvýkrát pojem bunka použil Robert Hooke v roku 1665, keď pomocou jednoduchého mikroskopu pozoroval štruktúru korku. V priebehu 18. a 19. storočia sa cytológia rozvinula do samostatnej disciplíny. V roku 1838 Matthias Schleiden a Theodor Schwann sformulovali **bunkovú teóriu**, ktorá stanovila, že bunka je základnou jednotkou všetkých živých organizmov. Rudolf Virchow túto teóriu v roku 1855 rozšíril o princíp, že každá bunka vzniká z existujúcej bunky – „*Omnis cellula e cellula*“.

Zdokonalenie mikroskopie, najmä rozvoj elektrónovej mikroskopie, umožnilo presnejšie pochopenie bunkovej štruktúry. Všetky bunky sú vo všeobecnosti zložené z genetického aparátu (jadrovej oblasti), cytoplazmy a cytoplazmatickej membrány. Podľa organizácie jadra a iných štruktúr sa bunky delia na prokaryotické a eukaryotické.

Prokaryotické bunky, ktoré tvoria jednobunkové organizmy ako baktérie a sinice, majú jednoduchú štruktúru. Nemajú pravé jadro, ale nukleoid – oblasť obsahujúca jednu kruhovú molekulu DNA. Taktiež obsahujú extra – chromozomálnu DNA vo forme plazmidov. Neobsahujú membránové organely, ale iba ribozómy s menšou sedimentačnou konštantou 70S. Bunková stena prokaryotických buniek je tvorená peptidoglykánom, ktorý zohráva kľúčovú úlohu pri ich rozpoznávaní imunitným systémom hostiteľa. Na povrchu sa môžu nachádzať aj ďalšie štruktúry (napr. pili, fimbrie, bičiky, kapsula). Prokaryotické bunky sa rozmnožujú najčastejšie nepohlavným spôsobom, konkrétne priečnym delením, ktoré prebieha po replikácii DNA. Pri niektorých baktériách sa vyskytuje aj parasexuálne rozmnožovanie, napríklad konjugáciou, pri ktorej si môžu baktérie medzi sebou odovzdať časť svojej DNA, čo má významný dopad na šírenie génov rezistencie na antibiotiká. Prokaryotické bunky môžu mať rôzne tvary, ako sú guľovité koky alebo paličkovité bacily. Baktérie sa tiež delia podľa farbenia podľa Grama na Gram-pozitívne a Gram-negatívne, čo je dôležité pri ich identifikácii.

Eukaryotické bunky, ktoré tvoria jednobunkové aj mnohobunkové organizmy, majú zložitejšiu štruktúru. Obsahujú pravé jadro, oddelené od cytoplazmy jadrovou membránou, a rôzne membránové organely, ako sú mitochondrie, endoplazmatické retikulum, Golgiho aparát, vakuoly, lyzozómy a peroxizómy. Dôležitou súčasťou je cytoskelet, ktorý tvorí dynamickú kostru bunky. Eukaryotické bunky sú základnými stavebnými jednotkami organizmov, ako sú huby, rastliny a živočíchy, pričom ich telo sa skladá z tkanív alebo pletív, ktoré tvoria orgány a orgánové sústavy. Eukaryotické bunky majú rôzne tvary a veľkosti, ktoré sú geneticky určené

a závisia od ich funkcie v organizme. Základným tvarom je guľovitý, od ktorého sú odvodené iné tvary, ako okrúhle terčiky, ploché, kubický, cylindrický, polygonálny a mnohé ďalšie. Veľkosť buniek môže byť malá, stredná alebo veľká, pričom napríklad ľudské erytrocyty sú malé, zatiaľ čo vajíčko je veľké. Bunky môžu mať aj rôzne výbežky, ktoré sú charakteristické pre ich špecifické funkcie v organizme.

V tabuľke uvádzame základné rozdiely medzi prokaryotickou a eukaryotickou bunkou.

	Prokaryotická bunka	Eukaryotická bunka
Jadro	Nukleoid (DNA voľne v cytoplazme, bez jadrovej membrány)	Pravé jadro, DNA ohraničená dvojitou jadrovou membránou
DNA	Kruhová, často s plazmidmi	Lineárna, usporiadaná do chromozómov
Organely	Bez membránových organel (len ribozómy 70S)	Membránové organely (mitochondrie, ER, Golgiho aparát, lyzozómy, pri rastlinách aj chloroplasty), ribozómy 80S
Veľkosť	Menšia (1 – 10 µm)	Väčšia (10 – 100 µm)
Rozmnožovanie	Nepohlavné (priečne delenie), parasexuálne mechanizmy (konjugácia, transformácia, transdukcia)	Pohlavné aj nepohlavné (mitóza, meióza)
Povrchové štruktúry	Pili, fimbrie, bičinky, kapsula	Mikroklky, riasinky, bičinky (iná štruktúra ako pri prokaryotoch)
Bunková stena	Väčšinou prítomná (peptidoglykán; Gram ⁺ alebo Gram ⁻)	Pri rastlinách celulóza, pri hubách chitín, pri živočíchoch chýba
Príklady	Baktérie, sinice	Protisty, huby, rastliny, živočíchy

Molekuly v bunkách a organizmoch tvoria základné stavebné bloky života a sú nevyhnutné pre všetky biologické procesy. Medzi tieto molekuly patria biopolyméry, ako sú bielkoviny, nukleové kyseliny a polysacharidy, lipidy, malé organické molekuly nazývané metabolity, a anorganické molekuly a ióny. V biológii rozlišujeme z hľadiska veľkosti malé a veľké molekuly (makromolekuly).

Malé molekuly sú špecifické relatívne nízkou molekulovou hmotnosťou, jednoduchou štruktúrou a rýchlou difúziou, pričom **makromolekuly** majú naopak vyššiu hmotnosť, polymérnu štruktúru a komplexnejšie funkcie. Medzi výnimočné malé molekuly patrí voda, ktorá je hlavnou zložkou bunky (60 – 80 %) a ATP ako univerzálna molekula v energetickom metabolizme. Cyklický adenosínmonofosfát (cAMP) je dôležitý druhý posol v bunkovej signalizácii. Vzniká z ATP pôsobením enzýmu adenylátcyklázy a aktivuje proteínkinázu A (PKA), čím riadi metabolizmus, génovú expresiu a odpovede buniek na hormóny a neurotransmitery.

V nasledujúcej tabuľke uvádzame príklady malých a veľkých molekúl.

Skupina	Príklady	Funkcie
Malé molekuly	voda, ióny (Na^+ , K^+ , Ca^{2+}), ATP, GTP, NADH, glukóza, mastné kyseliny	metabolizmus, energia, signalizácia, prostredie reakcií
Veľké molekuly	proteíny, DNA, RNA, polysacharidy, membránové lipidy	enzýmová katalýza, genetická informácia, štruktúra, regulácia

Bielkoviny sú makromolekuly zložené z aminokyselín, ktoré sú spojené peptidovými väzbami. Hrajú kľúčovú úlohu vo všetkých aspektoch bunkového života, od katalýzy chemických reakcií ako enzýmy až po tvorbu štruktúrnych komponentov, ktoré poskytujú bunkám a tkanivám ich tvar a pevnosť. Bielkoviny tiež fungujú ako transportné molekuly, signálne molekuly a obranné mechanizmy proti patogénom.

Nukleové kyseliny, medzi ktoré patrí DNA a RNA, sú nositeľmi genetickej informácie. DNA uchováva dlhodobé genetické informácie potrebné pre rast, vývoj a reprodukciu organizmov, zatiaľ čo RNA prenáša tieto informácie z DNA a zúčastňuje sa na procese syntézy bielkovín. DNA obsahuje inštrukcie na výrobu všetkých bielkovín, ktoré organizmus potrebuje, zatiaľ čo RNA zabezpečuje ich realizáciu v bunke.

Polysacharidy sú komplexné sacharidy zložené z mnohých monosacharidových jednotiek a slúžia ako zásobné látky alebo štruktúrne komponenty. V rastlinách polysacharidy ako škrob uchovávajú energiu, zatiaľ čo celulóza poskytuje pevnosť bunkovým stenám. V živočíšnych bunkách má podobnú úlohu glykogén, ktorý slúži ako rýchlo dostupný zdroj energie.

Lipidy sú rôznorodou skupinou molekúl, ktoré sú nerozpustné vo vode, ale rozpustné v organických rozpúšťadlách. Patria sem fosfolipidy a steroly. Fosfolipidy tvoria základ bunkových membrán, ktoré oddeľujú vnútro bunky od vonkajšieho prostredia a regulujú prechod látok cez membránu. Tuky a oleje slúžia ako dôležité zásobné molekuly energie, zatiaľ čo steroly, ako napríklad cholesterol, sú nevyhnutné pre stabilitu membrán a hormonálnu reguláciu.

Metabolity sú malé organické molekuly, ktoré vznikajú počas metabolických procesov v bunkách. Tieto molekuly slúžia ako stavebné kamene pre zložitejšie štruktúry alebo ako zdroje energie pre bunku. Primárne metabolity sú nevyhnutné pre základné bunkové funkcie, zatiaľ čo sekundárne metabolity často zohrávajú špecifické úlohy, ako je obrana proti patogénom alebo medzibunková komunikácia.

Anorganické molekuly a ióny, ako sú voda a elektrolyty (napríklad sodík, draslík a vápnik), sú tiež neoddeliteľnou súčasťou bunkového prostredia. Voda tvorí väčšinu bunkovej hmoty a je základným médiom, v ktorom prebiehajú všetky biochemické reakcie. Ióny zohrávajú kľúčovú úlohu pri udržiavaní rovnováhy medzi vnútorným a vonkajším prostredím bunky, pri prenose signálov a pri mnohých enzymatických procesoch.

V nasledujúcej tabuľke uvádzame základné biomolekuly v bunke.

Skupina	Zloženie	Funkcie	Príklady
Bielkoviny	Aminokyseliny spojené peptidovou väzbou	Enzýmy, štruktúra, transport, signalizácia, imunita	Hemoglobín, kolagén, inzulín
Nukleové kyseliny	Nukleotidy (cukor + fosfát + báza)	Prenos genetickej informácie	DNA, mRNA, tRNA, rRNA
Polysacharidy	Monosacharidy spojené glykozidovou väzbou	Energetická zásoba, štruktúra	Škrob, glykogén, celulóza, chitín
Lipidy	Mastné kyseliny, glycerol, steroly	Membrány, zásoba energie, hormóny	Fosfolipidy, cholesterol, triglyceridy
Metabolity	Malé organické molekuly	Primárne – základný metabolizmus; sekundárne – špecifické funkcie	ATP, aminokyseliny, vitamíny, alkaloidy
Anorganické látky	Voda, minerálne ióny	Prostredie pre reakcie, udržiavanie homeostázy, signalizácia	H ₂ O, Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Cl ⁻



Modelové otázky

1. Aké organizmy sú tvorené eukaryotickými bunkami?

- a) rastliny
- b) huby
- c) živočíchy
- d) mnohobunkové organizmy

2. Ako sa nazýva metabolický proces v bunke, pri ktorom sa tvoria nové molekuly bielkovín?

- a) proteosyntéza
- b) nukleolýza
- c) fotosyntéza
- d) oxidatívna fosforylácia

3. Bunková kompartmentalizácia je typická pre bunky?

- a) prokaryotické
- b) eukaryotické
- c) bakteriálne
- d) ľudské epitelové bunky

4. Ktoré tvrdenia o bielkovinách sú pravdivé?

- a) bielkoviny sú zložené z aminokyselín spojených peptidovými väzbami
- b) bielkoviny môžu fungovať ako enzýmy
- c) bielkoviny sú primárnym nositeľom genetickej informácie
- d) bielkoviny majú nižšiu hmotnosť v porovnaní s lipidmi

5. Ktoré tvrdenie o lipidoch je správne?

- a) lipidy sú rozpustné vo vode a nerozpustné v organických rozpúšťadlách
- b) fosfolipidy tvoria základ bunkových membrán
- c) tuky a oleje slúžia ako zásobné molekuly energie
- d) stevioly sa podieľajú na stabilite membrán a hormonálnej regulácii

6. Ktoré tvrdenia platia pre prokaryotické bunky?

- a) majú jadro oddelené membránou
- b) obsahujú mitochondrie a chloroplasty
- c) DNA je uložená vo forme jednej cirkulárnej molekuly
- d) obsahujú ribozómy typu 70S

7. Ktoré štruktúry alebo vlastnosti sú typické pre eukaryotické bunky?

- a) jadro obalené dvoma dvojíťmi membránami
- b) prítomnosť cytoskeletu
- c) výlučne nepohlavné delenie priečnym delením
- d) ribozómy s konštantou 80S

8. Aké sú rozdiely medzi prokaryotickými a eukaryotickými bunkami?

- a) prokaryoty majú bunkovú stenu z peptidoglykánu, eukaryoty (ak ju majú) z celulózy alebo chitínu
- b) prokaryoty neobsahujú membránové organely, eukaryoty ich majú viacerých typov
- c) prokaryoty majú menšie ribozómy než eukaryoty
- d) eukaryoty majú genetickú informáciu uloženú vo viacerých cirkulárnych molekulách DNA

9. Ktorý polysacharid slúži ako zásobná látka v živočíšnych bunkách?

- a) celulóza
- b) glykogén
- c) škrob
- d) chitín

10. Malé bunky dosahujú veľkosť:

- a) do 10 μm
- b) 30 μm
- c) viac ako 30 μm
- d) 10 až 30 μm

11. Pre typ a počet bielkovín na a v cytoplazmatickej membráne platí, že:

- a) počet ani typ proteínov sa nemení
- b) počet a typ proteínov sa mení
- c) bunka si ich aktívne reguluje
- d) bunka ich pasívne prijíma

12. Prokaryotické bunky:

- a) tvoria telá mnohobunkových organizmov
- b) sú jednoduchšie ako eukaryotické
- c) majú jadro z jednej kruhovej molekuly DNA
- d) neobsahujú ribozómy

13. Veľké bunky dosahujú veľkosť:

- a) 10 μm
- b) 5 μm
- c) viac ako 30 μm
- d) 10 až 30 μm

14. Prokaryotické ribozómy:

- a) sú menšie ako eukaryotické
- b) sa skladajú z dvoch podjednotiek
- c) sa skladajú z troch typov rRNA
- d) ich sedimentačná konštanta je 80S

15. Prokaryotickú bunku tvorí:

- a) bunková stena
- b) cytoplazmatická membrána
- c) jadrová hmota
- d) ribozómy

16. Prokaryotický chromozóm je tvorený:

- a) chromatínom a nehistónovými proteínmi
- b) dvojvláknovou molekulou DNA
- c) DNA, histónovými a nehistónovými proteínmi
- d) jednovláknovou molekulou DNA

17. V akom type buniek sa nachádzajú vakuoly?

- a) v rastlinných bunkách
- b) v eukaryotických bunkách
- c) v ľudských somatických bunkách
- d) v živočíšnych bunkách

18. Vyskytujú sa gény eukaryotických buniek aj mimo jadra?

- a) áno
- b) nie
- c) v mitochondriách
- d) v chloroplastoch

19. Základný tvar buniek:

- a) je guľovitý
- b) má najväčší objem pri najmenšom povrchu
- c) má najväčší povrch pri najmenšom objeme
- d) polygonálny

20. Ako sa volá veda, ktorá študuje štruktúru a funkcie buniek?

- a) anatómia
- b) fyziológia
- c) cytológia
- d) molekulárna biológia

21. Ktoré z organel sa nachádzajú iba v rastlinnej bunke a nie v živočíšnej?

- a) mitochondrie
- b) chloroplasty
- c) endoplazmatické retikulum
- d) ribozómy

22. Medzi špeciálne tvary buniek patrí?

- a) zrezané pyramídy
- b) kubický
- c) plochý
- d) hviezdovitý

23. Nepravidelné výbežky cytoplazmy sú charakteristické pre:

- a) erytrocyty
- b) pericyty
- c) leukocyty
- d) oocyty

24. Veľkosť buniek:

- a) je pre daný druh geneticky podmienená
- b) je determinovaná diferenciáciou buniek
- c) nesúvisí s veľkosťou organizmu
- d) je ovplyvnená veľkosťou organizmu, veľké organizmy majú spravidla aj väčšie bunky

25. Každú bunku tvorí:

- a) bunkový povrch
- b) cytoplazma
- c) jadierko
- d) cytoskelet

26. Akú hlavnú úlohu zohráva adenosíntrifosfát (ATP) v bunke?

- a) slúži ako zásobná genetická informácia
- b) je základnou stavebnou jednotkou bielkovín
- c) predstavuje univerzálny zdroj energie pre bunkové procesy
- d) zabezpečuje prenos kyslíka v krvi

27. Akú hlavnú úlohu zohráva cAMP (cyklický adenosínmonofosfát) v bunke?

- a) slúži ako zásobná genetická informácia
- b) je dôležitý druhý posol v bunkovej signalizácii
- c) predstavuje univerzálny zdroj energie pre bunkové procesy
- d) aktivuje proteínkinázu A

28. Ktorá z nasledujúcich funkcií patrí medzi funkcie lipidov?

- a) priamy prenos genetickej informácie
- b) tvorba biologických membrán
- c) katalýza biochemických reakcií ako enzýmy
- d) uskladnenie genetickej informácie

29. Medzi základné funkcie proteínov patrí:

- a) stavebná
- b) transportná
- c) metabolická
- d) ochranná

30. Čo tvorí primárnu štruktúru nukleových kyselín?

- a) priestorové usporiadanie dvojzávitnice DNA
- b) sekvencia nukleotidov v polynukleotidovom reťazci
- c) väzby medzi histónmi a DNA v chromatine
- d) trojrozmerné usporiadanie tRNA

31. Čo charakterizuje sekundárnu štruktúru proteínov?

- a) lineárna sekvencia aminokyselín v polypeptidovom reťazci
- b) priestorové usporiadanie reťazca do α -helixov a β -skladaných listov
- c) trojrozmerné usporiadanie celého polypeptidu
- d) združenie viacerých polypeptidových reťazcov do funkčného komplexu

32. Ktoré tvrdenie o aminokyselinách je správne?

- a) sú základnými stavebnými jednotkami nukleových kyselín
- b) obsahujú vždy karboxylovú a aminoskupinu
- c) slúžia ako prekursori pre syntézu hormónov a neurotransmiterov
- d) všetky aminokyseliny sú esenciálne pre ľudský organizmus

33. Akú úlohu majú fosfolipidy v bunke?

- a) sú základom genetickej informácie
- b) tvoria základ bunkových membrán
- c) slúžia ako hlavný zásobný polysacharid
- d) prenášajú kyslík v krvi

34. Voda:

- a) má veľkú „tepelnú kapacitu“
- b) je dobrým médiom na transport tepelnej energie
- c) má transportnú funkciu
- d) je výborné rozpúšťadlo mnohých chemikálií

35. Ktoré bunky majú vláknité výbežky:

- a) motorické neuróny
- b) pyramídové bunky
- c) spermie
- d) leukocyty

36. V bunke môžeme definovať:

- a) systém s cieľovým správaním
- b) systém autológný
- c) systém otvorený
- d) systém s autoreprodukciou

37. Stredne veľké bunky dosahujú veľkosť:

- a) viac ako 30 μm
- b) 5 μm
- c) menej ako 10 μm
- d) 10 až 30 μm

38. Aký je základný tvar bunky?

- a) plochý
- b) kubický
- c) sférický
- d) cylindrický

39. Ktoré z nasledujúcich skupín patria medzi základné biomakromolekuly?

- a) bielkoviny, nukleové kyseliny, polysacharidy, lipidy
- b) bielkoviny, vitamíny, polysacharidy, anorganické látky
- c) nukleové kyseliny, lipidy, metabolity, minerálne ióny
- d) polysacharidy, aminokyseliny, lipidy, voda

40. Ktoré tvrdenie vystihuje rozdiel medzi prokaryotickou a eukaryotickou bunkou?

- a) prokaryotická bunka má pravé jadro, eukaryotická jadro nemá
- b) prokaryotická bunka obsahuje membránové organely, eukaryotická nie
- c) prokaryotická bunka má DNA vo forme kruhovej molekuly, eukaryotická vo forme lineárnych chromozómov
- d) prokaryotická bunka je vždy väčšia než eukaryotická

41. Ktoré tvrdenia sú správne?

- a) ATP je univerzálna energetická mena bunky
- b) cAMP je druhý posol v bunkovej signalizácii
- c) ATP uchováva genetickú informáciu
- d) cAMP je hlavná zásobná látka energie

42. Ktoré látky patria medzi makromolekuly?

- a) proteíny
- b) RNA
- c) ióny draslíka (K^+)
- d) voda

43. Aké funkcie majú proteíny v bunke?

- a) katalyzujú biochemické reakcie
- b) uchovávajú genetickú informáciu
- c) zabezpečujú transport látok
- d) slúžia ako univerzálna energetická mena

44. Ktoré z nasledujúcich patria medzi malé molekuly bunky?

- a) voda
- b) DNA
- c) ióny sodíka (Na^+)
- d) proteíny

45. Akú úlohu má ATP v bunke?

- a) bunky si ho ukladajú vo veľkom množstve ako zásobu energie
- b) je univerzálnym prenášačom energie
- c) tvorí základ bunkovej steny eukaryotov
- d) sprostredkúva svalovú kontrakciu

46. Porovnanie ribozómov:

- a) prokaryotické bunky majú ribozómy 90S
- b) eukaryotické bunky majú ribozómy 80S
- c) prokaryotické bunky majú ribozómy 70S
- d) eukaryotické bunky nemajú ribozómy

47. Ktoré povrchové štruktúry môžu mať prokaryotické bunky?

- a) pili
- b) bičíky
- c) jadrová membrána
- d) chloroplasty

48. Čo tvorí bunkovú stenu rastlinných buniek?

- a) chitín
- b) peptidoglykán
- c) celulóza
- d) proteoglykány

49. Aká je hlavná funkcia polysacharidov v rastlinách?

- a) uchovávanie energie vo forme škrobu
- b) prenos genetickej informácie
- c) tvorba membrán
- d) katalýza chemických reakcií

50. Porovnanie DNA:

- a) v prokaryotoch je kruhová
- b) v eukaryotoch je lineárna
- c) v prokaryotoch je lineárna
- d) v eukaryotoch sa vždy nachádza v cytoplazme

51. Ktoré biomolekuly sú tvorené aminokyselinami spojenými peptidovou väzbou?

- a) lipidy
- b) proteíny
- c) polysacharidy
- d) nukleové kyseliny

52. Ktoré tvrdenie správne vystihuje rozdiel medzi prokaryotickou a eukaryotickou bunkou?

- a) prokaryoty majú jadro, eukaryoty nemajú
- b) prokaryoty majú nukleoid, eukaryoty pravé jadro
- c) prokaryoty majú mitochondrie, eukaryoty nie
- d) prokaryoty majú chromozómy, eukaryoty plazmidy

53. Aký je rozdiel v genetickom materiáli prokaryotov a eukaryotov?

- a) prokaryoty – lineárna DNA, eukaryoty – kruhová DNA
- b) prokaryoty – kruhová DNA, eukaryoty – lineárna DNA
- c) prokaryoty aj eukaryoty majú vždy len jednu molekulu DNA
- d) eukaryoty nemajú DNA

54. Čo platí pre rozmnožovanie buniek?

- a) prokaryoty – priečne delenie, eukaryoty – mitóza a meióza
- b) prokaryoty – mitóza, eukaryoty – binárne delenie
- c) prokaryoty aj eukaryoty sa vždy rozmnožujú pohlavne
- d) v prokaryotoch neprebíha žiadne delenie

55. Aký je rozdiel vo veľkosti buniek?

- a) veľkosť buniek je pri oboch typoch rovnaká
- b) prokaryoty – väčšie než eukaryoty
- c) eukaryoty – vždy menšie než vírusy
- d) prokaryoty – 1 – 10 μm , eukaryoty – 10 – 100 μm

Klíč k modelovým otázkám

1. SSSS	20. NNSN	39. SNNN
2. SNNN	21. NSNN	40. NNSN
3. NSNS	22. SNNS	41. SSNN
4. SSNN	23. NSSN	42. SSNN
5. NSSN	24. SSNS	43. SNSN
6. NNSS	25. SSNN	44. SNSN
7. NSNS	26. NNSN	45. NSNS
8. SSSN	27. NSNS	46. NSSN
9. NSNN	28. NSNN	47. SSNN
10. SNNN	29. SSSS	48. NNSN
11. NSSN	30. NSNN	49. SNNN
12. NSSN	31. NSNN	50. SSNN
13. NNSN	32. NSSN	51. NSNN
14. SSSN	33. NSNN	52. NSNN
15. SSSS	34. SSSS	53. NSNN
16. NSNN	35. SSNN	54. SNNN
17. SSNN	36. SNSS	55. NNNS
18. SNSS	37. NNNS	
19. SSNN	38. NNSN	

3 Biomembrány, transport látok a medzibunková komunikácia. Receptory

Bunkové membrány (biomembrány) tvoria univerzálnu hranicu všetkých buniek a organel. Majú hrúbku 6 – 10 nm, oddeľujú od seba prostredia rozdielného zloženia a zabezpečujú selektívnu priepustnosť, prenos látok, príjem signálov a vzájomnú komunikáciu.

Základom membrány je **fosfolipidová dvojvrstva**, v ktorej sa hydrofilné hlavy orientujú k vode a hydrofóbne reťazce mastných kyselín smerujú dovnútra. Tento usporiadaný, no dynamický systém umožňuje fúziu membrán (pri endo- a exocytóze) a je citlivý na zmeny prostredia (napr. pri hypotonických podmienkach). Pružnosť membrán zvyšuje tzv. fluidita, regulovaná obsahom cholesterolu.

Proteíny membrány sa delia na integrálne (vnorené do dvojvrstvy alebo ju prestupujúce) a periférne (viazané elektrostaticky na povrch). Podieľajú sa na transporte, prenose signálov, enzymatických reakciách a tvoria antigénne determinanty. Podľa potreby sa môžu zoskupovať do funkčných zhlukov – **lipidových raftov**.

Bunkové spojenia

Bunky sa spájajú prostredníctvom špecializovaných kontaktov – **zonula occludens** (tight/gap junctions) – tesné alebo komunikačné spojenia, **zonula adhaerens** – obopína bunku a spevňuje tkanivo a **macula adhaerens** (dezmozóm) – diskovité, najsilnejšie spojenie s tonofilamentami. Tieto štruktúry zaisťujú súdržnosť tkanív aj koordináciu medzi bunkami. Príklady sú uvedené v tabuľke.

Typ spojenia	Charakteristika	Funkcia	Príklady
<i>Zonula occludens</i> (tight junctions)	Tesné spojenie medzi membránami susedných buniek	Bariéra, zabraňuje prestupu látok paracelulárne	Epitel čreva, hematoencefalická bariéra
Gap junctions	Kanáliky z connexínov spájajúce cytoplazmy buniek	Priama výmena iónov a malých molekúl, elektrická a metabolická komunikácia	Myokard, hepatocyty
<i>Zonula adhaerens</i>	Pás obopínajúci bunku, spojený s aktínovými filamentami	Spevnenie tkaniva, adhézia bunka-bunka	Epitelové bunky
<i>Macula adhaerens</i> (dezmozóm)	Diskovité štruktúry s tonofilamentami	Najsilnejšie spojenie, mechanická odolnosť	Epiderma, myokard

Transport látok cez membránu

Prenos látok môže byť pasívny alebo aktívny. **Pasívny transport** prebieha bez spotreby energie v smere gradientu – difúzia a osmóza, facilitovaná difúzia sprostredkovaná transportnými

proteínmi alebo akvaporínmi. **Aktívny transport** prebieha proti gradientu s využitím ATP: primárny aktívny transport (Na^+/K^+ pumpa, Ca^{2+} pumpa), sekundárny aktívny transport (kotransport – symport, antiport). Špeciálnu úlohu zohrávajú **iónové kanály**, aktivované zmenou napätia, ligandom alebo mechanickým podnetom.

Látky s veľkou molekulovou hmotnosťou prenikajú membránou prostredníctvom **endocytózy** – príjem látok do bunky. Poznáme **pinocytózu** (transport rozpustných látok) a fagocytózy (transport pevných častíc). Vylučovanie látok do prostredia sa nazýva **exocytóza**.

Medzibunková komunikácia

Komunikácia medzi bunkami prebieha prostredníctvom chemických signálov a ich receptorov. Signály musia byť vysoko špecifické, aby bola zachovaná presnosť odpovede. Poznáme **nervovú komunikáciu** – rýchly prenos mediátora (neurotransmitera) z neurónu na cieľovú bunku prostredníctvom synapsie a **látkovú** (humorálnu) **komunikáciu** – prostredníctvom signálnych molekúl v extracelulárnom priestore.

Látková komunikácia sa delí na: **endokrinnú** – hormóny transportované krvou pôsobia na vzdialené bunky, **parakrinnú** – lokálne pôsobenie na susedné bunky v tkanive, **autokrinnú** – bunka reguluje vlastnú činnosť prostredníctvom vlastných signálov a signalizácia cez medzibunkové spojenia (gap junctions a plasmodezmy).

Membránové receptory

Membránové receptory sú špecifické proteínové štruktúry uložené v cytoplazmatickej membráne, ktoré sprostredkujú príjem signálov z extracelulárneho prostredia a ich premenu na intracelulárnu odpoveď. Vďaka nim sú bunky schopné reagovať na hormóny, rastové faktory, cytokíny či neurotransmitery a ovplyvňovať tak svoje životné procesy. Podieľajú sa na regulácii metabolizmu, rastu, diferenciácie a apoptózy, sprostredkujú medzibunkovú komunikáciu počas vývoja a regenerácie tkanív a zohrávajú kľúčovú úlohu aj v imunitných procesoch prostredníctvom receptorov pre antigény a cytokíny.

Každý receptor má **extracelulárnu doménu**, ktorá viaže ligand (tzv. prvý posol), **transmembránovú časť**, ukotvujúcu receptor v lipidovej dvojvrstve a **intracelulárnu doménu**, ktorá sprostredkuje odpoveď bunky. Po naviazaní ligandu sa mení konformácia proteínu a spúšťa sa kaskáda signálov.

Rozlišujeme niekoľko typov receptorov, ktoré uvádzame ďalším texte.

Receptory tvoriace iónové kanály. Ligand otvára kanál a umožní prenos iónov (Na^+ , K^+ , Cl^- , Ca^{2+}). Príklady: nikotínový acetylcholínový receptor, receptory pre glycín a GABA. Typická funkcia je zmena priepustnosti iónov cez membránu.

Receptory s enzýmovou aktivitou. Po naviazaní ligandu katalyzujú reakcie, najčastejšie fosforyláciu. Typickým príkladom sú receptory s tyrozínkinázovou aktivitou (napr. inzulínový receptor, receptory pre rastové faktory). Aktivácia často vedie k dimerizácii receptorov a spusteniu fosforylačnej kaskády.

Receptory spriahnuté s G-proteínmi. Tvoria najpočetnejšiu skupinu membránových receptorov. Majú 7 transmembránových helixov, extracelulárnu väzbovú doménu a intracelulárnu časť, ktorá interaguje s G-proteínom. Po aktivácii sa G-proteín viaže na GDP/GTP a ovplyvňuje efektorové enzýmy (adenylátcykláza, fosfolipáza C). Výsledkom je vznik druhých poslov (cAMP, IP₃, DAG, Ca²⁺).



Modelové otázky

1. Ak majú periférne proteíny:

- a) záporný náboj, pripájajú sa na membránu priamo
- b) záporný náboj, pripájajú sa na membránu prostredníctvom Ca^{2+} iónov
- c) kladný náboj, pripájajú sa na membránu priamo
- d) kladný náboj, pripájajú sa na membránu prostredníctvom Ca^{2+} iónov

2. Aká je hlavná úloha receptorov v bunkách?

- a) prenášať signály z vonkajšieho prostredia do bunky
- b) regulovať hladinu ATP v bunke
- c) ovládať pohyb buniek
- d) umožniť syntézu proteínov

3. Aké látky/molekuly sú transportované vezikulárnym transportom?

- a) veľké častice – napr. fragmenty organel
- b) makromolekuly
- c) tekutiny
- d) všetko vyššie spomenuté

4. Aké sú vlastnosti bunkovej membrány?

- a) ochrana
- b) polopriepustnosť
- c) semipermeabilita
- d) oddeľuje bunku od okolia

5. Ako sa nazýva jav praskania červených krviniek?

- a) hemoptýza, prebieha v hypertonickom prostredí
- b) hemolýza, prebieha v izoosmotickom prostredí
- c) hemolýza, prebieha v hypotonickom prostredí
- d) plazmolýza, prebieha v hypertonickom prostredí

6. Ako sa nazýva prostredie, keď je osmotická hodnota prostredia menšia ako osmotická hodnota bunky?

- a) hypertonické
- b) hypotonické
- c) izoosmotické
- d) izotonické

7. Ako sa nazýva prostredie, keď je osmotická hodnota prostredia väčšia ako osmotická hodnota bunky?

- a) hypertonické
- b) hyperosmotické
- c) izotonické
- d) hypotonické

8. Ako sa nazýva prostredie, keď sa osmotická hodnota prostredia zhoduje s osmotickou hodnotou bunky?

- a) izotonické
- b) izoosmotické
- c) hypetronické
- d) hypotonické

9. Ako sa nazýva schopnosť bunky pohlcovať mikroorganizmy?

- a) difúzia
- b) fagocytóza
- c) osmóza
- d) pinocytóza

10. Ako sa nazýva všeobecný mechanizmus výdaja látok z buniek?

- a) pinocytóza
- b) difúzia
- c) osmóza
- d) exocytóza

11. Aktívny transport je:

- a) difúzia a osmóza
- b) prenos látok proti ich koncentračnému gradientu
- c) prenos látky, na ktorý je potrebná energia
- d) plazmolýza a cytolýza

12. Biologická membrána je:

- a) zložená z fosfolipidov a bielkovín
- b) základom membránových organel, napr. mitochondrií a chloroplastov
- c) súčasťou bunkovej steny
- d) základom membránových organel, napr. ribozómov

13. Biologická membrána:

- a) sa nachádza len v eukaryotických bunkách
- b) je zložená z bimolekulového filmu fosfolipidov a z bielkovín
- c) v živočíšnych bunkách neobsahuje cholesterol
- d) plní rôzne funkcie, napr. príjem látok, vzájomné interakcie, rozpoznávanie signálov, atď.

14. Biologické membrány obsahujú:

- a) fosfolipidy
- b) cholesterol
- c) periférne a integrálne proteíny
- d) polárne lipidy

15. Medzi bunkové spojenia patrí:

- a) *macula occludens*
- b) dezmozóm
- c) G proteíny
- d) *zonula adhaerens*

16. Bunkové spojenia sú:

- a) *cornea occludens*
- b) dezmozóm
- c) G proteíny
- d) *zonula adhaerens* a dezmozóm

17. Ako sa nazývajú proteíny, ktoré sú vnorené do fosfolipidovej dvojvrstvy alebo ju úplne prestupujú?

- a) periférne proteíny
- b) integrálne proteíny
- c) glykoproteíny
- d) lipidové rafty

18. Čo je to osmotická lýza bunky?

- a) jav keď bunka príjmom vody zväčšuje svoj objem až praská
- b) jav, ktorý nastane po umiestnení živočíšnej bunky v hypotonickom prostredí
- c) jav keď bunka príjmom vody znižuje objem
- d) jav keď bunka príjmom vody nezmení svoj objem

19. Facilitovaná difúzia:

- a) je transport látok sprostredkovaný lipidovými kvapôčkami
- b) je najčastejšia forma transportu látok do jadierka
- c) prebieha bez spotreby energie v smere koncentračného gradientu
- d) spotrebováva energiu vo forme ATP

20. Facilitovaná difúzia:

- a) je transport látok sprostredkovaný bielkovinami plazmatickej membrány
- b) prebieha bez spotreby energie
- c) prebieha v smere koncentračného gradientu
- d) prebieha tak, že látka sa naviaže na transportný proteín na povrchu bunky, ten zmení svoju konformáciu a látka sa uvoľní do cytoplazmy

21. K typom látkovej komunikácie patria:

- a) endokrinná
- b) parakrinná
- c) motokrinná
- d) autokrinná

22. Ktoré deje patria medzi endocytózu:

- a) difúzia
- b) pinocytóza,
- c) fagocytóza
- d) osmóza

23. Ktoré látky môžu vstupovať do buniek voľnou difúziou:

- a) plyny
- b) močovina
- c) etanol
- d) kyslík

24. Ktorý typ receptora je zodpovedný za sprostredkovanie účinkov inzulínu?

- a) tyrozínkinázový receptor
- b) jadrový receptor
- c) iónový kanál
- d) receptor spriahnutý s G proteínmi

25. Ktorý z nasledujúcich mechanizmov je najviac typický pre receptory spojené s tyrozínkinázou?

- a) zmena priepustnosti iónov cez membránu
- b) dimerizácia receptora
- c) aktivácia cyklického AMP (cAMP)
- d) aktivácia kinázy cAMP

26. Membránové receptory rozdeľujeme na:

- a) receptory, ktoré sú súčasťou iónových kanálov
- b) mechanoreceptory
- c) receptory spriahnuté s G proteínmi
- d) receptory s enzýmovou aktivitou

27. Na čo využíva bunka osmotickú energiu?

- a) na prenos látok cez bunkové membrány
- b) na prenos látok pri proteosyntéze
- c) na prenos látok pri fotosyntéze
- d) na prenos osmoticky aktívnych látok

28. O polarite povrchu biologickej membrány sú pravdivé tvrdenia:

- a) biologická membrána je nepolárna
- b) biologická membrána je polárna
- c) na povrchu membrány je záporný náboj
- d) na povrchu membrány je kladný náboj

29. Osmóza je proces, kde voda prechádza cez cytoplazmatickú membránu z prostredia:

- a) s nižšou koncentráciou do prostredia s vyššou koncentráciou
- b) s vyššou koncentráciou do prostredia s nižšou koncentráciou
- c) z hypotonického do hypertonického prostredia
- d) hypertonického do hypotonického prostredia

30. Presun molekúl proti koncentračnému gradientu:

- a) vyžaduje energiu, napr. vo forme ATP
- b) je aktívny transport
- c) prebieha kým sa nevyrovná koncentrácia na oboch stranách membrány
- d) je pasívny transport

31. Receptory spriahnuté s G proteínmi:

- a) sa nenachádzajú v cytoplazmatickej membráne eukaryotických buniek
- b) sú zložené z polynukleotidových reťazcov, ktoré prechádzajú membránou
- c) nemajú extracelulárnu doménu
- d) predstavujú najpočetnejšiu skupinu membránových receptorov

32. Úloha cholesterolu v biologickej membráne je:

- a) je to významný receptor
- b) zvyšuje jej pružnosť
- c) moduluje fluiditu a spevňuje ju
- d) dáva jej kladný náboj

33. Z čoho sa skladajú biomembrány?

- a) dvoch vrstiev molekúl fosfolipidov a molekúl bielkovín
- b) dvoch vrstiev molekúl fosfolipidov a RNA
- c) fosfolipidovej dvojvrstvy
- d) z jednej vrstvy fosfolipidov

34. Základné zložky cytoplazmatickej membrány sú:

- a) fosfolipidy, cholesterol, proteíny, glykolipidy
- b) vápnik, cholesterol, cerebrozidy, gangliozidy
- c) hormóny, proteíny, ATP, fosfolipidy
- d) peptidoglykány, chitín, celulóza, glykoproteíny

35. Ktorá časť membránového receptora sprostredkuje odpoveď bunky?

- a) extracelulárna doména
- b) intracelulárna doména
- c) transmembránová časť
- d) lipidová dvojvrstva

36. Aká je typická funkcia receptorov tvoriacich iónové kanály?

- a) fosforylácia proteínov
- b) zmena priepustnosti iónov cez membránu
- c) aktivácia G proteínov
- d) spustenie apoptózy

37. Ktoré tvrdenie o receptoroch s enzýmovou aktivitou je správne?

- a) obsahujú 7 transmembránových helixov
- b) najčastejšie katalyzujú fosforyláciu
- c) aktivujú sa väzbou GTP
- d) sú typickými receptormi pre neurotransmitery GABA a glycín

38. Ktorý z uvedených receptorov je príkladom iónového kanálového receptora?

- a) inzulínový receptor
- b) nikotínový acetylcholínový receptor
- c) β -adrenergný receptor
- d) receptor pre epidermálny rastový faktor (EGFR)

39. Akú hlavnú úlohu zohrávajú druhí poslovia v bunkovej signalizácii?

- a) prenášajú signál z extracelulárneho prostredia priamo na DNA
- b) zosilňujú a sprostredkujú signál medzi receptorom a intracelulárnymi efektormi
- c) slúžia ako receptory pre neurotransmitery
- d) tvoria primárnu väzbovú doménu membránových receptorov

40. Aký význam majú lipidové rafty v bunkovej signalizácii a imunitných procesoch?

- a) slúžia ako sklad cholesterolu a mastných kyselín
- b) zabezpečujú degradáciu poškodených proteínov v membráne
- c) koncentrujú receptory a signálne molekuly, čím umožňujú efektívnejšiu aktiváciu signálnych dráh (napr. pri imunitnej odpovedi)
- d) znižujú fluiditu membrány a tým bránia prenosu signálov

41. Kde sa nachádzajú glykolipidy v biomembráne a aká je ich hlavná funkcia?

- a) na cytoplazmatickej strane; katalýza biochemických reakcií
- b) v jadrovej membráne; regulácia transkripcie
- c) na extracelulárnej strane; rozpoznávanie buniek a antigénne determinanty
- d) v mitochondriách; prenos elektrónov

42. Čo platí o type a počte membránových proteínov?

- a) sú vždy rovnaké vo všetkých bunkách
- b) menia sa len počas apoptózy
- c) sú variabilné a závisia od diferenciácie a fázy bunkového cyklu
- d) závisia len od množstva cholesterolu v membráne

43. Aký je význam komunikácie cez medzibunkové spojenia (gap junctions alebo plazmodezmy)?

- a) prenos hormónov na veľké vzdialenosti
- b) aktivácia génovej expresie v jadre
- c) priamy prenos iónov a malých molekúl medzi susednými bunkami
- d) zamedzenie akejkoľvek výmeny medzi bunkami

44. Aký je hlavný mechanizmus, ktorým receptory sprostredkujú bunkovú odpoveď?

- a) oxidácia mastných kyselín
- b) aktivácia alebo inaktivácia proteínov, často fosforyláciou
- c) tvorba DNA v jadre
- d) pasívna difúzia vody

45. Ktorý enzým katalyzuje prenos fosfátovej skupiny z ATP na proteín?

- a) fosfatáza
- b) proteínkináza
- c) DNA-polymeráza
- d) telomeráza

46. Ktoré bunkové spojenia zabezpečujú najsilnejšie mechanické ukotvenie medzi bunkami?

- a) gap junctions
- b) dezmozómy (*macula adhaerens*)
- c) *zonula occludens*
- d) *zonula adhaerens*

47. Ktoré typy komunikácie patria medzi látkovú (humorálnu) signalizáciu?

- a) endokrinná
- b) parakrinná
- c) synaptická
- d) autokrinná

48. Ktorý typ receptorov má 7 transmembránových helixov a využíva druhých poslov?

- a) receptory s enzýmovou aktivitou
- b) receptory tvoriace iónové kanály
- c) receptory spriahnuté s G proteínmi
- d) receptory pre antigén

49. Čo je typickou funkciou receptorov s enzýmovou aktivitou?

- a) katalyzovanie fosforylačných reakcií
- b) otváranie iónových kanálov
- c) viazanie protilátok
- d) transport glukózy

50. Ktorý príklad patrí medzi receptory tvoriace iónové kanály?

- a) nikotínový acetylcholinový receptor
- b) inzulínový receptor
- c) receptor pre rastový faktor EGF
- d) receptor spriahnutý s G proteínom

51. Ktoré bunkové spojenie umožňuje priamy prenos malých molekúl medzi susednými bunkami?

- a) dezmozómy
- b) *zonula occludens*
- c) gap junctions
- d) *zonula adhaerens*

52. Ktoré tri časti obsahuje typický membránový receptor?

- a) extracelulárna doména, transmembránová časť, intracelulárna doména
- b) ribozómová jednotka, cytoskelet, fosfolipid
- c) DNA jadra, nukleozóm, histón
- d) cytoplazma, jadro, mitochondria

53. Čo sa stane po naviazaní ligandu na receptor?

- a) receptor sa degraduje okamžite
- b) dôjde k zmene konformácie proteínu a spusteniu signálnej kaskády
- c) DNA sa okamžite replikuje
- d) receptor sa transportuje do jadra

54. Aká je funkcia extracelulárnej domény receptora?

- a) viaže ligand
- b) sprostredkuje fosforyláciu
- c) ukotvuje receptor v lipidovej dvojvrstve
- d) prenáša signál do jadra

55. Aká je funkcia intracelulárnej domény receptora?

- a) viaže ligand
- b) ukotvuje receptor v membráne
- c) sprostredkuje bunkovú odpoveď
- d) produkuje ATP

Klíč k modelovým otázkám

1. NSSN	20. SSSS	39. NSNN
2. SNNN	21. SSNS	40. NNSN
3. SSSS	22. NSSN	41. NNSN
4. SSSS	23. SSSS	42. NNSN
5. NNSN	24. SNNN	43. NNSN
6. NSNN	25. NSNN	44. NSNN
7. SSNN	26. SNSS	45. NSNN
8. SSNN	27. SNNS	46. NSNN
9. NSNN	28. NSSN	47. SSNS
10. NNNS	29. SNSN	48. NNSN
11. NSSN	30. SSNN	49. SNNN
12. SSNN	31. NNNS	50. SNNN
13. NSNS	32. NNSN	51. NNSN
14. SSSS	33. SNSN	52. SNNN
15. NSNS	34. SNNN	53. NSNN
16. NNNS	35. NSNN	54. SNNN
17. NSNN	36. NSNN	55. NNSN
18. SSNN	37. NSNN	
19. NNSN	38. NSNN	

4 Organely eukaryotickej bunky

Eukaryotická **bunka** je základná štruktúrna a funkčná jednotka všetkých mnohobunkových živočíchov, rastlín a húb, ako aj niektorých jednobunkových organizmov. Oproti prokaryotom je charakteristická prítomnosťou jadra oddeleného dvojitou membránou a systémom vnútorných membránových organel, ktoré umožňujú priestorovú a funkčnú špecializáciu buniek. Vďaka tomu sú eukaryotické bunky schopné diferenciácie a tvorby zložitých tkanív a orgánov.

V nasledujúcej tabuľke uvádzame organely a ich hlavné funkcie.

Organela	Hlavné funkcie
Cytoplazma	Vnútorné prostredie bunky, médium metabolických reakcií, transport látok.
Jadro	Riadiace centrum bunky, uchovávanie genetickej informácie (DNA).
Jadierko	Syntéza rRNA, montáž podjednotiek ribozómov.
Mitochondrie	Produkcia ATP (energetický metabolizmus), Krebsov cyklus, apoptóza, regulácia Ca^{2+} .
Chloroplasty	Fotosyntéza, syntéza glukózy a ďalších organických látok v rastlinách.
Endoplazmatické retikulum – drsné	Syntéza bielkovín, ich počiatočné úpravy, transport do Golgiho aparátu.
Endoplazmatické retikulum – hladké	Syntéza lipidov, steroidov, detoxikácia, metabolizmus sacharidov, zásoba Ca^{2+} .
Golgiho aparát	Posyntetická úprava proteínov a lipidov, triedenie a balenie do vezikúl, sekrécia.
Lyzozómy	Vnútrobunkové trávenie, rozklad poškodených organel a cudzorodých častíc.
Peroxisómy	Detoxikácia, odbúravanie mastných kyselín, metabolizmus peroxidu vodíka.
Vakuoly (rastliny)	Udržiavanie turgoru, skladovanie látok, rozklad metabolitov.
Ribozómy	Proteosyntéza podľa mRNA.
Cytoskelet	Udržiavanie tvaru bunky, pohyb, transport organel a vezikúl, účasť pri delení.
Centrozóm	Organizácia mikrotubulov, tvorba deliaceho vretienka.
Riasinky a bičiky	Pohyb bunky alebo pohyb častíc po povrchu epitelu.

Cytoplazma je polotekuté vnútorné prostredie bunky, ktoré vyplňa priestor medzi jadrom a cytoplazmatickou membránou. Je tvorená prevažne vodou (70 – 80 %), obsahuje ióny, organické molekuly, enzýmy a proteíny, ktoré vytvárajú dynamické prostredie pre metabolické procesy. Cytoplazma nie je homogénna – strieda sa v nej tekutejšia fáza (sol) a hustejšia fáza (gél), čo umožňuje pružné zmeny pri pohybe organel alebo pri delení bunky. Slúži ako médium, v ktorom sú uložené všetky bunkové organely, a zároveň ako priestor, kde prebieha značná časť metabolických reakcií.

Jadro (*nucleus*) predstavuje riadiace centrum bunky. Obsahuje genetickú informáciu vo forme DNA usporiadanej do chromozómov. Jadro je obklopené **jadrovým obalom** tvoreným dvojitou membránou. Na niektorých miestach sú membrány spojené a vytvárajú jadrové póry, ktoré zabezpečujú selektívny transport RNA a proteínov medzi jadrom a cytoplazmou. V jadre sa nachádza **chromatín** – **euchromatín** (dekondenzovaný, transkripčne aktívny) a

heterochromatín (kondenzovaný, transkripčne neaktívny). Týmto priestorovým usporiadaním je riadená aktivita génov.

Dôležitou súčasťou jadra je **jadierko** (*nucleolus*). V jadierku sa syntetizuje rRNA a prebieha montáž podjednotiek ribozómov. Po zostavení sú transportované cez jadrové póry do cytoplazmy, kde sa spájajú do funkčných ribozómov.

Ribozómy sú univerzálne organely proteosyntézy. Eukaryotické ribozómy majú denzitu 80S a sú tvorené veľkou a malou podjednotkou zloženou z rRNA a proteínov. Môžu byť voľne v cytoplazme, kde syntetizujú proteíny pre vnútornú potrebu bunky, alebo viazané na drsné endoplazmatické retikulum, kde produkujú proteíny určené na export či membránovú integráciu. Prokaryotické bunky obsahujú tri typy rRNA, zatiaľ čo eukaryotické štyri. Ribozómy sa skladajú z dvoch podjednotiek: v eukaryotoch sú to podjednotky 40S a 60S, pričom S označuje Svedbergovu sedimentačnú konštantu, ktorá odráža veľkosť častíc. Podjednotka 40S obsahuje 18S rRNA a približne 30 bielkovín, zatiaľ čo 60S je tvorená 28S rRNA, 5,8S rRNA a 5S rRNA spolu s 45 rôznymi bielkovinami.

Endoplazmatické retikulum (ER) je membránová sieť cisterien a kanálikov, ktorá priamo nadväzuje na jadrový obal. Rozlišujeme dva typy. **Drsné endoplazmatické retikulum** nesie na svojom povrchu ribozómy a je miestom syntézy proteínov určených na sekréciu alebo pre membrány. Novosyntetizované proteíny vstupujú do lúmenu endoplazmatického retikula, kde prebiehajú ich prvotné úpravy. **Hladké endoplazmatické retikulum** nemá ribozómy a zabezpečuje syntézu lipidov, steroidov, fosfolipidov a detoxikáciu xenobiotík. V svalových bunkách vytvára špecializovanú formu – **sarkoplazmatické retikulum**, ktoré reguluje zásoby Ca^{2+} a zohráva zásadnú úlohu pri kontrakcii svalov.

Golgiho aparát je sústava sploštených cisterien, usporiadaných do funkčných jednotiek nazývaných **diktiozómy**. Prijíma produkty z ER, upravuje ich (glykozylácia, fosforylácia), triedi a balí do transportných vezikúl. Z cis-strany prichádzajú proteíny a lipidy, vnútri prebieha ich úprava a z trans-strany sú odosielané na miesto určenia – buď k plazmatickej membráne, do lyzozómov, alebo iných organel. Golgiho aparát je teda centrálnym bodom bunkového sekréčného systému.

Lyzozómy sú vezikuly obsahujúce hydrolytické enzýmy schopné štiepiť bielkoviny, polysacharidy, lipidy aj nukleové kyseliny. Zabezpečujú vnútrobunkové trávenie, rozklad poškodených organel (autofágia) a degradáciu cudzorodých častíc pohltých fagocytózou. Poruchy lyzozomálnych enzýmov spôsobujú akumuláciu nestráviteľných látok a vznik tzv. „storage diseases“.

Peroxisómy sú malé membránové organely obsahujúce oxidačné enzýmy. Katalyzujú odbúravanie mastných kyselín, zúčastňujú sa detoxikácie a metabolizmu peroxidu vodíka.

V rastlinných bunkách majú osobitné postavenie **vakuoly**. Ich obsahom je bunková šťava – roztok iónov, metabolitov a farbív. Vakuoly zabezpečujú udržiavanie turgoru, skladovanie

látok a recykláciu. V živočíšnych bunkách sa vakuoly vyskytujú len vo forme malých a dočasných vezikúl, ktoré plnia najmä tráviace a transportné funkcie.

Mitochondrie predstavujú energetické centrá bunky. Majú oválny alebo vláknitý tvar a ich počet v bunke závisí od energetickej náročnosti – napríklad svalové bunky ich obsahujú tisíce. Sú ohraničené dvomi membránami – vonkajšou hladkou a vnútornou, ktorá je bohato zriadená do kríst. Na vnútornej membráne sa nachádzajú enzýmy dýchacieho reťazca a ATP-syntáza, ktorá zabezpečuje tvorbu ATP. Mitochondrie obsahujú vlastnú kruhovú DNA a ribozómy prokaryotického typu, čo im umožňuje syntetizovať časť proteínov nezávisle od bunkového jadra. Táto skutočnosť podporuje teóriu endosymbiózy, podľa ktorej mitochondrie vznikli pohltím pôvodne samostatne žijúcich prokaryotov. Okrem energetického metabolizmu sa mitochondrie podieľajú aj na regulácii apoptózy (programovanej bunkovej smrti) a na hospodárení s vápnikovými iónmi.

Chloroplasty sa nachádzajú iba v rastlinných bunkách a zabezpečujú fotosyntézu. Obsahujú zelené farbivo **chlorofyl**, ktoré umožňuje premieňať energiu svetla na chemickú energiu viazanú v glukóze. Chloroplasty sú ohraničené dvojitou membránou a ich vnútorný priestor vyplňa stróma a tylakoidový systém usporiadaný do grán. Aj chloroplasty majú vlastnú DNA a ribozómy, čo je ďalší dôkaz ich endosymbiotického pôvodu. Okrem fotosyntézy sa podieľajú aj na syntéze niektorých aminokyselín, lipidov a farbív.

Cytoskelet je dynamická bielkovinová sieť, ktorá zabezpečuje vnútornú organizáciu bunky, transport organel a udržiavanie jej tvaru. Tvoria ho **mikrotubuly**, **mikrofilamenty** a **intermediárne filamenty**, pričom každá z týchto zložiek má špecifické funkcie a vzájomne sa dopĺňajú. **Mikrotubuly** sú duté trubice vytvorené z tubulínových heterodimérov. Okrem toho, že zohrávajú kľúčovú úlohu pri delení bunky (tvorba deliaceho vretienka), slúžia ako „koľajnice“ pre intracelulárny transport. Organelly a vezikuly sa po nich pohybujú vďaka motorickým proteínom, ako sú dyneín a kinezín. **Mikrofilamenty**, tvorené aktínom, sú najtenšie vlákna cytoskeletu. Zabezpečujú bunkový pohyb, kontrakcie, endocytózu a exocytózu. V mnohých prípadoch vytvárajú pod membránou hustú sieť, ktorá sa podieľa na tvorbe výbežkov, ako sú lamelopódia alebo filopódia, dôležité pri migrácii buniek. **Intermediárne filamenty** poskytujú bunke mechanickú pevnosť a odolnosť voči stresu. Na rozdiel od mikrotubulov a mikrofilamentov nie sú dynamické v takej miere, ale tvoria stabilnejšiu oporu pre bunku. Rôzne typy filamentov sa vyskytujú v rôznych bunkových typoch, napríklad keratíny v epitelových bunkách alebo vimentín v mezenchýmových bunkách.

Cytoskelet sa neustále remodeluje podľa potrieb bunky a reaguje na vnútorné aj vonkajšie signály. Okrem mechanických funkcií hrá aj úlohu v signalizácii, regulácii bunkového cyklu a pri kontakte bunka-bunka alebo bunka-extracelulárna matrix. Vďaka týmto vlastnostiam predstavuje cytoskelet kľúčový prvok pre udržiavanie vitality a funkčnosti každej bunky.

Niektoré eukaryotické bunky obsahujú **organely pohybu** – **riasinky** a **bičiky**, ktoré umožňujú aktívny pohyb bunky alebo transport častíc po jej povrchu. Ich základom je mikrotubulárna

štruktúra nazývaná **axonéma**, ktorá má typické usporiadanie „9 + 2“, teda deväť dvojíc mikrotubulov uložených periférne a dve centrálné mikrotubuly. Stabilitu axonémy zabezpečujú proteíny ako nexín a dynamiku pohybu umožňujú motorické proteíny dyneíny, ktoré premieňajú energiu z ATP na mechanickú silu ohýbajúcu riasinky či bičík.

Riasinky sú krátke a vyskytujú sa vo veľkom počte na povrchu bunky. Ich rytmické pohyby zabezpečujú presun hlienu a častíc, napríklad v dýchacích cestách, kde čistia epitel od prachu a mikroorganizmov. Dôležitú úlohu zohrávajú aj vo vajčkovodoch, kde napomáhajú transportu vajíčka. **Bičík** je naopak dlhší a vyskytuje sa spravidla v jednej alebo niekoľkých kópiách. Typickým príkladom je bičík spermií, ktorý zabezpečuje pohyb gaméty smerom k vajíčku a je kľúčový pre oplodnenie. Okrem motility môžu riasinky pôsobiť aj ako **senzorické organely**, ktoré prijímajú signály z vonkajšieho prostredia a sprostredkujú reakciu bunky. Poruchy štruktúry alebo funkcie riasiniek a bičíkov vedú k ochoreniam označovaným ako ciliopatie, ktoré môžu postihovať dýchací, reprodukčný aj nervový systém.



Modelové otázky

1. Aké organely sú typické pre všetky eukaryotické bunky?

- a) cytoskelet zložený z aktínových, tubulínových a intermediárnych filamentov
- b) pravé jadro, ktoré nie je ohraničené membránou
- c) endomembránový systém
- d) glykokalyx

2. Aké organely a štruktúry obsahujú všetky prokaryotické aj eukaryotické bunky?

- a) mitochondrie, pravé jadro, ribozómy, cytoplazmu
- b) ribozómy, cytoplazmu, cytoplazmatickú membránu, glykokalyx
- c) ribozómy, cytoplazmu, cytoplazmatickú membránu, DNA
- d) pravé jadro, ribozómy, DNA, lyzozómy

3. Aké sú hlavné úlohy cytoskeletu v bunke?

- a) je to vonkajšia kostra buniek
- b) umožňuje pohyb niektorých baktérií
- c) zohráva úlohu pri bunkovom delení
- d) umožňuje efektívny transport molekúl v bunkách

4. Bunkové jadro:

- a) je koordináčnym a riadiacim centrom bunky
- b) prokaryotických buniek je zložené z jadrovej membrány, jadrovej matrix a chromatínu
- c) obsahuje genetickú informáciu
- d) je obalené dvojitou jadrovou membránou

5. Cieľená likvidácia vybraných proteínov sa uskutočňuje:

- a) v peroxizómoch
- b) v proteazómoch
- c) disjunkciou
- d) ubikvitináciou

6. Cytoplazma:

- a) je vonkajším prostredím bunky
- b) je schopná sa meniť zo sólu na gél a naopak
- c) je polotekutá
- d) bielkoviny a ich hydratačný plášť najviac ovplyvňujú jej viskozitu

7. Čo je to nukleoid?

- a) „jadro“ prokaryotickej bunky
- b) jadro eukaryotickej bunky
- c) „jadro“ bakteriálnej bunky
- d) kruhová molekula DNA

8. Čo patrí medzi syntetické centrá bunky?

- a) endoplazmatické retikulum
- b) jadro
- c) lyzozóm
- d) Golgiho aparát

9. Čo tvorí „jadro“ prokaryotickej bunky?

- a) dve cirkulárne molekuly dvojvláknovej DNA
- b) jedna cirkulárna molekula dvojvláknovej DNA
- c) nukleoid
- d) jadierko

10. Jadierko:

- a) je súčasťou prokaryotickej bunky
- b) je súčasťou eukaryotickej bunky
- c) je miestom syntézy tRNA
- d) nachádzajú sa v ňom molekuly DNA, RNA a proteínov

11. Jadro eukaryotickej bunky:

- a) je koordinačným a riadiacim centrom bunky
- b) obsahuje genetickú informáciu
- c) môže obsahovať jedno alebo viac jadierok
- d) sa skladá z jadrovej membrány, jadrovej matrix a chromatínu

12. Jadro eukaryotickej bunky:

- a) je koordinačným a riadiacim centrom bunky
- b) obsahuje jadrové póry
- c) nemôže mať viac ako jedno jadierko
- d) sa skladá z jadrovej membrány, matrix a jadrového chromozómu

13. Jadro:

- a) v prokaryotoch obsahuje DNA zbalenú do nukleozómov pomocou histónov
- b) u eukaryotov, prechádza cyklickými zmenami počas bunkového cyklu
- c) dochádza v ňom k translácii a tvorbe polypeptidov
- d) neobsahuje RNA

14. Kde sú v bunke často lokalizované mitochondrie?

- a) hneď pod cytoplazmatickou membránou
- b) vždy na apikálnej strane buniek
- c) v jadre
- d) v mieste, kde je najvyššia spotreba energie

15. Ktoré organely živočíšnych buniek sú od okolitého prostredia vyčlenené dvojitou membránou:

- a) mitochondrie a jadierko
- b) mitochondrie a chloroplasty
- c) mitochondrie a jadro
- d) mitochondrie a endoplazmatické retikulum

16. Ktoré tvrdenia o centrozóme sú správne?

- a) centrozóm sa skladá z dvoch na seba kolmých centriolov, pričom každý tvorí deväť trojíc tubulínových vlákien
- b) kinetochorové mikrofilamenty sa viažu na centroméru chromozómov a umožňujú ich pohyb v mitóze
- c) nekinetochorové mikrotubuly sa podieľajú na posúvaní centrozómov na póly bunky
- d) centrozóm sa počas interfázy nachádza vždy v jadre bunky

17. Ktoré tvrdenia o cytoskelete eukaryotickej bunky sú správne?

- a) mikrotubuly sa podieľajú na transporte mechúrikov a tvorbe deliaceho vretienka
- b) mikrofilamenty sú tvorené tubulínom a zabezpečujú pohyb chromozómov
- c) intermediárne filamenty poskytujú bunke odolnosť voči ťahu a tlaku
- d) kinetochor je bielkovinový komplex, ktorý sa počas delenia pripája na centroméru chromozómov

18. Ktoré tvrdenie o mitochondriách je pravdivé?

- a) 80S ribozómy sú poskladané v cytoplazme a následne sú transportované do mitochondrií
- b) mitochondrie majú vlastnú genetickú informáciu, ale tá nie je exprimovaná, je to len rudiment
- c) mitochondriálna DNA má rovnakú štruktúru ako DNA v eukaryotickom jadre
- d) pre správne fungovanie mitochondrií je potrebná interakcia produktov jadrových aj mitochondriálnych génov

19. Ktoré tvrdenie správne popisuje jednotlivé druhy vlákien cytoskeletu?

- a) mikrotubuly – duté rúrky z tubulínu, súčasť deliaceho vretienka
- b) mikrofilamenty – tenké vlákna z aktínu a myozínu, vytvárajú kontraktilný systém
- c) intermediárne filamenty – 10 nm vlákna bez kontrakcie, zvyšujú mechanickú odolnosť bunky
- d) mikrotrabekuly – súčasť ribozómov, zabezpečujú proteosyntézu

20. Lyzozómy sú:

- a) mechúriky obalené dvojitou membránou, obsahujúce DNA
- b) mechúriky vznikajúce odškrtením z Golgiho aparátu, obsahujúce hydrolázy
- c) štruktúry s oxidačnými enzýmami, ktoré detoxikujú bunku
- d) zásobníky glykogénu v cytoplazme

21. Medzi organely eukaryotickej bunky patria:

- a) Golgiho aparát
- b) endoplazmatické retikulum
- c) mitochondrie
- d) lyzozómy

22. Mikrotubuly sa predlžujú:

- a) depolymerizáciou
- b) polymerizáciou
- c) pridávaním tubulínových dimérov
- d) odoberaním tubulínových dimérov

23. Mitochondrie vznikajú:

- a) *de novo* v každej dcérskej bunke vzniknutej bunkovým delením
- b) delením existujúcich mitochondrií
- c) pučaním z jadra
- d) pučaním z endoplazmatického retikula

24. Mitochondrie:

- a) sú zložené z troch biologických membrán
- b) neobsahujú DNA
- c) sú miestom oxidatívnej fosforylácie
- d) sú maternálneho pôvodu

25. Mitochondrie:

- a) sú zložené z troch biologických membrán
- b) obsahujú DNA
- c) dochádza tu k terminálnej oxidácii
- d) sú paternálneho pôvodu

26. Na obnove lamíny a obalu jadra sa najviac podieľa:

- a) lamín A
- b) lamín B
- c) lamín C
- d) lamín D

27. O jadierku platí, že:

- a) je to trvalá organela
- b) skladá sa z RNA a bielkovín
- c) je miestom produkcie ribozómov
- d) je miestom produkcie proteazómov

28. Peroxizómy sa vyznačujú tým, že:

- a) vznikajú de novo z ER alebo delením pôvodného, obsahujú prevažne oxidačné enzýmy
- b) majú životnosť desiatky rokov a sú trvalou súčasťou bunky
- c) sú najväčšou organelou bunky, ich hlavnou funkciou je proteosyntéza
- d) sú kódované iba mitochondriálnymi génmi

29. Podľa zloženia rozlišuje bunkové organely:

- a) membránové
- b) zložené z bielkovín
- c) zložené z bielkovín a RNA
- d) zložené z DNA a RNA

30. Pre akú organelu je typické nízke pH vnútorného prostredia?

- a) lyzozóm
- b) jadro
- c) mitochondrie
- d) cytoplazma

31. Pre akú organelu je typické vysoké pH vnútorného prostredia?

- a) lyzozóm
- b) jadro
- c) mitochondria
- d) cytoplazma

32. Ribozómy:

- a) nie sú zložené z biomembrány
- b) sa nenachádzajú v prokaryotických bunkách
- c) sú miestom transkripcie
- d) sú miestom translácie

33. Ribozómy:

- a) nie sú zložené z biomembrán
- b) sa nenachádzajú v eukaryotických bunkách
- c) sú miestom replikácie
- d) sú zložené z dvoch bielkovinových podjednotiek a rRNA

34. Typy jadierka sú:

- a) kompaktné
- b) s nukleolonómou
- c) prstencovité
- d) s nukleolomérou

35. Z čoho sú zložené ribozómy?

- a) z lipopolysacharidov
- b) z molekúl cholesterolu a sacharidov
- c) z ribonukleovej kyseliny a bielkovín
- d) z proteínov a lipidov

36. Riasinky a bičíky:

- a) sú tvorené mikrotubulami
- b) riasinky zabezpečujú pohyb spermii
- c) bičík je pohybová organela niektorých živočíšnych buniek
- d) sú tvorené len aktínovými filamentmi

37. Centrozóm a cytoskelet:

- a) centrosóm sa skladá z dvoch centriol uložených kolmo na seba
- b) cytoskelet sa skladá z mikrotubulov, mikrofilamentov a intermediárnych filamentov
- c) cytoskelet je tvorený len z bielkovín aktínu
- d) centrosóm má význam len v rastlinných bunkách

38. Vakuoly:

- a) v rastlinných bunkách pomáhajú udržiavať turgor
- b) v živočíšnych bunkách majú vždy rovnakú veľkosť a funkciu
- c) slúžia na skladovanie látok a rozklad metabolitov
- d) vznikajú delením jadra

39. Čo je to chromatozóm?

- a) prokaryotické jadro
- b) dekonzenzovaný ribozóm
- c) nukleozóm stabilizovaný histónom H1
- d) stavebná/štruktúrna jednotka chromatinového vlákna

40. Čo je to matrizóm?

- a) kohorta génov kódujúcich komponenty extracelulárneho matrixu
- b) súbor mitochondrií v materskej bunke
- c) matrica na vystavanie cytoskeletu v bunke
- d) komplex centrosómu a mikrotubulov deliaceho vretienka

41. Endomembránový systém bunky:

- a) je tvorený napr. membránami endoplazmatického retikula, Golgiho aparátu, lyzozómami
- b) sa nachádza v prokaryotických organizmoch
- c) je tvorený hlavne membránovými organelami, ako sú peroxizómy a cytoskelet
- d) komponenty systému si môžu vymieňať látky vezikulárnym transportom

42. Euchromatín:

- a) je tvorený kondenzovanými úsekmi chromozómov
- b) ide o transkripčne neaktívny chromatín
- c) má jemnú, penovitú až fibrilárnu štruktúru
- d) je transkripčne aktívny

43. Heterochromatín:

- a) je tvorený kondenzovanými úsekmi chromozómov
- b) ide o transkripčne neaktívny chromatín
- c) má jemnú, penovitú až fibrilárnu štruktúru
- d) je transkripčne aktívny

44. Histónové bielkoviny:

- a) patria medzi tzv. bázické bielkoviny
- b) sa nevyskytujú v jadrách eukaryotických buniek
- c) rozdeľujeme do päť hlavných tried
- d) sú posttranslačne modifikované

45. Jadrová matrix:

- a) neobsahuje transkriptozómy a replikozómy
- b) predstavuje najdôležitejšiu extrachromatínovú zložku jadra
- c) obsahuje enzýmy a ďalšie proteíny potrebné pre transkripciu a replikáciu
- d) na jej tvorbe sa podieľajú laminy A a C

46. Jadrový obal:

- a) oddeľuje bunku od extracelulárneho prostredia
- b) je tvorený dvoma biologickými membránami
- c) vonkajšia membrána jadrového obalu je v kontakte s endoplazmatickým retikulom a s cytoplazmou
- d) vnútorná membrána jadrového obalu je v kontakte s endoplazmatickým retikulom a s cytoplazmou

47. Jedno „poschodie“ 30 nm chromatínového vlákna sa nazýva:

- a) signum
- b) solenoid
- c) chromozóm
- d) segment

48. Na výstavbe histónového oktaméru sa podieľajú:

- a) H1
- b) H3
- c) H4
- d) H8

49. Nehistónové bielkoviny asociované so skafoldom a jadrovou matrix sú:

- a) proteíny zabezpečujúce teritória chromozómov
- b) enzýmy, ktoré odstraňujú torzné napätie
- c) proteíny, ktoré vykonávajú transkripciu
- d) proteíny, ktoré vykonávajú replikáciu

50. Pórový komplex sa skladá z:

- a) jednej centrálnej granuly
- b) jednej bočnej granuly
- c) diafragmy
- d) karyotheky

51. Nehistónové bielkoviny chromozómu:

- a) majú prevažne regulačnú funkciu
- b) nemajú vplyv na vnútornú organizáciu interfázového jadra
- c) sú skafoldové proteíny tvoriace ultraštruktúru chromozómov
- d) zabezpečujú ochranu teritória chromozómu a dynamiku chromatínových slučiek v ňom

52. V akých iných organelách eukaryotických buniek okrem jadra sa môžu vyskytovať gény?

- a) v mitochondriách
- b) v Golgiho aparáte
- c) v chloroplastoch
- d) v lyzozómoch

53. Základné komponenty cytoskeletu sú:

- a) intermediárne filamenty
- b) centroméra
- c) mikrotubuly
- d) mikrofilamenty

54. Globulárny aktín je základnou stavebnou:

- a) intermediárnych filamentov
- b) mikrotubulov
- c) mikrofilamentov
- d) aktínoidov

55. Jadrové póry:

- a) sa nachádzajú na vnútornej strane jadrového obalu
- b) sú tvorené z proteínových vlákien a granúl, ktoré spolu vytvárajú pórový komplex
- c) zabezpečujú aktívny transport látok z jadra do cytoplazmy
- d) sa nachádzajú v jadrovej membráne prokaryotických buniek

56. Medzi jednomembránové organely patria:

- a) ribozómy a jadierko
- b) Golgiho aparát a peroxizómy
- c) lyzozómy a endoplazmatické retikulum
- d) mitochondrie a chloroplasty

57. Jadrové póry:

- a) majú priemer cca 100 μm
- b) sa nachádzajú v jadrovej membráne prokaryotických buniek
- c) zabezpečujú aktívny transport z jadra do cytoplazmy
- d) sú tvorené z proteínových vlákien a granúl

58. Medzi organely eukaryotických buniek ktoré sú tvorené jednou biomembránou patria:

- a) chloroplasty, mitochondrie
- b) Golgiho aparát
- c) peroxizómy, lyzozómy
- d) jadierko, jadro

59. Membránové organely poznáme zložené z:

- a) jednej membrány, napr. endoplazmatické retikulum
- b) dvoch membrán (obal jadra, mitochondrie a chloroplasty)
- c) dvoch membrán, napr. Golgiho aparát
- d) jednej membrány (obal jadra, mitochondrie a chloroplasty)

60. Z koľkých biomembrán sú tvorené mitochondrie?

- a) z dvoch
- b) z dvoch – vonkajšieho obalu a vnútornej zriasenej
- c) z jednej
- d) z dvoch – vonkajšej zriasenej a vnútornej zriasenej

Klíč k modelovým otázkám

1. SNSN	21. SSSS	41. SNNS
2. NNSN	22. NSSN	42. NNSS
3. NSSS	23. NSNN	43. SSNN
4. SNSS	24. NNSS	44. SNSS
5. NSNS	25. NSSN	45. NSSS
6. NSSS	26. NSNN	46. NSSN
7. SNSS	27. NSSN	47. NSNN
8. SSNS	28. SNNN	48. NSSN
9. NSSN	29. SSSN	49. SSSS
10. NSNS	30. SNNN	50. SNSN
11. SSSS	31. NNSN	51. SNSS
12. SSNN	32. SNNS	52. SNSN
13. NSNN	33. SNNS	53. SNSS
14. NNNS	34. SSSN	54. NNSN
15. NNSN	35. NNSN	55. NSSN
16. SNSN	36. SNSN	56. NSSN
17. SNSS	37. SSNN	57. NNSS
18. NNNS	38. SNSN	58. NSSN
19. SNSN	39. NNSS	59. SSNN
20. NSNN	40. SNNN	60. SSNN

5 Reprodukcia buniek

Jednou zo základných vlastností bunky je schopnosť reprodukcie – teda delenia. Tento proces je nevyhnutný pre rast, vývoj a obnovu tkanív, ako aj pre hojenie a regeneráciu. V bunkovej biológii rozlišujeme tri základné spôsoby delenia – amitózu, mitózu a meiózu. Každý z nich má špecifický priebeh a biologický význam.

Amitóza je rýchle, priame delenie bunky, bez tvorby deliaceho vretienka a bez typických fáz delenia. Po zdvojení DNA sa jadro rozdelí priamo, často súčasne so zaškrtením cytoplazmy. Je typická pre prokaryotické bunky, v eukaryotických bunkách sa vyskytuje len výnimočne. Keďže chýba mechanizmus presného rozdelenia chromozómov, genetická stabilita dcérskych buniek nie je garantovaná. Na druhej strane ide o veľmi efektívny spôsob reprodukcie buniek a v prípade prokaryotických buniek zabezpečuje rýchlu kolonizáciu všetkých prostredí a predstavuje jednu z foriem stratégie prežívania.

Mitóza je nepriame delenie buniek, typické pre somatické bunky mnohobunkových organizmov. Zabezpečuje presnú a rovnomernú distribúciu genetickej informácie do dvoch geneticky identických dcérskych buniek. Po rozdelení jadra (**karyokinéza**) dochádza spravidla k rozdeleniu bunky (**cytokinéza**). Kľúčovým aparátom zabezpečujúcim správny priebeh mitózy je **deliace vretienko**, dynamická štruktúra tvorená **mikrotubulmi** a sprievodnými **motorickými proteínmi**. Vzniká v profáze z mikrotubulárneho organizačného centra, pri živočíchoch z **centrozómov** obsahujúcich páry **centriol**, a jeho úlohou je zachytiť chromozómy cez **kinetochóry** a riadiť ich pohyb.

Deliace vretienko sa skladá z troch typov mikrotubulov: **kinetochórových**, ktoré sa pripájajú na centroméry chromozómov, **polárnych (nekinetochórových)**, ktoré sa vzájomne prekrývajú a stabilizujú polohu pólov a **astrálnych**, ktoré ukotvujú vretienko k bunkovej membráne. Koordinovaná dynamika týchto mikrotubulov a činnosť motorických proteínov, najmä dyneínov a kinezínov, umožňuje usporiadanie chromozómov v metafázovej platni a ich presné rozdelenie v anafáze. Správne fungovanie deliaceho vretienka je nevyhnutné pre udržanie stability genómu, pretože jeho poruchy môžu viesť k nesprávnemu rozdeleniu chromozómov a vzniku aneuploídií.

Mitóza pozostáva z profázy, prometafázy, metafázy, anafázy a telofázy, ktorých priebeh je podrobne opísaný v tabuľke.

Fáza	Hlavné znaky	Výsledok
Profáza	Chromatín sa kondenzuje do viditeľných chromozómov. Jadierko mizne. Centrozómy sa rozchádzajú k pólom, začínajú tvoriť mikrotubuly vretienka (najmä nekinetochórové, NKMT). Jadrový obal zatiaľ zostáva zachovaný. – Golgiho aparát a ER sa pripravujú na redistribúciu do dcérskych buniek.	Vznikajú kompaktné chromozómy a prvé základy deliaceho aparátu.

Prometafáza	Rozpad jadrového obalu (NEBD) fosforyláciou lamínov. Fragmenty obalu ostávajú viazané cez lamin B na intermediárne filamenty. Kinetochórové mikrotubuly (KMT) sa pripájajú na kinetochóry sesterských chromatíd. Chromozómy manévrujú k rovníku bunky, až kým sa nevytvorí dynamická rovnováha síl.	Chromozómy sú pripojené na deliace vretienko a pripravené na zarovnanie.
Metafáza	Chromozómy sa zoradia v jednej rovine – metafázovej platni. SAC (spindle assembly checkpoint) blokuje anafázu, kým nie sú všetky kinetochóry správne pripojené. Aktivácia APC/C → degradácia sekurínu → separáza štiepi kohezíny (aj pri centromérach).	Všetky chromozómy pripravené na rovnomerné rozdelenie.
Anafáza A	Depolymerizáciou sa skracujú KMT. Jednochromatidové chromozómy sú ťahané k pólom.	Oddelenie sesterských chromatíd.
Anafáza B	Nekinetochórové MT sa predlžujú a kľžu po sebe pomocou kinezínov. Póly sa od seba vzdďľujú. Dyneíny a kinezíny zabezpečujú pohyb; poruchy môžu spôsobiť anafázové zaostávanie alebo nondisjunkciu.	Zvýšenie vzdialenosti medzi pólmi a priestorové oddelenie chromozómov.
Telofáza	Chromozómy dekondujú. Reformuje sa jadrový obal okolo každého súboru chromozómov. Objavuje sa jadierko. Deliace vretienko sa rozpadá.	Koniec karyokinézy, vznikajú dve jadrá.
Cytokinéza	Živočíchy: kontraktilný prstenec aktín – myozín, štiepna brázda sa objaví na konci anafázy a prehľbuje sa v telofáze. Rastliny: formuje sa bunková platnička (fragmoplast), ktorá prerastá do novej bunkovej steny.	Fyzické oddelenie bunky → dve geneticky identické dcérske bunky.

Meiôza je redukčné delenie, ktoré vedie k vzniku gamét. Znižuje počet chromozómov z diploidného ($2n$) na haploidný (n) a zabezpečuje genetickú variabilitu prostredníctvom crossing-overu a rekombinácie. Na rozdiel od mitózy obsahuje iba jednu S-fázu replikácie DNA, po ktorej nasledujú dve po sebe idúce delenia – **meiôza I (redukčné delenie)** a **meiôza II (ekvačné delenie)**.

Priebeh meiôzy je opísaný v tabuľke.

Etapa	Fáza	Hlavné znaky	Výsledok
Meiôza I (redukčné, heterotypické)	Profáza I	Leptotén: začína kondenzácia chromozómov. Zygotén: synapsis homologických chromozómov, vznik synaptonemálneho komplexu. Pachytén: crossing-over, vznik chiasmat. – Diplotén: zánik synaptonemálneho komplexu, chiazmy ostávajú viditeľné. Diakinéza: maximálna kondenzácia, rozpad jadrového obalu (NEBD), mizne jadierko.	Príprava bivalentov na usporiadanie do metafázovej platne.
	Metafáza I	Bivalenty sa zoradia do metafázovej platne. Sesterské kinetochóry sú mono-orientované (oba k rovnakému pólu).	Zabezpečené správne rozdelenie homologických chromozómov.

	Anafáza I	Oddelenie homologických chromozómov. Kohezin na ramenách degraduje, centromérový kohezin chráni proteín shugoshin .	Homológne chromozómy sa rozchádzajú k opačným pólom.
	Telofáza I / interkinéza	Vznikajú dve haploidné bunky, každá obsahuje chromozómy zložené z dvoch chromatíd. Interkinéza je krátka a bez replikácie DNA.	Dve haploidné bunky pripravené na druhé delenie.
Meióza II (ekvačné, homeotypické)	Profáza II	Chromozómy sa znovu kondenzujú, tvorí sa deliace vretienko.	Priprava na druhé delenie.
	Metafáza II	Chromozómy sa zoradia v metafázovej platni, tentokrát sú kinetochóry sesterských chromatíd bi-orientované .	Pripravené na oddelenie sesterských chromatíd.
	Anafáza II	Oddelenie sesterských chromatíd, ktoré sa ťahajú k opačným pólom.	Rovnomerné rozdelenie chromatíd.
	Telofáza II + cytokinéza	Reformácia jadrového obalu, dekonenzácia chromozómov, vytvorenie jadriok. Cytokinéza rozdelí bunky.	Výsledkom sú štyri haploidné, geneticky rozdielne bunky .

Chyby meiózy – nondisjunkcia (I alebo II) a anafázové zaostávanie vedú k aneuploídiám; nerovnomerný crossing-over mení obsah génov v chromatídach. V nasledujúcej tabuľke uvádzame rozdiely medzi mitózou a meiózou.

Rozdiely	Mitóza	Meióza I a II
Počet delení	1	2 (redukčné a ekvačné)
Výsledok	2 dcérske bunky	4 gaméty
Počet chromozómov	zachovaný (2n)	redukovaný na polovicu (n)
Párovanie homologov	nie	áno, synapsis a crossing-over
Oddelenie	v anafáze chromatídy	v anafáze I homology, v II chromatídy
Genetická variabilita	nevzniká (klony)	vzniká (rekombinácia, segregácia)

Bunkový cyklus je súbor na seba nadväzujúcich procesov, ktorých výsledkom je vznik dcérskych buniek. Delí sa na **interfázu**, ktorá zahŕňa fázy **G1**, **S** a **G2**, a na **M fázu**, pozostávajúcu z **mitózy** a **cytokinézy**. Vo fáze **G1** bunka rastie, syntetizuje proteíny a pripravuje sa na replikáciu DNA. V tomto období môže niektoré bunky opustiť cyklus a vstúpiť do fázy G0, ktorá predstavuje funkčnú diferenciáciu a dočasné alebo trvalé nevstupovanie do ďalších delení. Diferenciácia je teda spravidla spojená s G0, nie je však univerzálnou vlastnosťou G1 fázy. V **S-fáze** prebieha semikonzervatívna replikácia DNA, pri ktorej vznikajú sesterské chromatídy spojené kohezinmi. Nasledujúca **G2 fáza** je obdobím kontroly a opráv DNA po replikácii, prípravou na mitózu, zdvojením centrozómov a syntézou tubulínu spolu s ďalšími komponentmi deliaceho aparátu. **M fáza** predstavuje samotné rozdelenie genetického materiálu počas mitózy a následné rozdelenie cytoplazmy pri cytokinéze. Správny priebeh bunkového cyklu je zabezpečený kontrolnými bodmi, ktoré sa nachádzajú v každej fáze a rozhodujú o tom, či bunka môže pokračovať ďalej, alebo sa cyklus dočasne zastaví, aby sa opravili chyby.

Tri hlavné kontrolné body tak zabezpečujú presnosť a stabilitu bunkového delenia (tabuľka).

Kontrolný bod	Kedy?	Čo kontroluje	Výsledok
G1/S checkpoint	na konci G1	posudzuje veľkosť bunky, živiny, poškodenie DNA	Pri problémoch sa cyklus zastaví a spustia sa opravy alebo apoptóza
G2/M checkpoint	na konci G2	či je DNA kompletne a správne replikovaná, bez poškodení	oprava DNA alebo zastavenie vstupu do mitózy
Metafázový checkpoint	počas metafázy	správne pripojenie všetkých kinetochorov na mikrotubuly deliaceho vretienka	chromozómy sa rozdelia rovnomerne medzi dcérske bunky



Modelové otázky

1. Amitóza je:

- a) priame delenie
- b) nepriame delenie
- c) redukčné delenie
- d) diferenciácia buniek

2. Mitóza je:

- a) priame delenie
- b) nepriame delenie
- c) redukčné delenie
- d) diferenciácia buniek

3. Meióza je:

- a) priame delenie
- b) nepriame delenie
- c) redukčné delenie
- d) diferenciácia buniek

4. Amitóza je typickým spôsobom delenia sa:

- a) prokaryotických buniek
- b) eukaryotických buniek
- c) gamét
- d) rastlín

5. Meióza je typickým spôsobom vytvárania:

- a) prokaryotických buniek
- b) eukaryotických buniek
- c) gamét
- d) rastlín

6. Bunkový cyklus sa skladá z:

- a) interfázy a M fázy (mitózy)
- b) profázy a metafázy
- c) anafázy a telofázy
- d) cytokinézy a karyokinézy

7. Do interfázy patrí:

- a) G1 fáza
- b) G2 fáza
- c) S fáza
- d) M fáza

8. G1 fáza je charakterizovaná:

- a) intenzívnou syntézou bielkovín
- b) replikáciou DNA
- c) zdvojením centrozómu
- d) diferenciáciou bunky

9. G0 fáza je charakterizovaná:

- a) intenzívnou syntézou bielkovín
- b) replikáciou DNA
- c) zdvojením centrozómu
- d) diferenciáciou bunky

10. G2 fáza je charakterizovaná:

- a) intenzívnou syntézou bielkovín
- b) replikáciou DNA
- c) zdvojením centrozómu
- d) diferenciáciou bunky

11. S fáza je charakterizovaná:

- a) intenzívnou syntézou bielkovín
- b) replikáciou DNA
- c) zdvojením centrozómu
- d) diferenciáciou bunky

12. Hlavné kontrolné uzly bunkového cyklu sú v:

- a) G1 fáze
- b) G2/M fáze
- c) S fáze
- d) metafáze

13. Pri mitóze:

- a) vznikajú dve dcérske bunky, z ktorých každá má rovnaký počet chromozómov ako rodičovská bunka
- b) vznikajú štyri dcérske bunky, z ktorých každá má rovnaký počet chromozómov ako rodičovské bunky
- c) vznikajú dve dcérske bunky, každá má polovičný počet chromozómov ako rodičovské bunky
- d) vznikajú štyri dcérske bunky, z ktorých každá má polovičný počet chromozómov ako rodičovské bunky

14. Pri meióze sa počet chromozómov:

- a) redukuje na polovicu
- b) ostáva nezmenený
- c) zdvojnásobí
- d) strojnásobí

15. K rozdeleniu jadra dochádza:

- a) procesom cytokinézy
- b) v rámci mitózy a meiózy
- c) v procese interfázy
- d) karyokinézou

16. Bunkový cyklus:

- a) je súbor procesov, ktorých výsledkom je vznik dcérskych buniek
- b) sa nemôže opakovať podľa potrieb organizmu
- c) je názov pre proces vzniku DNA
- d) je proces replikácie chromozómov

17. Ako sa môžu rozmnožovať bunky?

- a) delením
- b) pučaním
- c) mitózou
- d) meiózou

18. Bunkový cyklus možno rozdeliť na:

- a) profázu, prometafázu, metafázu, anafázu a telofázu
- b) interfázu a samotné delenie
- c) G1 fázu, S fázu, G2 fázu a M fázu
- d) G1 fázu, S fázu, G2 fázu a interfázu

19. K typom bunkových delení (podľa priebehu bunkového cyklu) patrí:

- a) priame delenie – mitóza
- b) nepriame delenie – mitóza
- c) meióza
- d) priame delenie – amitóza

20. Za akých podmienok dochádza k zastaveniu bunkového delenia?

- a) pri nedostatku živín
- b) pri nevhodnej teplote
- c) pri nahromadení škodlivých látok
- d) pri nevhodných podmienkach vonkajšieho prostredia

21. Bunka má 46 chromozómov počas G1 fázy bunkového cyklu. Koľko sesterských chromatíd má počas profázy I?

- a) 10
- b) 23
- c) 46
- d) 92

22. K fázam bunkového cyklu, ktoré majú priamy vzťah k rozdeleniu bunky patrí:

- a) M fáza
- b) G1 fáza a G2 fáza
- c) G1 fáza a M fáza
- d) S fáza

23. Ako sa nazýva fáza bunkového cyklu, v ktorej prebieha replikácia jadrovej DNA a zdvojenie jadrových chromozómov?

- a) S fáza
- b) syntetická fáza
- c) M fáza
- d) mitóza

24. Eukaryotické jadrové chromozómy sú tvorené:

- a) chromatínom
- b) DNA
- c) histónovými proteínmi
- d) nehistónovými proteínmi

25. Do interfázy bunkového cyklu patria fázy:

- a) G1
- b) M
- c) S
- d) G2

26. Fázy samotnej mitózy v správnom poradí sú:

- a) profáza, prometafáza, metafáza, anafáza, telofáza
- b) telofáza, profáza, prometafáza, metafáza, anafáza
- c) profáza, prometafáza, metafáza, telofáza, anafáza
- d) profáza, prometafáza, anafáza, metafáza, telofáza

27. V profáze dochádza ku:

- a) kondenzácii chromatínu
- b) zániku jadrového obalu
- c) zoradeniu chromozómov do ekvatoriálnej roviny
- d) vzniku nového jadra

28. Jadierka zanikajú v:

- a) profáze
- b) metafáze
- c) anafáze
- d) telofáze

29. Včasné deliace vretienko zložené z nekinetochorových mikrotubulov sa vytvára v:

- a) profáze
- b) metafáze
- c) anafáze
- d) telofáze

30. Centrozómy sa od seba oddelia v:

- a) profáze
- b) metafáze
- c) anafáze
- d) telofáze

31. V prometafáze dochádza ku:

- a) ukončeniu kondenzácie chromatínu
- b) zániku jadrového obalu
- c) zoradeniu chromozómov do ekvatoriálnej roviny
- d) vzniku nového jadra

32. Prometafáza mitózy je pre bunku dôležitá, lebo:

- a) sa rozpadá jadrová membrána
- b) nekinetochórové mikrotubuly deliaceho vretienka sa musia správne napojiť na kohezín chromatídy
- c) kinetochórové mikrotubuly deliaceho vretienka sa musia správne napojiť na kinetochór oboch chromatíd
- d) každý chromozóm má dva kinetochóry umiestnené na centrozóme chromatídy

33. Metafázový chromozóm:

- a) je tvorený jedným chromatidom
- b) je tvorený dvomi chromatidmi
- c) má tvar písmena Y
- d) má tvar písmena X

34. V metafáze mitózy dochádza k:

- a) rozpadu jadrovej membrány
- b) k usporiadaniu chromozómov do ekvatoriálnej roviny
- c) k maximálnej kondenzácii chromozómov
- d) k dekonenzácii chromozómov

35. Chromozómy sú maximálne kondenzované na:

- a) konci metafázy
- b) konci anafázy
- c) konci telofázy
- d) začiatku profázy

36. Anafázu promujúci komplex sa aktivuje v:

- a) profáze
- b) metafáze
- c) anafáze
- d) telofáze

37. V anafáze A sa:

- a) depolymerizáciou skracujú kinetochorové mikrotubuly
- b) polymerizujú nekinetochorové mikrotubuly
- c) rozdeľuje jadro
- d) rozdeľuje cytoplazma

38. V anafáze B sa:

- a) depolymerizáciou skracujú kinetochorové mikrotubuly
- b) polymerizujú nekinetochorové mikrotubuly
- c) rozdeľuje jadro
- d) rozdeľuje cytoplazma

39. Pri karyokinéze sa:

- a) depolymerizáciou skracujú kinetochorové mikrotubuly
- b) polymerizujú nekinetochorové mikrotubuly
- c) rozdeľuje jadro
- d) rozdeľuje cytoplazma

40. Pri cytokinéze sa:

- a) depolymerizáciou skracujú kinetochorové mikrotubuly
- b) polymerizujú nekinetochorové mikrotubuly
- c) rozdeľuje jadro
- d) rozdeľuje cytoplazma

41. V telofáze dochádza ku:

- a) kondenzácii chromatínu
- b) zániku jadrového obalu
- c) zoradeniu chromozómov do ekvatoriálnej roviny
- d) vzniku nového jadra

42. Počas telofázy mitotického delenia:

- a) prebieha dekonenzácia chromozómov
- b) ukončí sa karyokinéza
- c) vytvárajú sa nové jadrové obaly
- d) prebieha kondenzácia chromozómov

43. Ktorá z nasledujúcich udalostí nastáva počas telofázy?

- a) aktín – myozínový kontrakčný prstenec iniciuje tvorbu štiepnej brázdy
- b) sesterské chromatidy sa oddelia a sú vytiahnuté na opačné konce bunky
- c) mikrotubuly sa viažu na kinetochórne proteíny na chromozómoch
- d) jadrová membrána sa rozpadá

44. Anafáza je proces, ktorý:

- a) môžeme rozdeliť na anafázu bunky eukaryotickej a prokaryotickej
- b) prebieha po telofáze
- c) prebieha pred telofázou
- d) môžeme rozdeliť na anafázu A a anafázu B

45. V priebehu anafázy mitotického delenia:

- a) sa kinetochorové mikrotubuly deliaceho vretienka depolymerizujú
- b) jednochromatidové chromozómy sú ťahané k centrozómom
- c) kinetochorové mikrotubuly sa polymerizáciou skracujú
- d) dvojchromatidové chromozómy sú ťahané k centriómom

46. Motorické proteíny sú:

- a) dyneíny
- b) kinezíny
- c) kohezíny
- d) separázy

47. Rýchlemu postupu chromozómov k centrozómom pomáhajú:

- a) dyneíny
- b) kinezíny
- c) polymerizácia kinetochorových mikrotubulov
- d) depolymerizácia kinetochorových mikrotubulov

48. Ak zlyhá likvidácia sekurínu na konci metafázy:

- a) separáza rozdelí kohezíny aj z vnútornej strany centromér
- b) separáza nerozdelí kohezíny aj z vnútornej strany centromér
- c) nastane disjunkcia sesterských chromatíd
- d) nastane nondisjunkcia sesterských chromatíd

49. Bielkovina chrániaca kohezíny pred rozpojením:

- a) sa volá separáza
- b) sa volá shugoshin
- c) je odstránená ubikvitináciou
- d) je odstránená acetyláciou

50. Čo je miestom pripevnenia vretienkových vlákien k sesterským chromatídam počas mitózy?

- a) centrozóm
- b) centriola
- c) centroméra
- d) kinetochór

51. Výsledkom 1. meiotického delenia je vznik buniek s:

- a) haploidným počtom zdvojených chromozómov
- b) haploidným počtom nezdvojených chromozómov
- c) diploidným počtom zdvojených chromozómov
- d) diploidným počtom nezdvojených chromozómov

52. Výsledkom 2. meiotického delenia je vznik buniek s:

- a) haploidným počtom zdvojených chromozómov
- b) haploidným počtom nezdvojených chromozómov
- c) diploidným počtom zdvojených chromozómov
- d) diploidným počtom nezdvojených chromozómov

53. Výsledkom meiotického delenia je vznik:

- a) jednej bunky
- b) dvoch buniek
- c) troch buniek
- d) štyroch buniek

54. Pri amitóze sa počet chromozómov:

- a) zachováva
- b) znižuje na polovicu
- c) zdvojnásobuje
- d) náhodne mení podľa typu bunky

55. Koľko buniek je výsledkom prvého meiotického delenia?

- a) 1
- b) 2
- c) 3
- d) 4

56. V ktorej fáze meiózy sa párujú homologické chromozómy a dochádza ku crossing-overu? A v ktorej fáze meiózy dochádza k rozdeleniu chromatíd?

- a) v profáze I a v anafáze II
- b) v anafáze I a v profáze I
- c) v profáze II a v anafáze I
- d) v anafáze II a v profáze II

57. K duplikácii chromozómov v meióze:

- a) nedochádza
- b) dochádza pred prvým meiotickým delením
- c) dochádza pred druhým meiotickým delením
- d) dochádza pred prvým aj druhým meiotickým delením

58. Prvé meiotické delenie sa nazýva aj:

- a) redukčné
- b) ekvačné
- c) heterotypické
- d) homeotypické

59. Druhé meiotické delenie sa nazýva aj:

- a) redukčné
- b) ekvačné
- c) heterotypické
- d) homeotypické

60. Prvé meiotické delenie sa skladá z fáz:

- a) profáza, metafáza, anafáza, telofáza
- b) profáza I, metafáza I, anafáza I, telofáza I
- c) profáza II, metafáza II, anafáza II, telofáza II
- d) proleptoténne, leptoténne, zygoténne, pachyténne, diploténne, diakinéza

61. Druhé meiotické delenie sa skladá z fáz:

- a) profáza, metafáza, anafáza, telofáza
- b) profáza I, metafáza I, anafáza I, telofáza I
- c) profáza II, metafáza II, anafáza II, telofáza II
- d) proleptoténne, leptoténne, zygoténne, pachyténne, diploténne, diakinéza

62. Štádiá profázy prvého meiotického delenia v správnom poradí sú:

- a) leptoténne, zygoténne, pachyténne, diploténne, diakinéza
- b) proleptoténne, leptoténne, pachyténne, diploténne, diakinéza
- c) proleptoténne, leptoténne, zygoténne, diploténne, diakinéza
- d) proleptoténne, leptoténne, zygoténne, pachyténne, diploténne, diakinéza

63. Ku kondenzácii chromozómov začína dochádzať v meióze v štádiu:

- a) proleptoténne
- b) zygoténne
- c) pachyténne
- d) diploténne

64. K synapsii homologických chromozómov dochádza v štádiu:

- a) proleptoténne
- b) zygoténne
- c) pachyténne
- d) diploténne

65. Ku crossing-overu dochádza v štádiu:

- a) proleptoténne
- b) zygoténne
- c) pachyténne
- d) diploténne

66. K vzniku rekombinovaných chromatidov dochádza v štádiu:

- a) proleptoténne
- b) zygoténne
- c) pachyténne
- d) diploténne

67. K rozpadu jadrových obalov a vymiznutiu jadierka dochádza v meióze v štádiu:

- a) proleptoténne
- b) zygoténne
- c) pachyténne
- d) diakinéze

68. Synaptonemálne komplexy v meióze vymiznú v štádiu:

- a) proleptoténne
- b) zygoténne
- c) pachyténne
- d) diploténne

69. Diakinéza je charakterizovaná:

- a) kondenzáciou chromatidov
- b) vymiznutím chiazmat
- c) rozpadom jadrových obalov
- d) vymiznutím jadierka

70. Koľko chromozómových sád má za normálnych okolností telová bunka človeka?

- a) jednu
- b) dve
- c) tri
- d) štyri

71. Koľko chromozómov obsahuje normálna ľudská spermia?

- a) 22
- b) 23
- c) 45
- d) 46

72. Hlavný rozdiel medzi mitózou a amitózou je:

- a) pri mitóze prebieha karyokinéza a cytokinéza, pri amitóze nie
- b) mitóza zachováva genetickú stabilitu, amitóza ju môže narušiť
- c) mitóza sa vyskytuje pri prokaryotoch, amitóza pri eukaryotoch
- d) pri amitóze sa vždy vytvárajú haploidné bunky

73. Počas meiózy sa počet chromozómov:

- a) zdvojnásobí a potom rozdelí na štvrtiny
- b) rozdelí na štvrtiny
- c) zdvojnásobí a potom rozdelí na polovicu
- d) rozdelí na polovicu

74. Nondisjunkcia je:

- a) chyba v separácii homologických chromozómov alebo sesterských chromatíd
- b) chyba v migrácii chromozómu
- c) delécia DNA segmentu na jednej chromatide
- d) duplikácia DNA segmentu na druhej chromatide

75. Anafázové zaostávanie je:

- a) chyba v separácii homologických chromozómov alebo sesterských chromatíd
- b) chyba v migrácii chromozómu
- c) delécia DNA segmentu na jednej chromatide
- d) duplikácia DNA segmentu na druhej chromatide

76. Medzi poruchy meiózy patrí:

- a) senescencia
- b) apoptóza
- c) nondisjunkcia
- d) nerovnomerný crossing-over

77. Telomeráza je:

- a) koncová časť chromozómu
- b) enzým, ktorý predlžuje teloméry
- c) enzým, ktorý skracuje teloméry
- d) aktívna v embryonálnych bunkách

78. Každý chromozóm v interfázovom jadre má:

- a) svoj sektor
- b) ľubovoľné umiestnenie
- c) premenlivé umiestnenie
- d) svoju určitú polohu zabezpečenú jeho väzbou s jadrovou laminou

79. Ktoré bunky patria medzi haploidné?

- a) zygoty
- b) gaméty
- c) pohlavné bunky
- d) vajíčka a spermie

80. Ako sa nazývajú identické kópie chromatínu, ktoré drží pohromade kohezín v centromére?

- a) históny
- b) nukleozómy
- c) chromatín
- d) sesterské chromatidy

81. Čo platí pre fázu G0 bunkového cyklu?

- a) predstavuje trvalé zastavenie cyklu pri všetkých bunkách
- b) bunka môže dočasne vystúpiť z cyklu
- c) je spojená s diferenciáciou buniek
- d) vždy prebieha bezprostredne po mitóze

82. Ktoré procesy charakterizujú S-fázu bunkového cyklu?

- a) semikonzervatívna replikácia DNA
- b) syntéza tubulínu a centrozómov
- c) vznik sesterských chromatíd spojených kohezínmi
- d) rozdelenie cytoplazmy

83. Čo kontroluje G2/M kontrolný bod?

- a) rovnomerné pripojenie chromozómov na mikrotubuly
- b) správnu replikáciu DNA
- c) poškodenie DNA a jej opravu
- d) prítomnosť dostatočných živín pre bunku

84. Čo kontroluje G1/S kontrolný bod?

- a) veľkosť bunky
- b) správne pripojenie kinetochorov na mikrotubuly
- c) prítomnosť živín
- d) rovnomerné rozdelenie chromozómov

85. Ktoré tvrdenia vystihujú metafázový kontrolný bod?

- a) kontroluje pripojenie všetkých kinetochorov na mikrotubuly
- b) rozhoduje o vstupe do mitózy
- c) zabezpečuje rovnomerné rozdelenie chromozómov
- d) hodnotí veľkosť bunky a prítomnosť živín

Klíč k modelovým otázkám

1. SNNN	30. SNNN	59. NSNS
2. NSNN	31. NSNN	60. NSNN
3. NNSN	32. SNSN	61. NNSN
4. SNNN	33. NSNS	62. NNNS
5. NNSN	34. NSSN	63. SNNN
6. SNNN	35. SNNN	64. NSNN
7. SSSN	36. NSNN	65. NNSN
8. SNNN	37. SNNN	66. NNSN
9. NNNS	38. NSNN	67. NNNS
10. NNSN	39. NNSN	68. NNNS
11. NSNN	40. NNNS	69. NNSS
12. SSNS	41. NNNS	70. NSNN
13. SNNN	42. SSSN	71. NSNN
14. SNNN	43. SNNN	72. SSNN
15. NSNS	44. NNSS	73. NNNS
16. SNNN	45. SSNN	74. SNNN
17. SSSS	46. SSNN	75. NSNN
18. NSSN	47. SSNS	76. NNSS
19. NSSS	48. NSNS	77. NSNS
20. SSSS	49. NSSN	78. SNNS
21. NNNS	50. NNNS	79. NSSS
22. SNNN	51. SNNN	80. NNNS
23. SSNN	52. NSNN	81. NSSN
24. SSSS	53. NNNS	82. SNSN
25. SNSS	54. SNNN	83. NSSN
26. SNNN	55. NSNN	84. SNSN
27. SNNN	56. SNNN	85. SNSN
28. SNNN	57. NSNN	
29. SNNN	58. SNSN	

6 Bunkové a tkanivé kultúry. Hodnotenie základných biologických vlastností buniek

Kultivácia buniek a tkanív *in vitro* predstavuje základnú metodiku využívanú v biomedicínskych vedných disciplínach. Ide o súbor metód, ktoré umožňujú dlhodobo udržiavať a regulovať životné procesy buniek mimo organizmu za presne definovaných podmienok. Tento prístup poskytuje možnosť detailne analyzovať bunkový rast, metabolické dráhy, procesy diferenciácie a odpovede buniek na rôzne fyzikálne, chemické či biologické podnety. Súčasne má zásadný význam pre vývoj diagnostických metód, testovanie účinnosti a toxicity liečiv, skúmanie mechanizmov chorôb, ako aj pre oblasť tkanivového inžinierstva a regeneratívnej medicíny.

Primárna kultúra – vzniká priamo z tkaniva po enzymatickej alebo mechanickej disociácii. Môže byť krátkodobá (hodiny až dni) alebo dlhodobá (>10 dní). **Bunková línia** – odvodzuje sa z primárnej kultúry pasážovaním, s obmedzenou životnosťou (napr. ľudské fibroblasty ~25 pasáží). **Permanentná línia (imortalizovaná)** – má neobmedzenú schopnosť delenia, vzniká spontánne (napr. HeLa) alebo transformáciou vírusmi.

Biológia kultivovaných buniek

Správanie buniek v podmienkach *in vitro* sa výrazne odlišuje od ich správania v organizme. Dochádza k zmenám fenotypu, bunka nadobúda odlišný tvar, mení sa jej metabolizmus a modifikujú sa interakcie s okolitými bunkami a medzibunkovou hmotou (ECM). V klasických 2D kultúrach chýba priestorová organizácia a komplexná heterogenita tkanív, čo vedie k obmedzenému kontaktu bunka-bunka a bunka-ECM, často sprevádzanému stratou špecializovaných funkcií a **dediferenciáciou**. Tieto limity viedli k rozvoju trojrozmerných (3D) kultivačných systémov, ako sú bunkové agregáty, sféroidy, organoidy alebo kultivácia na biokompatibilných matriciach (skafoldoch). 3D kultúry umožňujú vytváranie priestorovej architektúry bližšej *in vivo* prostrediu, čím lepšie podporujú udržiavanie fyziologickej diferenciácie, dynamiku signálnych dráh a funkčné interakcie s ECM.

Podľa spôsobu rastu a interakcie s kultivačným substrátom sa bunkové kultúry delia na **adherentné** a **suspenzné**.

Adherencia buniek na substrát je sprostredkovaná cez integríny (väzba na kolagén, fibronektín, laminín), kadheríny, bunkové adhézne molekuly (CAMs) a transmembránové proteoglykány. Povrch kultivačných nádob sa často potahuje zložkami ECM, aby sa podporila príľnavosť. Adherentné bunky vytvárajú monovrstvu, pričom po dosiahnutí 80 – 90 % konfluencie je potrebné pasážovanie (enzymatické uvoľnenie buniek a rozdelenie do nových kultivačných nádob). Primárne bunky a bunkové línie majú však obmedzenú schopnosť delenia, známu ako

Hayflickov limit – po približne 40 – 60 deliacich cykloch dochádza k zastaveniu proliferácie v dôsledku skrátenia telomér a nástupu replikatívnej senescencie.

Suspenzné kultúry rastú voľne v kultivačnom médiu bez potreby adhézie na povrch kultivačnej nádoby. Typické sú pre hematopoetické bunky (napr. lymfocyty, leukemické bunkové línie) alebo niektoré nádorové bunky. Na ich udržiavanie je často potrebné zabezpečiť kontinuálne premiešavanie, aby sa predišlo agregácii buniek a zabezpečil rovnomerný prístup živín a kyslíka. Výhodou suspenzných kultúr je možnosť dosiahnutia vysokej hustoty buniek a jednoduché spracovanie veľkých objemov, čo sa využíva najmä v biotechnologickej a farmaceutickej výrobe. Nevýhodou je obmedzená možnosť sledovania morfológických detailov a nižšia fyziologická relevancia v porovnaní s adherentnými kultúrami.

Regulácia správania buniek je v kultúre prevažne **autokrinná a parakrinná**, preto sa médiá obohacujú o hormóny a rastové faktory. Metabolicky bunky využívajú prednostne **aeróbnu glykolýzu** (tzv. Warburgov efekt), s vysokou spotrebou glukózy. Krebsov cyklus však ostáva aktívny a dusík/uhlík poskytuje najmä glutamín alebo jeho stabilnejšie deriváty, ktoré sa pridávajú do kultivačných médií.

Úspešná kultivácia je ovplyvnená už odberom buniek alebo tkanív, neskôr je potrebné dodržať nasledovné faktory. **Sterilita** – práca v laminárnom boxe, sterilizácia nástrojov a roztokov; používanie antibiotík či antitumorkových látok. **Teplota** – pre väčšinu živočíšnych buniek optimálne okolo 37 °C. **pH a CO₂** – udržiava sa v rozmedzí 7,1 – 7,4 pomocou pufrov a CO₂ inkubátorov. **Osmotický tlak** – približne 7,6 atm, tolerancia ±10 %. Vhodné **kultivačné médium** – obsahuje vodu, soli, aminokyseliny, vitamíny, sacharidy a často sérum s rastovými faktormi. **Substrát** – pri adherentných kultúrach je to dno nádoby; pri suspenzných kultúrach samotné médium.

Priebeh kultivácie vyjadrený pomocou rastu bunkovej populácie sa znázorňuje **rastovou krivkou** so štyrmi typickými fázami. Prvou je **lag fáza**, nazývaná aj adaptačné obdobie. Bezprostredne po nasadení buniek do čerstvého kultivačného média sa bunky prispôbujú novým podmienkam. Prebieha adhézia k povrchu kultivačnej nádoby (v prípade adherentných kultúr), reorganizácia cytoskeletu a aktivácia metabolických dráh. Mitotická aktivita je v tomto období minimálna, preto počet buniek zostáva prakticky nemenný. Nasleduje **logaritmická (log) fáza**, počas ktorej sa bunky delia maximálnou rýchlosťou. Rast je exponenciálny – v ideálnych podmienkach sa populácia zdvojnásobuje v pravidelných intervaloch, ktoré zodpovedajú generačnému času. V tejto fáze sú bunky najviac metabolicky aktívne, vykazujú typickú morfológiu a ich reakcie na podnety sú najreprezentatívnejšie. Z tohto dôvodu sa log fáza považuje za optimálne obdobie pre experimentálne zásahy, ako je testovanie cytotoxických látok, transfekcie alebo odber vzoriek. **Stacionárna fáza (plató)** nastáva, keď sa bunky dostanú na hranicu rastového priestoru alebo vyčerpajú dostupné živiny v médiu. Pri adherentných bunkách zohráva významnú úlohu tzv. **kontaktná inhibícia** – po dosiahnutí monovrstvy sa bunky prestávajú deliť, aj keď sú ešte metabolicky aktívne. V tejto fáze sa teda rast spomalí a populácia dosahuje stabilný počet buniek. Poslednou je **degradačná fáza**, v ktorej bunky postupne odumierajú v dôsledku nedostatku živín, nahromadenia toxických metabolitov alebo

starnutia. Dochádza k prejavom senescencie a apoptózy, v pokročilom štádiu aj k nekróze. Kultúra stráca svoju experimentálnu hodnotu a je potrebné ju obnoviť pasážovaním alebo založiť novú z primárneho zdroja.

Využitie bunkových a tkanivových kultúr

Bunkové a tkanivové kultúry sa stali neoddeliteľnou súčasťou moderného biomedicínskeho výskumu a klinických aplikácií. V oblasti **virológie** umožňujú identifikáciu vírusov, štúdium ich cytopatického efektu a predstavujú kľúčový nástroj pri vývoji a výrobe vakcín. **Farmakotoxikológia** využíva kultúry na testovanie cytotoxicity nových chemických látok a liečiv, objasňovanie mechanizmov ich účinku, ako aj pri tvorbe modelov ADMET (absorpcia, distribúcia, metabolizmus, exkrécia a toxicita), ktoré sú základom pre predklinické hodnotenie bezpečnosti a účinnosti. V **humánnej genetike** predstavujú dôležitý zdroj buniek pre prípravu karyotypov, realizáciu fluorescenčnej *in situ* hybridizácie (FISH), DNA analýz a rôznych biochemických vyšetrení. **Onkologický výskum** využíva bunkové línie odvodené z biopsií pacientov na testovanie citlivosti či rezistencie na cytostatiká, ako aj na modelovanie biologického správania nádorov a hľadanie nových terapeutických stratégií. V **reprodukčnej medicíne** sa bunkové kultúry uplatňujú pri *in vitro* fertilizácii a následnej kultivácii embryí, čím vytvárajú základ pre asistovanú reprodukciu. Mimoriadne dynamicky sa rozvíja aj oblasť **tkanivového inžinierstva a regeneratívnej medicíny**, kde sa kultúry využívajú pri tvorbe náhrad kože, chrupky, kostného a mäkkého tkaniva, a to s využitím rôznych typov kmeňových buniek vrátane indukovaných pluripotentných kmeňových buniek, ktoré otvárajú cestu k personalizovaným modelom ochorení a k novým terapeutickým možnostiam.

Hodnotenie základných biologických vlastností buniek

Hodnotenie základných biologických vlastností buniek predstavuje nevyhnutný krok pri ich využití v experimente aj v klinických aplikáciách. Medzi kľúčové parametre patrí stanovenie životaschopnosti a cytotoxicity, ktoré umožňujú posúdiť, či bunky v kultúre prežívajú a do akej miery sú poškodené. Na tento účel sa používajú viaceré prístupy založené na rozdielnych biologických princípoch.

Testy integrity membrány skúmajú zachovanie selektívnej priepustnosti bunkovej membrány. Klasickým príkladom je „**trypan blue exclusion test**“. Živé bunky s neporušenými bunkovými membránami aktívne vylučujú farbivo a zostávajú neofarbené, zatiaľ čo mŕtve bunky s narušenou membránou sa zafarbia na modro. Nevýhodou tejto metódy je subjektívnosť a nižšia citlivosť, čo sa dá prekonať využitím fluorescenčných farbív (napr. propidium jodid alebo SYTOX Green), ktoré umožňujú presnejšie vyhodnotenie viability.

Druhou významnou skupinou sú **metabolické testy**, ktoré hodnotia aktivitu mitochondriálnych enzýmov ako ukazovateľ vitálnych funkcií. Najčastejšie používaný je **MTT test**, pri ktorom dochádza k redukcii žltého tetrazoliového substrátu na nerozpustný fialový formazan, následne rozpustený a kvantifikovaný spektrofotometricky. Alternatívou je **Alamar Blue test**, založený

na redukcii resazurínu živými bunkami na fluorescenčný rezorufín, ktorý umožňuje citlivé, neinvazívne a opakovateľné sledovanie metabolickej aktivity v reálnom čase.

Tretím prístupom je **detekcia úniku intracelulárnych markerov** do kultivačného média v dôsledku poškodenia bunkovej membrány. Najpoužívanejší je **LDH test**, ktorý zisťuje prítomnosť enzýmu laktátdehydrogenázy uvoľnenej z poškodených buniek. Stanovenie sa vykonáva kolorimetricky alebo fluorometricky.

V posledných rokoch sa uplatňujú aj moderné technológie, ktoré poskytujú komplexnejšiu a presnejšiu analýzu. **Prietoková cytometria** umožňuje rýchlu, kvantitatívnu a viacparametrickú analýzu životaschopnosti, apoptózy či bunkového cyklu na úrovni jednotlivých buniek. **Konfokálna mikroskopia** živých buniek poskytuje detailné informácie o dynamických zmenách morfológie, membránového potenciálu alebo apoptotických procesov v reálnom čase. **Impedančné systémy** (napr. xCELLigence, ECIS) sledujú rast, proliferáciu a cytotoxické účinky neinvazívne na základe zmien elektrického odporu, čím umožňujú kontinuálne monitorovanie kultúr bez potreby farbenia.

Kombináciou klasických a moderných prístupov možno získať komplexný obraz o stave buniek, ich proliferácii, metabolickej aktivite a odpovedi na rôzne fyzikálne, chemické či biologické podnety. Takto získané dáta sú nevyhnutné nielen pre správnu interpretáciu experimentálnych výsledkov, ale aj pre preklad do klinických a biotechnologických aplikácií, vrátane vývoja nových liečiv, biomateriálov a personalizovaných terapeutických stratégií.



Modelové otázky

1. Adherenciu buniek na substrát sprostredkávajú najmä:

- a) integríny
- b) kadheríny
- c) CAMs
- d) povrch potiahnutý kolagénom/fibronektínom zlepšuje adherenciu

2. Bunková kultúra:

- a) je populácia buniek, ktorá proliferuje *in vitro*
- b) je populácia buniek, ktorá proliferuje *in vivo*
- c) je organizovaná ako tkanivo
- d) nie je organizovaná ako tkanivo

3. Bunková kultúra:

- a) predstavuje populáciu buniek, ktoré proliferujú *in vitro* a nie sú organizované ako tkanivo
- b) môže byť adherentná alebo suspenzná
- c) sa využíva pri *in vitro* fertilizácii
- d) jej priebeh možno znázorniť Gaussovou krivkou

4. Bunková línia:

- a) je organizovaná ako tkanivo
- b) je zjednodušená a zmenšená verzia orgánu *in vitro*
- c) je populácia buniek, ktorá vznikla opakovanými pasážami buniek z primokultúry
- d) má využitie v biomedicínskom výskume

5. Bunkové kultúry sa využívajú:

- a) vo farmakotoxikológii
- b) pri *in vitro* fertilizácii
- c) v humánnej genetike
- d) v tkanivovom inžinierstve

6. Bunkovú kultúru môžeme založiť z:

- a) baktérií
- b) prokaryotov
- c) ľudských tkanív
- d) eukaryotov

7. Explantová kultúra:

- a) je technika kultivácie využívajúca rôzne enzýmy
- b) je technika organotypickej kultivácie buniek z kúska tkaniva
- c) je prenesenie malého množstva kultivovaných buniek do novej kultivačnej nádoby
- d) zastavuje rast buniek

8. Imortalizované kultúry sa:

- a) dajú získať aj transformáciou buniek rôznymi baktériami
- b) používajú v cytogenetickej diagnostike
- c) nepoužívajú pri *in vitro* fertilizácii
- d) používajú v toxikológii

9. Imortalizované kultúry:

- a) sa dajú získať aj transformáciou buniek rôznymi vírusmi
- b) sa používajú v toxikológii
- c) sa používajú pri analýze genotoxicity vybraných látok
- d) sa používajú pri kultivácii oplodnených vajíčok

10. Krátkodobé kultúry:

- a) sa kultivujú 24 hodín alebo maximálne niekoľko dní
- b) sa nepoužívajú v cytogenetike
- c) sa kultivujú viac než 10 dní
- d) môžu byť s vysokou spontánnou mitotickou aktivitou (napr. bunky kostnej drene)

11. Ktoré z nasledujúcich patria medzi významné využitia kultivácie buniek u človeka?

- a) príprava karyologických preparátov pre cytogenetickú analýzu
- b) testovanie citlivosti nádorových buniek na cytostatiká
- c) *in vitro* fertilizácia („oplodnenie v skúmavke“)
- d) príprava DNA vakcín v baktériách

12. Ktoré z nasledujúcich tvrdení najlepšie vystihuje primárnu bunkovú kultúru?

- a) vzniká priamo z tkaniva mechanickou alebo enzymatickou disociáciou buniek
- b) ide o bunkovú líniu s neobmedzenou deliacou schopnosťou
- c) je vždy neadherentná
- d) vzniká výlučne zo suspenzných buniek

13. Ktorý faktor má najväčší vplyv na úspešnú adhérenciu buniek pri ich prvotnej kultivácii?

- a) prítomnosť antibiotík v médiu
- b) zloženie kultivačného média a typ povrchu nádoby
- c) dĺžka centrifugácie po odobratí vzorky
- d) tvar kultivačnej banky

14. Na zabezpečenie sterilných podmienok počas manipulácie s bunkovou kultúrou sa používa:

- a) laminárny box s UV lampou a laminárnym prúdením vzduchu
- b) vodný kúpeľ
- c) mikroskop s vyhrievaným stolíkom
- d) ultrazvuková sterilizácia média

15. Na zabránenie kontaminácie bunkovej kultúry sa používa:

- a) fetálne kravské sérum
- b) streptomycín, penicilín
- c) amfotericín
- d) trypsín

16. Optimálne podmienky pre kultiváciu živočíšnych buniek zahŕňajú:

- a) ~37 °C
- b) pH ~7,1 – 7,4
- c) 0 % CO₂ v inkubátore
- d) osmolalitu v tolerancii cca ±10 %

17. Organoidy:

- a) zastavujú rast buniek
- b) sa využívajú na vytváranie bunkových modelov ochorení
- c) majú využitie v personalizovanej medicíne
- d) sú zjednodušené a zmenšené verzie orgánov kultivovaných 3D *in vitro*

18. Pasážovanie buniek:

- a) zabránuje senescencii kultivovaných buniek
- b) je prenesenie malého množstva kultivovaných buniek do novej kultivačnej nádoby
- c) zastavuje rast buniek
- d) je spôsobené častým vymieňaním kultivačného média

19. Permanentná bunková línia:

- a) je populácia buniek, ktorá sa môže neobmedzene deliť
- b) je populácia buniek, ktorá vznikla napr. z biopsie malígneho nádorového tkaniva
- c) je zjednodušená a zmenšená verzia orgánu *in vitro*
- d) nazýva sa aj imortalizovaná bunková línia

20. Plató fáza priebehu kultivácie buniek:

- a) sa nazýva aj stacionárna fáza
- b) je fáza, kedy sa bunky adaptujú na podmienky *in vitro*
- c) je fáza množenia buniek
- d) je fáza, kde bunky v kultúre prežívajú ale už sa nedelia

21. Tkanivová kultúra:

- a) sú proliferujúce bunky alebo tkanivá v kultivačnom médiu mimo organizmu
- b) je populácia buniek, ktorá proliferuje *in vivo*
- c) zastavuje rast buniek
- d) je organizovaná ako tkanivo

22. Ktoré molekuly sa podieľajú na sprostredkovaní adherencie buniek na substrát?

- a) integríny
- b) kadheríny
- c) cytokíny
- d) bunkové adhézne molekuly (CAMs)

23. Ktoré tvrdenia o Hayflickovom limite sú správne?

- a) týka sa primárnych buniek a bunkových línií
- b) predstavuje obmedzený počet delení v dôsledku skracovania telomér
- c) popisuje neobmedzenú schopnosť delenia imortalizovaných línií
- d) zodpovedá približne 40 – 60 bunkovým deliacim cyklom

24. Čo platí o kontaktnej inhibícii bunkového rastu?

- a) ide o mechanizmus, pri ktorom sa delenie zastaví po dosiahnutí monovrstvy a vzájomného kontaktu buniek
- b) je typická pre normálne adherentné bunky v kultúre
- c) nádorové bunky tento mechanizmus často strácajú
- d) v suspenzných kultúrach je hlavnou príčinou zastavenia delenia kontakt bunka-bunka

25. Čo je potrebné zabezpečiť pri udržiavaní suspenzných kultúr?

- a) kontinuálne premiešavanie
- b) rovnomerný prístup živín a kyslíka
- c) potiahnutie dna kultivačnej nádoby kolagénom
- d) zamedzenie agregácie buniek

26. Ktoré metabolické charakteristiky sú typické pre bunky v kultúre?

- a) prednostné využívanie aeróbnej glykolýzy (Warburgov efekt)
- b) vysoká spotreba glukózy
- c) neaktívny Krebsov cyklus
- d) využívanie glutamínu alebo jeho derivátov ako zdroja dusíka a uhlíka

27. Log fáza priebehu kultivácie buniek:

- a) je fáza, kde bunky v kultúre prežívajú ale už sa nedelia
- b) je fáza množenia buniek
- c) je fáza, kedy sa bunky adaptujú na podmienky *in vitro*
- d) sa nazýva aj stacionárna fáza

28. Vitálne farbenie:

- a) sa používa pri farbení natívnych preparátov
- b) sa používa po farbení fixovaných preparátov
- c) umožňuje hodnotiť viabilitu buniek
- d) umožňuje archiváciu preparátov

29. Alamar blue test je založený na:

- a) redukcii resazurínu na fluorescenčný rezorufín v metabolicky aktívnych bunkách
- b) degradácii LDH pri poškodení membrány
- c) absorpcii Trypánovej modrej do živých buniek
- d) nešpecifickej redukcii kryštálov formazánu

30. Ako funguje test MTT?

- a) kvalitatívny test merajúci integritu membrány na odlíšenie živých a mŕtvych buniek
- b) citlivý test s lineárnym vzťahom medzi aktivitou buniek a absorbanciou
- c) MTT je redukovaný mitochondriálnou reduktázou a vznikajú kryštály formazánu
- d) kvalitatívny test založený na nešpecifickej enzymatickej redukcii resazurínu

31. Aký je hlavný rozdiel medzi LDH testom a farbením trypánovou modrou?

- a) LDH test je založený na úniku intracelulárneho enzýmu pri poškodení membrány
- b) trypánová modrá hodnotí metabolickú aktivitu mitochondrií
- c) LDH test je fluorescenčný alebo kolorimetrický, trypánová modrá len kolorimetrická
- d) trypánová modrá poskytuje kvantitatívne výsledky nezávislé od subjektivity

32. LDH test:

- a) umožňuje stanovenie miery bunkovej smrti
- b) sa používa na meranie markerov úniku z cytoplazmy
- c) umožňuje určiť kinetiku proliferácie buniek
- d) je kolorimetrický alebo fluorometrický test

33. Prečo sa odporúča používať kombináciu viacerých testov cytotoxicity?

- a) rôzne testy hodnotia odlišné aspekty bunkovej životaschopnosti (membrána, metabolizmus, únik markerov)
- b) každý test je absolútne presný a stačí ho použiť samostatne
- c) kombinácia zvyšuje spoľahlivosť a objektivitu výsledkov
- d) väčšina testov je lacná, preto sa používajú naraz

34. Ktoré metódy patria medzi metabolické testy životaschopnosti buniek?

- a) MTT test
- b) LDH test
- c) Alamar blue test
- d) Trypan blue exclusion test

35. Aké výhody má Alamar Blue test oproti MTT testu?

- a) je neinvazívny
- b) umožňuje opakované merania v reálnom čase
- c) je založený na fluorescenčnom signáli
- d) vyžaduje usmrtenie buniek

36. Čo zisťuje LDH test?

- a) aktivitu mitochondriálnych enzýmov
- b) množstvo DNA v bunke
- c) prítomnosť laktátdehydrogenázy uvoľnenej z poškodených buniek
- d) apoptotické fragmenty membrány

37. Ktoré moderné technológie sa používajú pri hodnotení životaschopnosti buniek?

- a) prietoková cytometria
- b) konfokálna mikroskopia živých buniek
- c) impedančné systémy
- d) Western blot

38. Čo je výhodou impedančných systémov?

- a) umožňujú neinvazívne a kontinuálne sledovanie rastu buniek
- b) vyžadujú farbenie vitálnymi farbivami
- c) sú založené na zmene elektrického odporu
- d) poskytujú len jednorazové údaje

39. Aké informácie poskytuje konfokálna mikroskopia živých buniek?

- a) dynamické zmeny bunkovej morfológie
- b) zmeny membránového potenciálu
- c) detekciu apoptotických procesov
- d) len konečný obraz fixovaných buniek

40. Prečo sa kombinuje viacero testov hodnotenia životaschopnosti?

- a) každý test zachytáva iný aspekt bunkovej viability
- b) získava sa komplexnejší obraz o stave buniek
- c) znižuje sa riziko falošne negatívnych/pozitívnych výsledkov
- d) pretože jednotlivé testy nie je možné použiť samostatne

41. Ktoré faktory sa často pridávajú do kultivačných médií na podporu rastu a viability buniek?

- a) hormóny
- b) rastové faktory
- c) antibiotiká
- d) vitamíny a stopové prvky

42. Aký je hlavný ukazovateľ vitálnych funkcií v metabolických testoch?

- a) integrita membrány
- b) aktivita mitochondriálnych enzýmov
- c) hladina intracelulárneho Ca^{2+}
- d) počet jadier buniek

43. Aké sú limity použitia „trypan blue exclusion testu“?

- a) nedokáže rozlíšiť apoptotické bunky od živých
- b) hodnotenie je subjektívne
- c) vyžaduje drahé prístroje
- d) má nižšiu citlivosť v porovnaní s fluorescenčnými metódami

44. Čo umožňuje prietoková cytometria pri hodnotení buniek?

- a) rýchlu kvantitatívnu analýzu
- b) viacparametrické merania na jednej bunke
- c) analýzu životaschopnosti a apoptózy
- d) sledovanie rastu celých tkanivových štruktúr

45. Ktoré metódy umožňujú kontinuálne monitorovanie bunkovej proliferácie bez farbenia?

- a) impedančné systémy
- b) Trypan blue exclusion test
- c) konfokálna mikroskopia
- d) LDH test

46. Čo charakterizuje trojrozmerné kultivačné systémy v porovnaní s klasickými 2D kultúrami?

- a) lepšie napodobňujú *in vivo* prostredie
- b) nedokážu podporovať diferenciáciu
- c) sú vždy krátkodobé
- d) neumožňujú interakcie s ECM

47. Ktorý jav obmedzuje počet delení primárnych buniek a buniek línií?

- a) apoptóza
- b) Hayflickov limit
- c) autofágia
- d) Warburgov efekt

48. Čo je typické pre suspenzné kultúry buniek?

- a) potrebujú adhérenciu na povrch kultivačnej nádoby
- b) rastú voľne v médiu
- c) nevyžadujú prísun živín a kyslíka
- d) sú využiteľné len v genetike

49. Aký je hlavný dôvod pasážovania adherentných buniek?

- a) zvýšenie pH média
- b) dosiahnutie konfluencie 80 – 90 %
- c) odstránenie starých buniek apoptózou
- d) inhibícia kontaktu buniek s ECM

50. Ktorý metabolit sa najčastejšie pridáva do kultivačných médií ako zdroj dusíka a uhlíka?

- a) glukóza
- b) alanín
- c) glutamín
- d) laktát

51. Čo vyjadruje lag fáza rastovej krivky bunkovej kultúry?

- a) maximálnu mitotickú aktivitu
- b) adaptáciu buniek a nízku mitotickú aktivitu
- c) začiatok degradácie a senescencie
- d) zastavenie delenia kontaktnou inhibíciou

52. Ktorá vlastnosť je charakteristická pre Warburgov efekt?

- a) prevaha aeróbnej glykolýzy aj pri prítomnosti kyslíka
- b) blokovanie Krebsovho cyklu
- c) využívanie mastných kyselín ako hlavného zdroja energie
- d) aktivácia len v suspenzných kultúrach

53. Ktorý test meria aktivitu mitochondriálnych enzýmov redukciou tetrazoliových solí?

- a) LDH test
- b) MTT test
- c) Trypan blue
- d) PCR test

54. Aké riziko sprevádza prácu s permanentnými bunkovými líniami?

- a) krátka životnosť kultúry
- b) spontánna diferenciácia na špecializované bunky
- c) akumulácia genetických zmien a odchýlok od pôvodného fenotypu
- d) neschopnosť rastu vo väčších objemoch

55. Ktorý prístup je založený na sledovaní zmien elektrického odporu bunkovej vrstvy počas rastu a proliferácie?

- a) Western blot
- b) MTT test
- c) FISH
- d) impedančné systémy

Klíč k modelovým otázkám

1. SNNS	20. SNNS	39. SSSN
2. SNNS	21. SNNS	40. SSSN
3. SSSN	22. SSNS	41. SSNS
4. NSSS	23. SSNS	42. NSNN
5. SSSS	24. SSSN	43. SSNS
6. SSSS	25. SSNS	44. SSSN
7. NSNN	26. SSNS	45. SNNN
8. NSSS	27. NSNN	46. SNNN
9. SSSN	28. SNSN	47. NSNN
10. SNNS	29. SNNN	48. NSNN
11. SSSN	30. NNSN	49. NSNN
12. SNNN	31. SNSN	50. NNSN
13. NSNN	32. SSNS	51. NSNN
14. SNNN	33. SNSN	52. SNNN
15. NSSS	34. SNSN	53. NSNN
16. SSNS	35. SSSN	54. NNSN
17. NSSS	36. NNSN	55. NNNS
18. NSNN	37. SSSN	
19. SSNS	38. SNSN	

7 Bunková smrť

Apoptóza je geneticky riadený proces programovanej bunkovej smrti, ktorý predstavuje kľúčový mechanizmus udržiavania homeostázy tkanív. Prebieha fyziologicky počas embryonálneho vývoja, regenerácie a obnovy tkanív a zároveň slúži ako ochranný mechanizmus pred bunkami poškodenými, dysfunkčnými alebo ohrozenými malignou transformáciou. Na rozdiel od **nekrózy**, ktorá predstavuje patologický a zápalom sprevádzaný zánik buniek spojený s autolýzou, je apoptóza prísne regulovaná a nevyvoláva zápalovú reakciu. Počas apoptózy dochádza k postupnému zmenšovaniu bunky, kondenzácii chromatinu a zmršťovaniu jadra (**pyknóza**), zatiaľ čo cytoplazma sa stáva hustejšou. Bunková membrána zostáva intaktná, no odškrcujú sa z nej malé časti – tzv. **apoptotické telieska**, ktoré sú následne rýchlo pohltené fagocytmi alebo susednými bunkami.

Funkcie apoptózy možno zhrnúť do dvoch hlavných oblastí. Fyziologická **smrť buniek** – ukončenie životnosti, selekcia počas vývoja imunity a embryogenézy. **Ochrana organizmu** – eliminácia buniek ohrozených malignitou alebo cudzorodých elementov.

Apoptóza má zásadný význam pre správnu remodeláciu štruktúr v embryonálnom štádiu. Nerovnováha medzi proliferáciou a apoptózou vedie k **vrodeným vývojovým chybám**.

Apoptóza sa spúšťa dvoma hlavnými cestami – exogénnou a endogénnou. **Exogénna dráha** je iniciovaná väzbou špecifických signálnych molekúl na tzv. receptory smrti, medzi ktoré patria Fas receptor alebo receptory pre TNF (tumor necrosis factor). Po ich aktivácii dochádza k oligomerizácii receptorov, náboru adaptorových proteínov (napr. FADD – Fas-associated death domain) a aktivácii iniciačnej kaspázy 8, ktorá následne spúšťa kaskádu efektorových kaspáz (najmä kaspázy 3, 6 a 7), zodpovedných za morfológické a biochemické prejavy apoptózy.

Endogénna dráha vychádza z vnútorných poškodení bunky, ako sú mutácie DNA, oxidačný stres, hypoxia či skracovanie telomér. Ústrednú úlohu zohráva proteín p53, ktorý funguje ako „strážca genómu“. Aktivuje transkripciu proapoptotických členov rodiny Bcl-2 (napr. Bax, Bak), čím dochádza k permeabilizácii mitochondriálnej membrány a uvoľneniu cytochrómu c. Ten sa v cytoplazme viaže na Apaf-1 (apoptotic protease activating factor-1) a spolu s ATP tvorí **apoptozóm**, ktorý následne aktivuje iniciačnú kaspázu 9. Aj táto dráha potom konverguje na efektorové kaspázy, ktoré zabezpečujú degradáciu bunkových štruktúr.

Osobitným mechanizmom je **apoptóza vyvolaná stresom** v endoplazmatickom retikule, ktorá nastáva pri akumulácii nesprávne poskladaných proteínov alebo toxických metabolitov. V tejto dráhe zohráva úlohu prokaspáza 12 (u človeka jej funkciu zastupujú iné kaspázy, najmä kaspáza 4 a 5), ktorá po aktivácii takisto spúšťa kaspázovú kaskádu vedúcu k apoptotickej smrti.

Napriek odlišným iniciačným signálom všetky apoptotické dráhy konvergujú na spoločnú efektorovú kaskádu, ktorej výsledkom je charakteristický fenotyp apoptózy – fragmentácia DNA, kondenzácia chromatinu, tvorba apoptotických teliesok a ich následná fagocytóza bez vyvolania zápalovej odpovede.

Autofágia je proces, pri ktorom sa bunka rozkladá a recykluje svoje vlastné poškodené alebo nepotrebné organely a makromolekuly. Je to predovšetkým **mechanizmus prežitia**, ktorý sa aktivuje pri nedostatku živín, stresových podmienkach či hromadení chybných proteínov. Prebieha vytvorením dvojmembránového vaku – **autofagozómu**, ktorý obalí poškodené štruktúry a splynie s lyzozómom za vzniku **autolyzozómu**. V ňom dochádza k degradácii obsahu hydrolytickými enzýmami. Recyklované produkty (aminokyseliny, mastné kyseliny, nukleotidy) sa vracajú späť do metabolizmu bunky.

Autofágia má význam pre **udržiavanie homeostázy**, obranu proti intracelulárnym patogénom a reguláciu bunkového cyklu. Poruchy autofágie sú spojené s neurodegeneratívnymi ochoreniami (napr. Alzheimerova a Parkinsonova choroba), nádorovým bujnením a metabolickými poruchami.

Nekróza je pasívny a vždy patologický proces smrti buniek, ktorý vzniká v dôsledku ťažkého poškodenia. Na rozdiel od apoptózy nejde o geneticky programovaný mechanizmus, ale o dôsledok závažného stresu, nedostatku energie alebo vonkajších nox. Typickým znakom je opuch bunky, prasknutie membrány a únik vnútrobunkového obsahu, čo vyvoláva zápalovú reakciu v okolí. K nekróze vedú rôzne podnety – ischémia, hypoxia, toxické látky, infekcie, autoimunitné poškodenie alebo mechanická trauma.

Okrem klasickej apoptózy a nekrózy bolo v posledných desaťročiach identifikovaných viacero ďalších typov regulovanej bunkovej smrti, ktoré sa líšia mechanizmom, morfológickými prejavmi a biologickým významom. Vybrané z nich sú zhrnuté v nasledujúcej tabuľke.

Typ bunkovej smrti	Mechanizmus	Morfologické znaky	Príklady / Význam
Pyroptóza	Aktivácia inflammasómu → kaspáza 1, 4, 5, 11 → uvoľnenie IL-1 β , IL-18	Opuch bunky, tvorba pórov v membráne, lýza, zápalová odpoveď	Obrana proti intracelulárnym patogénom (<i>Salmonella</i> , <i>Shigella</i>)
Nekroptóza	Aktivácia RIPK1, RIPK3, fosforylácia MLKL → permeabilizácia membrány	Opuch a lýza bunky, uvoľnenie obsahu, zápal	Alternatívna cesta smrti pri blokade apoptózy, imunologická signalizácia
Ferroptóza	Akumulácia lipidových peroxidov, zlyhanie GPX4, Fe ²⁺ -dependentný oxidačný stres	Zmenšenie mitochondrií, zvýšená denzita, absencia klasických znakov apoptózy	Neurodegeneratívne ochorenia, ischemicko- reperfúzne poškodenie

Anoikis	Strata kontaktu bunky s ECM → aktivácia apoptotických dráh	Typické znaky apoptózy (pyknóza, apoptotické telieska)	Prevenia kolonizácie buniek mimo pôvodného tkaniva; jej potlačenie podporuje metastázy
Netóza (NETosis)	Aktivácia neutrofilov → degranulácia a uvoľnenie jadrovej DNA + proteínov → tvorba extracelulárnych pascí (NETs)	Rozpad jadra, dezintegrácia membrány, uvoľnenie chromatinu a antimikrobiálnych proteínov	Antimikrobiálna obrana (baktérie, huby, vírusy); patologicky pri autoimunitných ochoreniach (lupus, RA)



Modelové otázky

1. Aké sú základné mechanizmy navodenia apoptózy?

- a) cez mitochondriálnu „dráhu“
- b) stresová cesta cez Golgiho aparát
- c) cez „receptor smrti“
- d) cez lyzozómovú „dráhu“

2. Akú funkciu má apoptóza v organizme?

- a) podporuje rast svalov
- b) chráni bunky pred UV žiarením
- c) odstraňuje poškodené alebo nepotrebné bunky
- d) produkuje energiu pre bunku

3. Apoptóza je:

- a) programovaná bunková smrť
- b) tichá bunková smrť
- c) iný názov pre nekrózu
- d) fyziologická smrť bunky

4. Apoptóza hrá kľúčovú úlohu pri:

- a) prevencii tvorby nádorov
- b) produkcii ATP pre bunkový metabolizmus
- c) syntéze proteínov
- d) akumulácii bunkového odpadu

5. Apoptóza je primárne charakterizovaná:

- a) zmrštením bunky a fragmentáciou DNA
- b) nekontrolovaným opuchom bunky
- c) zápalom a imunitnou odpoveďou
- d) fagocytózou poškodených organel

6. Apoptóza má kľúčový význam pri vývoji:

- a) srdca
- b) prstov
- c) čreva
- d) mozgu

7. Apoptóza sa líši od nekrózy tým, že:

- a) apoptóza nie je sprevádzaná zápalom
- b) nekróza zahŕňa fagocytózu
- c) apoptóza nie je regulovaná
- d) nekróza je často spôsobená traumou

8. Autofágia je typicky aktivovaná v reakcii na:

- a) nedostatok živín
- b) prebytok energie
- c) prítomnosť apoptotických buniek
- d) zvýšenú hladinu kyslíka

9. Autofágia môže viesť k bunkovej smrti, ak:

- a) sa stane nadmerne aktívnou
- b) hladiny ATP sú vysoké
- c) aktivita kaspáz je nízka
- d) lyzozómy sú neaktívne

10. Autofágia slúži na:

- a) recykláciu bunkových komponentov
- b) spustenie delenia buniek
- c) náhodnú degradáciu proteínov
- d) tvorbu energetických zásob mimo bunky

11. Hlavné funkcie apoptózy:

- a) programovaná bunková smrť pri selekcii buniek
- b) riadená bunková smrť pri ochrane mnohobunkového organizmu pred rizikovými bunkami
- c) programovaná bunková smrť pri ukončení „životnosti“ bunky
- d) programovaná bunková smrť počas embryogenézy

12. Kaspázy:

- a) môžu byť nevýkonné enzýmy
- b) patria medzi proteázy
- c) sa v cytoplazme vyskytujú ako inaktívne pro-kaspázy
- d) môžu byť výkonné

13. Kľúčové proteíny podieľajúce sa na iniciácii apoptózy sú:

- a) kaspázy
- b) ATG proteíny
- c) p53
- d) chaperóny

14. Ktorá štruktúra je zodpovedná za samotnú degradáciu bunkového obsahu počas autofágie?

- a) autolyzozóm
- b) fagozóm
- c) peroxizóm
- d) autofagozóm

15. Ktorá z nasledujúcich dráh je spojená s apoptózou?

- a) glukoneogenéza
- b) dráha MAPK
- c) dráha receptorov smrti
- d) glykolýza

16. Ktoré morfológické znaky sú typické pre nekrózu?

- a) zmršťovanie bunky a fragmentácia jadra
- b) opuch bunky a prasknutie membrány
- c) vznik dvojmembránových vakuol
- d) rozpad organel a uvoľnenie obsahu bunky

17. Ktoré tvrdenia charakterizujú exogénnu aktiváciu apoptózy?

- a) spúšťa ju naviazanie signálnej molekuly na receptor smrti (napr. Fas, TNF)
- b) je vyvolaná hlavne mutáciami DNA a skracovaním telomér
- c) dochádza k aktivácii iniciátorovej kaspázy 8
- d) spúšťa ju uvoľnenie cytochrómu c z mitochondrií

18. Ktoré tvrdenia o autofágii platia?

- a) je to proces recyklácie bunkových organel a makromolekúl
- b) prebieha vytvorením autofagozómov a ich splynutím s lyzozómami
- c) je sprevádzaná vždy výraznou zápalovou reakciou
- d) je typickým znakom patologickej bunkovej smrti

19. Ktoré tvrdenia o nekróze sú správne?

- a) ide o programovanú bunkovú smrť riadenú kaspázami
- b) je spojená so zápalovou reakciou v okolí
- c) vzniká pri poškodení bunky hypoxiou alebo toxínmi
- d) je charakterizovaná tvorbou apoptotických teliesok

20. Medzi hlavné kaspázy patria:

- a) kaspáza 3
- b) kaspáza 8
- c) kaspáza 9
- d) kaspáza 6

21. Medzi hlavné proteíny apoptózy patria:

- a) kaspázy
- b) albumín
- c) Apaf-1
- d) Bax

22. Morfologické prejavy typické pre apoptózu:

- a) denzná agregácia chromatínu na jadrovú membránu
- b) scvrkávanie sa bunky
- c) vznik apoptózových teliesok
- d) tvorba nových mitochondrií

23. Na rozdiel od apoptózy, nekróza:

- a) často vyvoláva zápal
- b) je regulovaná bunková smrť
- c) vedie k tvorbe apoptotických teliesok
- d) je výsledkom neplánovaného poškodenia buniek

24. Na rozdiel od apoptózy, nekróza je:

- a) rýchly a nekontrolovaný proces
- b) spojená s fagocytózou buniek
- c) závislá na energii
- d) typicky spojená s aktiváciou imunitnej odpovede

25. Nekróza je:

- a) náhodná forma bunkovej smrti
- b) proces vyvolaný vonkajším zranením
- c) podobná apoptóze
- d) kontrolovaný mechanizmus bunkovej smrti

26. Nekrózu môže spustiť:

- a) extrémne zmeny teploty
- b) nedostatok živín
- c) genetické mutácie
- d) toxické látky

27. Plazmatická membrána bunky počas apoptózy:

- a) zostáva neporušená až do neskorších fáz
- b) okamžite sa roztrhne
- c) absorbuje viac lipidov
- d) spája sa so susednými bunkovými membránami

28. Poškodené organely sú v dráhe autofágie dopravené do:

- a) jadra
- b) lyzozómov
- c) Golgiho aparátu
- d) mitochondrií

29. Pri ktorých procesoch má apoptóza zásadný význam počas embryogenézy?

- a) remodelácia srdcových priehradiek
- b) aktivácia lyzozómov pri vývoji čreva
- c) formovanie prstov končatín
- d) prenos génovej informácie medzi neurocytmi

30. Pri procese nekrózy bunky:

- a) strácajú integritu membrány
- b) podstupujú kontrolovaný rozpad
- c) fragmentujú sa na apoptotické telieska
- d) vylievajú svoj obsah, čo spôsobuje poškodenie tkaniva

31. Primárny rozdiel medzi apoptózou a autofágiou je:

- a) apoptóza vedie k bunkovej smrti, zatiaľ čo autofágia môže podporovať prežitie bunky
- b) autofágia vždy vyvoláva zápal
- c) apoptóza sa deje iba počas embryonálneho vývoja
- d) autofágia nezahŕňa lyzozómy

32. Typické znaky nekrózy zahŕňajú:

- a) opuch bunky
- b) zmrštenie bunky
- c) roztrhnutie membrány
- d) uvoľnenie bunkového obsahu do okolitých tkanív

33. Ktoré tvrdenie o pyroptóze je správne?

- a) je sprostredkovaná inflammasómom
- b) aktivuje kaspázy 1, 4, 5 a 11
- c) prebieha bez zápalovej odpovede
- d) má význam pri obrane proti intracelulárnym patogénom

34. Aké sú charakteristické znaky nekroptózy?

- a) aktivácia kináz RIPK1 a RIPK3
- b) fosforylácia proteínu MLKL
- c) úplná absencia zápalovej odpovede
- d) alternatívna cesta bunkovej smrti pri zablokovanej apoptóze

35. Ktoré morfológické zmeny sú typické pre ferroptózu?

- a) zmenšenie mitochondrií
- b) zvýšená denzita mitochondriálnej matrice
- c) fragmentácia DNA ako pri apoptóze
- d) absencia klasických znakov apoptózy

36. Čo charakterizuje anoikis?

- a) je vyvolaný stratou kontaktu bunky s extracelulárnou matrix
- b) prebieha cez aktiváciu apoptotických dráh
- c) predstavuje variant nekrózy
- d) jeho potlačenie napomáha metastázovaniu

37. Čo sa deje počas netózy (NETosis)?

- a) aktivujú sa neutrofily
- b) dochádza k uvoľneniu jadrovej DNA a proteínov
- c) vznikajú extracelulárne pasce (NETs)
- d) proces prebieha bez dezintegrácie bunkovej membrány

38. Čo je typické pre exogénnu dráhu apoptózy?

- a) aktivácia receptorov smrti (Fas, TNF receptory)
- b) oligomerizácia receptorov a nábor adaptorových proteínov (FADD)
- c) aktivácia iniciačnej kaspázy 8
- d) uvoľnenie cytochrómu c z mitochondrií

39. Aké poškodenia môžu aktivovať endogénnu dráhu apoptózy?

- a) mutácie DNA
- b) oxidačný stres
- c) hypoxia
- d) kontakt s TNF receptorom

40. Akú úlohu zohráva proteín p53 v endogénnej dráhe apoptózy?

- a) funguje ako „strážca genómu“
- b) aktivuje transkripciu proapoptotických členov rodiny Bcl-2
- c) stabilizuje mitochondriálnu membránu
- d) zabraňuje permeabilizácii mitochondrií

41. Čo je apoptozóm a akú má funkciu?

- a) komplex cytochrómu c, Apaf-1 a ATP
- b) aktivuje iniciačnú kaspázu 9
- c) je výsledkom aktivácie receptorov smrti
- d) riadi expresiu génov Bcl-2

42. Ktoré kaspázy patria medzi efektorové kaspázy?

- a) kaspáza 3
- b) kaspáza 6
- c) kaspáza 7
- d) kaspáza 9

43. Čo je typické pre apoptózu vyvolanú stresom v endoplazmatickom retikule?

- a) akumulácia nesprávne poskladaných proteínov
- b) aktivácia prokaspázy 12 (pri hlodavcoch)
- c) u človeka sa uplatňuje najmä kaspáza 4 a 5
- d) aktivácia TNF receptorov

44. Aké sú výsledné morfológické znaky apoptózy?

- a) fragmentácia DNA
- b) kondenzácia chromatinu
- c) tvorba apoptotických teliesok
- d) rozsiahly zápal tkaniva

45. Čo majú spoločné všetky apoptotické dráhy?

- a) aktivujú spoločnú efektorovú kaspázovú kaskádu
- b) končia tvorbou apoptotických teliesok
- c) vyvolávajú zápalovú reakciu
- d) vedú k fragmentácii DNA a kondenzácii chromatinu

46. Ktorý znak odlišuje apoptózu od nekrózy?

- a) fragmentácia DNA a tvorba apoptotických teliesok
- b) opuch bunky a prasknutie membrány
- c) vždy vyvoláva zápalovú reakciu
- d) nie je geneticky programovaná

47. Ktorý proteín zohráva kľúčovú úlohu v endogénnej dráhe apoptózy?

- a) p53
- b) FADD
- c) MLKL
- d) GPX4

48. Čo je typickým znakom autofágie?

- a) aktivácia kaspázy 8
- b) vznik autofagozómu
- c) uvoľnenie IL-1 β a IL-18
- d) permeabilizácia membrány cez MLKL

49. Ktorá regulovaná forma bunkovej smrti je spojená s inflamazómom a uvoľnením IL-1 β ?

- a) netóza
- b) anoikis
- c) ferroptóza
- d) pyroptóza

50. Aký je hlavný význam anoikis?

- a) obrana proti intracelulárnym patogénom
- b) prevencia kolonizácie buniek mimo pôvodného tkaniva
- c) degradácia poškodených proteínov
- d) udržiavanie homeostázy počas vývoja

51. Ktorý mechanizmus bunkovej smrti je typicky sprevádzaný akumuláciou lipidových peroxidov a zlyhaním enzýmu GPX4?

- a) ferroptóza
- b) nekroptóza
- c) netóza
- d) autofágia

52. Aký je hlavný rozdiel medzi exogénnou a endogénnou apoptotickou dráhou?

- a) exogénna je spustená receptormi smrti, endogénna poškodením DNA alebo stresom
- b) exogénna je vyvolaná oxidačným stresom, endogénna ligandmi receptorov
- c) exogénna prebieha v lyzozómoch, endogénna v jadre
- d) exogénna vedie k nekróze, endogénna k apoptóze

53. Ktorý multiproteínový komplex sa vytvára v endogénnej apoptotickej dráhe po uvoľnení cytochrómu c z mitochondrií?

- a) apoptozóm
- b) inflammasóm
- c) proteazóm
- d) ribozóm

54. Čo je typickým znakom nekrózy, ktorý ju odlišuje od apoptózy?

- a) tvorba apoptotických teliesok
- b) fragmentácia DNA
- c) prasknutie bunkovej membrány a vyvolanie zápalu
- d) aktivácia kaspázy 9

55. Ktorý typ bunkovej smrti je typicky spojený s tvorbou extracelulárnych pascí (NETs)?

- a) netóza
- b) pyroptóza
- c) anoikis
- d) ferroptóza

Klíč k modelovým otázkám

1. SNSN	20. NSSN	39. SSSN
2. NNSN	21. SNSS	40. SSNN
3. SSNS	22. SSSN	41. SSNN
4. SNNN	23. SNNS	42. SSSN
5. SNNN	24. SNNS	43. SSSN
6. SSSS	25. SSNN	44. SSSN
7. SNNS	26. SSNS	45. SSNS
8. SNNN	27. SNNN	46. SNNN
9. SNNS	28. NSNN	47. SNNN
10. SNNN	29. SNSN	48. NSNN
11. SSSS	30. SNNS	49. NNNS
12. NSSS	31. SNNN	50. NSNN
13. SNSN	32. SNSS	51. SNNN
14. SNNN	33. SSNS	52. SNNN
15. NNSN	34. SSNS	53. SNNN
16. NSNS	35. SSNS	54. NNSN
17. SNSN	36. SSNS	55. SNNN
18. SSNN	37. SSSN	
19. NSSN	38. SSSN	

8 Nukleové kyseliny

Genetická informácia je uložená predovšetkým v DNA, pričom v RNA vírusoch je jej nositeľom RNA. Hlavnou funkciou nukleových kyselín je uchovávanie a prenos genetickej informácie, čo je zabezpečené mechanizmami replikácie, transkripcie a translácie.

Pri replikácii dochádza k presnému kopírovaniu DNA, čím sa zabezpečí prenos genetickej informácie do dcérskych buniek. Genetická informácia sa však v bunke nepoužíva priamo, najskôr sa prepisuje do podoby RNA transkriptov. RNA je molekula so špecifickou funkciou a obmedzenou životnosťou, ktorá slúži ako matrica pre syntézu konkrétnych bielkovín. Štruktúra bielkoviny je určená poradím nukleotidov v DNA, ktoré sú usporiadané do **tripletov** – **kodónov**. Konkrétne usporiadanie tripletov sa nazýva **genetický kód**. Je univerzálny, neprekrývajúci sa, tripletový a kóduje 20 bielkovinotvorných aminokyselín. Mutácie génov a poruchy genetického kódu môžu viesť k vzniku chybných bielkovín alebo k strate ich funkcie.

Zloženie nukleových kyselín

Základnou jednotkou DNA a RNA je **nukleotid**, ktorý sa skladá z dusíkatej bázy, pentózy a fosfátovej skupiny. V DNA sa nachádza cukor deoxyribóza, v RNA ribóza. Dusikaté bázy sa delia na puríny (adenín, guanín) a pyrimidíny (cytozín, tymín v DNA, uracil v RNA). Nukleotidy sú navzájom spojené **fosfodiesterovými väzbami** v smere 3' – 5'. Predlžovanie nového vlákna zabezpečuje enzým DNA polymeráza, ktorá pracuje výlučne v smere 5' → 3'. **Nukleozid** vzniká spojením dusíkatej bázy s pentózovým cukrom (ribózou alebo deoxyribózou) prostredníctvom N-glykozidovej väzby. Na rozdiel od nukleotidu neobsahuje fosfátovú skupinu, po jej pripojení sa mení na nukleotid a môže sa zapájať do tvorby DNA alebo RNA. Medzi purínové nukleozidy patrí adenozín a guanozín, zatiaľ čo medzi pyrimidínové nukleozidy sa zaraďujú cytidín, tymidín a uridín. **Chargaffovo pravidlo** hovorí, že v dvojvláknovej DNA je množstvo purínov rovné množstvu pyrimidínov. Adenín sa vždy páruje s tymínom a guanín s cytozínom. Platí teda $A = T$ a $G = C$, čo zabezpečuje stabilitu štruktúry DNA aj presnosť jej replikácie.

Štruktúra DNA

Primárna štruktúra predstavuje lineárne poradie nukleotidov. **Sekundárna štruktúra**, opísaná Watsonom a Crickom v roku 1953, má podobu dvojvláknovej antiparalelnej špirály – pravotočivého α -helixu (B-DNA). Vlákna sú stabilizované komplementaritou báz: adenín sa viaže s tymínom dvomi vodíkovými väzbami, guanín s cytozínom tromi. Kostru reťazca tvorí striedanie fosfátu a deoxyribózy, zatiaľ čo bázy sú orientované dovnútra špirály. **Terciárna štruktúra** je charakterizovaná tvorbou superspirál (supercoiling).

Konformačné typy DNA

B-DNA je najčastejšie vyskytujúca sa forma DNA, je pravotočivá, má priemer 2,37 nm, 10,5 bp na jednu otočku a dĺžku 3,4 nm na otočku. **A-DNA** je taktiež pravotočivá, vzniká pri dehydratácii organizmu, má priemer 2,6 nm, 11 bp na otočku a dĺžku 2,46 nm na otočku. **Z-DNA** je ľavotočivá, má 12 bp/otočku, dĺžka 4,56nm/otočka a je významná v regulácii expresie génov. V DNA sa nachádzajú veľké a malé žliabky (1,2 nm a 0,6 nm), do ktorých sa viažu regulačné proteíny.

Typy DNA

Jadrová DNA je organizovaná do štruktúrnych a regulačných úsekov, ktoré spolu tvoria komplexný genóm eukaryotickej bunky. Obsahuje **kódujúce oblasti**, teda štruktúrne gény zodpovedné za syntézu proteínov, ako aj gény pre rRNA a tRNA, ktoré zabezpečujú proteosyntézu. Kódujú aj iné typy RNA. Veľkú časť však tvoria aj **nekódujúce sekvencie**, medzi ktoré patria promótorové a regulačné oblasti, intróny, pseudogény a rôzne repetitívne úseky DNA.

Unikátne sekvencie predstavujú približne 60 % genómu a zahŕňajú gény kódujúce proteíny, ktoré sa väčšinou vyskytujú iba raz alebo v malej kópii. Zvyšok genómu tvoria **repetitívne sekvencie**, ktoré môžu byť usporiadané tandemovo alebo rozptýlene. **Stredne repetitívne sekvencie** zahŕňajú napríklad kópie génov pre rRNA, tRNA alebo históny, ktoré sa v bunke nachádzajú vo viacerých kópiách pre zabezpečenie vysokej potreby transkripčných produktov. **Vysoko repetitívne úseky** tvoria najmä mobilné genetické elementy a satelitná DNA. Do tejto skupiny patria napríklad **LINE prvky** (long interspersed nuclear elements), ktoré predstavujú asi 21 % ľudského genómu a **SINE prvky** (short interspersed nuclear elements), z ktorých najznámejšie sú Alu sekvencie, zastúpené približne 13 % ľudského genómu. Významný podiel zaberá aj satelitná DNA, ktorá sa delí na makrosatelity, minisatelity a mikrosatelity a je často lokalizovaná v centromerických a telomerických oblastiach chromozómov.

Repetitívne úseky DNA majú nielen štrukturálny a evolučný význam, ale aj praktické využitie. Minisatelity a mikrosatelity (VNTR – variable number of tandem repeats a STR – short tandem repeats) sa používajú v forenzej genetike a pri identifikácii jedinca, zatiaľ čo CpG ostrovčeky sú kľúčové pre reguláciu génovej expresie a štúdium epigenetických zmien. Takto je jadrová DNA nielen nositeľkou genetickej informácie, ale aj zdrojom variácií využiteľných v diagnostike, genetickom výskume a medicíne.

Mitochondriálna DNA (mtDNA) je malá kruhová dvojvláknová molekula DNA, ktorá sa nachádza v mitochondriách a dedí sa výlučne maternálne, teda od matky na potomstvo. Pri jej prenose nedochádza k rekombinácii, čo umožňuje sledovať maternálnu líniu v populáciách a využívať mtDNA v evolučných a antropologických štúdiách.

Ľudská mtDNA má približne 16,6 kb a obsahuje 37 génov: trinásť génov kóduje proteíny dýchacieho reťazca (komplexy I, III, IV a V), dva gény kódujú mitochondriálne rRNA a dvadsaťdva génov kóduje tRNA, ktoré sú potrebné pre transláciu v mitochondrii. Genóm je veľmi kompaktný, neobsahuje intróny a má len minimálne nekódujúce oblasti, pričom najvýznamnejšia je tzv. D-slučka (displacement loop), ktorá slúži ako regulačná oblasť pre replikáciu a transkripciu. Zaujímavosťou je, že mitochondrie využívajú modifikovaný genetický kód – napríklad kodón UGA, ktorý v jadrovej DNA znamená stop, v mitochondriách kóduje tryptofán.

Hoci mtDNA kóduje niektoré vlastné proteíny, väčšina proteínov potrebných pre funkciu mitochondrií je kódovaná jadrovým genómom a transportovaná do mitochondrie po syntéze v cytoplazme. Tento fakt poukazuje na symbiotický pôvod mitochondrií a podporuje **endosymbiotickú teóriu**, podľa ktorej mitochondrie vznikli z pôvodne samostatných prokaryotických organizmov. Tento pôvod potvrdzujú aj ďalšie znaky, ako prítomnosť 70S ribozómov v mitochondriách a iniciácia proteosyntézy formylmetionínom, čo sú typické črty baktérií.

Mutácie v mitochondriálnej DNA vedú k poruchám energetického metabolizmu, pretože ovplyvňujú proteíny dýchacieho reťazca a oxidačnej fosforylácie. Následkom sú tzv. mitochondriálne ochorenia, ktoré často postihujú tkanivá s vysokou energetickou náročnosťou, ako sú svaly a nervový systém. Medzi známe klinické jednotky patria napríklad Kearns-Sayre syndróm (okulárna myopatia s retinopatiou a kardiomyopatiou), Pearsonov syndróm (porucha krvotvorby a pankreasu) či rôzne mitochondriopatie vedúce k svalovej slabosti, encefalomyopatii, hluchote alebo zlyhaniu orgánov.

Plazmidy sú extrachromozómové genetické elementy, ktoré sa nachádzajú najmä v bakteriálnych bunkách popri nukleoide. Tvoria ich dvojvláknové kruhové molekuly DNA s dĺžkou najčastejšie 2 až 15 kb (avšak ich veľkosť sa môže výrazne líšiť). Charakteristickou vlastnosťou plazmidov je schopnosť nezávislej replikácie od bakteriálneho chromozómu. Často obsahujú gény umožňujúce konjugáciu, teda prenos z jednej baktérie do druhej. Každý plazmid nesie vlastný replikačný začiatok (ORI) a gény nevyhnutné pre svoju reprodukciu.

Okrem toho môžu plazmidy obsahovať gény, ktoré poskytujú hostiteľskej bunke výhodu, napríklad rezistenciu voči antibiotikám alebo gény pre špecifické enzýmy, ako je hyaluronidáza. Umelé plazmidy často obsahujú aj restriktčné miesta a selekčné markery, vďaka čomu sa využívajú ako vektory genetickej informácie v molekulárnej biológii. Plazmidy schopné replikácie vo viacerých hostiteľských bunkách sa označujú ako „shuttle“ vektory a umožňujú expresiu génov aj v organizmoch, v ktorých sa prirodzene nevyskytujú.

Štruktúra RNA

Primárna štruktúra RNA predstavuje lineárne poradie ribonukleotidov, ktoré sa skladajú z ribózy, fosfátovej skupiny a jednej zo štyroch báz – adenínu, guanínu, cytozínu a uracilu

(nahrádza tymín známy z DNA). **Sekundárna štruktúra RNA** vzniká vďaka intramolekulárnym vodíkovým väzbám medzi komplementárnymi bázami v rámci jedného vlákna, dochádza k tvorbe slučiek. **Terciárna štruktúra RNA** je priestorové usporiadanie sekundárnych motívov do zložitejších 3D konformácií. Zahŕňa interakcie medzi vzdialenejšími časťami molekuly a stabilizuje sa pomocou nekonvenčných väzieb, napr. Hoogsteenových párovaní alebo interakcií s iónmi kovov. Vďaka terciárnej štruktúre môže RNA nadobúdať zložité tvary, ktoré sú kľúčové pre jej katalytické a regulačné funkcie.

Typy RNA

Mediátorová RNA (mRNA, messenger RNA) vzniká transkripciou štruktúrnych génov. V eukaryotoch je prekursorová forma (hnRNA) po transkripcii upravovaná do zrelej mRNA pomocou procesov ako tvorba 5'-čiapky a poly-A chvosta, ktoré chránia molekulu pred degradáciou a umožňujú efektívny preklad. Úlohou mRNA je prenos genetickej informácie z jadra do cytoplazmy, kde slúži ako matrica (templát) pre proteosyntézu na ribozómoch. Nesie sekvenciu nukleotidov, ktorá sa prekladá do primárnej štruktúry bielkovín.

Ribozómová RNA (rRNA) tvorí spolu s bielkovinami ribozómy a predstavuje až 80 % RNA bunky. V eukaryotoch sú ribozómy tvorené podjednotkami 40S a 60S, ktoré obsahujú viaceré druhy rRNA (18S, 5,8S, 28S a 5S). rRNA sa syntetizuje v jadierku, kde prekursorová 45S rRNA podlieha procesovaniu a úpravám. Výsledné molekuly sa spájajú s proteínmi a vytvárajú funkčné ribozómy transportované do cytoplazmy.

Transferová RNA (tRNA) sprostredkúva transláciu tým, že prenáša konkrétnu aminokyselinu na ribozóm a páruje svoj antikodón s kodónom mRNA. Každá tRNA má približne 74 – 95 nukleotidov, obsahuje minoritné bázy a špecifické ramená, ktoré tvoria štruktúru podobnú štvorlístku. V priestore má tvar písmena L, čo umožňuje presnú väzbu aminokyseliny. Na 3' konci sa nachádza sekvencia CCA, ktorá slúži ako miesto pre naviazanie aminokyseliny. V ľudskom genóme existuje niekoľko stoviek génov pre tRNA, ktoré sú organizované v transkripčných jednotkách.

Okrem hlavných typov existujú aj **nekódujúce RNA**. **Dlhé nekódujúce RNA (lncRNA)** zahŕňajú napríklad XIST, ktorý sa podieľa na inaktivácii chromozómu X.

Cirkulárna RNA (circRNA) je typ nekódujúcej RNA vznikajúci procesom back-splicingu, pri ktorom sa konce molekuly spoja do uzavretého kruhu. Táto štruktúra zvyšuje jej stabilitu voči degradácii. CircRNA často pôsobia ako „spongie“ pre miRNA, čím nepriamo regulujú expresiu génov, môžu interagovať s proteínmi alebo ovplyvňovať transkripciu. Vyznačujú sa tkanivovou špecifitou a ich zmenená expresia sa spája s viacerými ochoreniami.

Krátke nekódujúce RNA (snRNA, snoRNA) sa uplatňujú pri spracovaní a modifikácii RNA. **Regulačné RNA**, ako miRNA, siRNA a piRNA, ovplyvňujú expresiu génov prostredníctvom RNA interferencie (RNAi). Najdôležitejšia je **miRNA**, ktorá sa viaže na komplementárne

sekvencie mRNA a tým blokuje jej transláciu. Tento mechanizmus sa využíva v regulácii viac než tretiny ľudských génov. siRNA je dvojvláknová RNA, ktorá spôsobuje posttranskripčné umlčanie génov, zatiaľ čo piRNA chráni genóm pohlavných buniek pred transpozónmi. RNA interferencia predstavuje významný regulačný mechanizmus, ktorý môže byť využitý v terapeutických stratégiách, ale zároveň sa spája aj so vznikom niektorých ochorení.

Príklady rôznych druhov RNA a ich základných charakteristík sú v nasledujúcej tabuľke.

Typ RNA	Dĺžka/ veľkosť	Štruktúra	Hlavná funkcia	Lokalizácia
mRNA	variabilná	jednovláknová	prenáša genetickú informáciu z DNA na ribozóm, slúži ako matrica	jadro a cytoplazma
tRNA	74 – 95 nt	jednovláknová, štvorlístková sekundárna štruktúra, L-tvar v 3D	prenos aminokyselín k ribozómu; dekódovanie mRNA (antikodón)	cytoplazma
rRNA	5S, 5,8S, 18S, 28S (eukaryoty)	jednovláknová, tvorí zložité dvojvláknové a terciárne štruktúry	súčasť ribozómov; katalýza tvorby peptidových väzieb	jadierko a cytoplazma
snRNA	~150 nt	jednovláknová	splicing hnRNA, tvorba spliceozómu	jadro
snoRNA	60 – 300 nt	jednovláknová	modifikácia rRNA (metylácia, pseudouridylácia)	jadierko
miRNA	~22 nt	Jednovláknová	regulácia exprese génov viazaním na mRNA (blok translácie alebo degradácia)	jadro a cytoplazma
siRNA	20 – 25 nt	dvojvláknová, prečnievajúce nukleotidy na koncoch	posttranskripčné potlačenie génov, degradácia mRNA	cytoplazma



Modelové otázky

1. Čo platí o mitochondriálnej DNA?

- a) dedí sa paternálne
- b) je veľká kruhová molekula
- c) obsahuje 37 génov
- d) neobsahuje intróny

2. O A forme DNA platí:

- a) je ľavotočivá
- b) je pravotočivá
- c) vyskytuje sa pri nadbytku vody
- d) vyskytuje sa pri nedostatku soli

3. Nukleozid obsahuje:

- a) cukor
- b) fosfát
- c) bázu
- d) glykozidickú väzbu

4. DNA sa nachádza:

- a) takmer vo všetkých bunkách
- b) v jadre
- c) v mitochondriách
- d) v endoplazmatickom retikule

5. Pyrimidínové bázy sú:

- a) cytozín
- b) uracil
- c) tymín
- d) guanín

6. Adenín sa podľa pravidiel komplementarity páruje s:

- a) adenínom
- b) guanínom
- c) tymínom
- d) uracilom

7. Chargaffovo pravidlo znamená, že:

- a) množstvo adenínu = množstvu tymínu
- b) množstvo guanínu = množstvu cytozínu
- c) množstvo purínov sa rovná množstvu pyrimidínov
- d) množstvo purínov sa rovná množstvu pyrínov

8. Pravotočivé konformácie DNA sú:

- a) len Z
- b) len A
- c) len B
- d) A aj B

9. V polynukleotidovom reťazci sú nukleotidy navzájom spojené väzbou:

- a) N-glykozidickou
- b) 3' a 5'-glykozidickou
- c) 3' a 5'-fosfátovou
- d) 3' a 5'-fosfodiesterovou

10. Aký typ DNA je významný pri regulácii expresie génov?

- a) B-DNA
- b) Z-DNA
- c) A-DNA
- d) C-DNA

11. Ktoré úseky DNA tvoria jadrový genóm?

- a) kódujúce gény (proteíny, rRNA, tRNA)
- b) nekódujúce úseky (pseudogény, promótory, repetitívne sekvencie)
- c) mitochondriálna DNA
- d) histónové proteíny

12. Ktoré úseky genómu patria medzi vysoko repetitívne sekvencie?

- a) LINE
- b) SINE-Alu
- c) satelitná DNA
- d) histónové gény

13. Čo platí pre mitochondriálnu DNA (mtDNA)?

- a) má intróny
- b) má mierne odlišný genetický kód od jadrovej DNA
- c) kóduje všetky mitochondriálne proteíny
- d) dedí sa výhradne maternálnou líniou

14. Koľko génov obsahuje ľudská mtDNA?

- a) 13 pre kódujúce proteíny
- b) 22 pre tRNA
- c) 2 pre rRNA
- d) celkovo 46

15. Čo zabezpečuje Chargaffovo pravidlo?

- a) rovnaké množstvo purínov a pyrimínov
- b) stabilitu DNA štruktúry
- c) presnosť replikácie
- d) tvorbu superspirál

16. Aký typ repetitívnych sekvencií predstavujú minisatelity a mikrosatelity?

- a) LINE
- b) SINE
- c) satelitná DNA
- d) pseudogény

17. Ktorá molekula je vo väčšine organizmov hlavným nositeľom genetickej informácie?

- a) DNA
- b) RNA
- c) proteíny
- d) lipidy

18. Z čoho sa skladá nukleotid?

- a) dusíkatá báza
- b) pentóza
- c) fosfátová skupina
- d) aminokyselina

19. Aký cukor sa nachádza v DNA a aký v RNA?

- a) deoxyribóza v DNA
- b) ribóza v RNA
- c) glukóza v DNA
- d) fruktóza v RNA

20. Ktoré bázy patria medzi puríny?

- a) adenín
- b) guanín
- c) cytozín
- d) tymín

21. Ktoré bázy sa nachádzajú v RNA?

- a) adenín
- b) guanín
- c) uracil
- d) tymín

22. Ako sú nukleotidy spojené v polynukleotidovom reťazci?

- a) peptidovou väzbou
- b) 3'-5' fosfodiesterovou väzbou
- c) vodíkovou väzbou
- d) disulfidovým mostíkom

23. Čím sa líši nukleozid od nukleotidu?

- a) nukleozid neobsahuje fosfát
- b) nukleozid obsahuje vždy tymín
- c) nukleotid nemá ribózu
- d) nukleotid obsahuje fosfát

24. Koľko báзовých párov má jedna otočka B-DNA?

- a) 10
- b) 10,5
- c) 11
- d) 12,5

25. Ktorý pár báz je spojený tromi vodíkovými väzbami?

- a) A – T
- b) G – C
- c) A – U
- d) T – U

26. Aké vlastnosti má Z-DNA?

- a) je pravotočivá
- b) má 12 bp na otočku
- c) schopnosť regulácie génovej expresie
- d) vzniká pri dehydratácii

27. Aká je charakteristická vlastnosť A-DNA?

- a) je ľavotočivá
- b) vzniká pri dehydratácii
- c) má 11 bp na otočku
- d) nachádza sa v mitochondriách

28. Ktoré sekvencie patria medzi nekódujúce oblasti DNA?

- a) promótory
- b) intróny
- c) rRNA
- d) exóny

29. Aký je podiel LINE prvkov v ľudskom genóme?

- a) 5 %
- b) 13 %
- c) 21 %
- d) 40 %

30. Čo je D-loop v mitochondriálnej DNA?

- a) oblasť kódujúca rRNA
- b) oblasť kódujúca tRNA
- c) regulačná oblasť pre replikáciu a transkripciu
- d) kodón pre tryptofán

31. Čo je typická vlastnosť plazmidov?

- a) sú to lineárne molekuly DNA
- b) replikujú sa nezávisle od hlavného chromozómu
- c) prenášajú mitochondriálne gény
- d) nemajú vlastný replikačný začiatok

32. Aké gény môžu obsahovať plazmidy?

- a) gény rezistencie na antibiotiká
- b) gény pre špecifické enzýmy
- c) gén pre hemoglobín
- d) gén pre históny

33. Aký cukor je súčasťou ribonukleotidu?

- a) deoxyribóza
- b) ribóza
- c) glukóza
- d) fruktóza

34. Čo umožňuje vznik sekundárnej štruktúry RNA?

- a) fosfodiesterové väzby
- b) vodíkové väzby medzi komplementárnymi bázami
- c) disulfidové mostíky
- d) interakcie s proteínmi

35. Čo stabilizuje terciárnu štruktúru RNA?

- a) prispievajú k tomu aj Hoogsteenove párovania
- b) interakcie s iónmi kovov
- c) najmä peptidové väzby
- d) väzba histónov

36. Ktoré rRNA sú prítomné v eukaryotických ribozómoch?

- a) 18S
- b) 28S
- c) 45S
- d) 5S

37. Aký tvar má štruktúra tRNA?

- a) helikálna špirála
- b) písmeno L v 3D
- c) tvar štvorlístka v 2D
- d) tvar Y

38. Ktorá lncRNA sa podieľa na inaktivácii chromozómu X?

- a) miRNA
- b) XIST
- c) snoRNA
- d) siRNA

39. Aké sú funkcie miRNA?

- a) prenos aminokyselín
- b) blokovanie translácie mRNA
- c) oprava DNA
- d) aktivácia transkripcie

40. Čo je typické pre siRNA?

- a) je dvojvláknová
- b) spôsobuje posttranskripčné umlčanie génov
- c) aktivuje transpozóny
- d) podieľa sa na tvorbe ribozómov

41. Čo je hlavnou funkciou piRNA?

- a) regulácia viac než tretiny génov
- b) ochrana genómu pohlavných buniek pred transpozónmi
- c) sprostredkovanie translácie
- d) tvorba poly-A chvosta

42. Aký je približný počet nukleotidov v tRNA?

- a) 20 – 40
- b) 50 – 60
- c) 74 – 95
- d) 120 – 150

43. Aká sekvencia sa nachádza na 3' konci tRNA a slúži na naviazanie aminokyseliny?

- a) AUG
- b) CCA
- c) UGA
- d) GCU

44. Ktoré malé nekódujúce RNA sa podieľajú na spracovaní a modifikácii RNA?

- a) snRNA
- b) snoRNA
- c) miRNA
- d) rRNA

45. Aká je hlavná funkcia niektorých circRNA v regulácii génovej expresie?

- a) slúžia ako templát pre syntézu histónov
- b) pôsobia ako „špongie“ viažuce miRNA
- c) rozkladajú ribozómy
- d) aktivujú transláciu v mitochondriách

46. Čo je základnou vlastnosťou RNA?

- a) je dvojvláknová
- b) je jednovláknová
- c) je stabilnejšia než DNA
- d) neobsahuje uracil

47. Aký je typický tvar transferovej RNA (tRNA) v priestore?

- a) dvojzávitnicová špirála
- b) písmeno L
- c) trojzávitnicová špirála
- d) guľovitý globulín

48. Ktoré typy RNA sa podieľajú na spracovaní a modifikácii RNA?

- a) snRNA a snoRNA
- b) mRNA a rRNA
- c) miRNA a siRNA
- d) circRNA a lncRNA

49. Ktorý typ RNA funguje ako „špongia“ pre miRNA a tým reguluje expresiu génov?

- a) tRNA
- b) circRNA
- c) rRNA
- d) siRNA

50. V ktorej možnosti sú regulačným RNA správne priradené ich funkcie?

- a) miRNA – blokuje transláciu, siRNA – degradácia mRNA, piRNA – ochrana pred transpozónmi
- b) miRNA – syntéza proteínov, siRNA – splicing, piRNA – modifikácia rRNA
- c) miRNA – katalýza peptidovej väzby, siRNA – transport aminokyselín, piRNA – tvorba ribozómov
- d) miRNA – elongácia translácie, siRNA – aktivácia transkripcie, piRNA – degradácia proteínov

51. Ktorý typ RNA je najpočetnejší v bunke?

- a) mRNA
- b) rRNA
- c) tRNA
- d) miRNA

52. Aká štruktúra sa vytvára pri intramolekulárnom párovaní báz v jednom vlákne RNA?

- a) terciárna štruktúra
- b) sekundárna štruktúra
- c) primárna štruktúra
- d) kvaternérna štruktúra

53. Ktorý proces je priamo závislý od snRNA?

- a) splicing hnRNA
- b) translácia na ribozómoch
- c) degradácia mRNA
- d) tvorba poly-A chvosta

54. Ktorá z uvedených RNA má najkratšiu dĺžku?

- a) mRNA
- b) tRNA
- c) miRNA
- d) snoRNA

55. Ktorá kombinácia typov nekódujúcej RNA a ich typických rozmerov je správna?

- a) snoRNA – 60 až 300 nt
- b) snRNA – približne 150 nt
- c) miRNA – 150 nt
- d) siRNA – 20 až 25 nt

Klíč k modelovým otázkám

1. NNSS	20. SSNN	39. NSNN
2. NSNN	21. SSSN	40. SSNN
3. SNSS	22. NSNN	41. NSNN
4. SSSN	23. SNNS	42. NNSN
5. SSSN	24. NSNN	43. NSNN
6. NNSS	25. NSNN	44. SSNN
7. SSSN	26. NSSN	45. NSNN
8. NNNS	27. NSSN	46. NSNN
9. NNNS	28. SSNN	47. NSNN
10. NSNN	29. NNSN	48. SNNN
11. SSNN	30. NNSN	49. NSNN
12. SSSN	31. NSNN	50. SNNN
13. NSNS	32. SSNN	51. NSNN
14. SSSN	33. NSNN	52. NSNN
15. NSSN	34. NSNN	53. SNNN
16. NNSN	35. SSNN	54. NNSN
17. SNNN	36. SSNS	55. SSNS
18. SSSN	37. NSSN	
19. SSNN	38. NSNN	

9 Replikácia DNA

Replikácia DNA je proces kopírovania genetickej informácie, ktorý prebieha v S-fáze bunkového cyklu. Je **semikonzervatívna**, čo znamená, že každá novovzniknutá dvojzávitnica pozostáva z jedného materského a jedného novo syntetizovaného vlákna, čím sa zabezpečuje zachovanie pôvodnej genetickej informácie pri každom delení bunky. Tento mechanizmus bol experimentálne potvrdený Meselsonom a Stahlom v roku 1958 a vysvetľuje vysokú presnosť replikácie aj genetickú stabilitu organizmov.

Replikácia v prokaryotických bunkách

Replikácia DNA nezačína na ľubovoľnom mieste reťazca, ale na špecifických úsekoch nazývaných **miesta začiatku replikácie** (ORI). Baktéria *E. coli* má iba jednu kruhovú molekulu DNA a jedno miesto ORI s veľkosťou približne 245 bp. Na toto miesto sa naviažu DnaA proteíny, ktoré spôsobia lokálne rozvinutie DNA. Nasleduje naviazanie DnaB helikázy za účasti DnaC proteínu, ktorý ju na miesto ORI transportuje. **Helikáza** rozpletá dvojzávitnicu prerušovaním vodíkových väzieb medzi bázami a vytvára replikačnú bublinu, ktorá sa rozširuje na obidve strany vo forme replikačných vidlíc. Rozvinuté jednovláknové úseky stabilizujú **SSB** proteíny (single-stranded binding proteins), ktoré bránia spätnému spájaniu reťazcov.

K rozpletanej DNA sa následne viaže **primáza**, ktorá má RNA-polymerázovú aktivitu a spolu s helikázou vytvára **primozóm**. Primáza syntetizuje krátke RNA primery pozostávajúce z 11 – 20 nukleotidov. Na **vedúcom vlákne** postačuje jeden primer, na **zaostávajúcom vlákne** vznikajú primery opakovane, čo vedie k tvorbe **Okazakiho fragmentov**. Vlastné predlžovanie reťazcov vykonávajú **DNA polymerázy**, ktoré pripájajú nové deoxyribonukleotidy vždy v smere $5' \rightarrow 3'$.

V bunkách *E. coli* bolo identifikovaných päť DNA polymeráz (najdôležitejšie sú DNA polymeráza I až III). **DNA polymeráza I** sa podieľa na odstraňovaní RNA primerov a ich nahradení DNA, má aj $5' \rightarrow 3'$ exonukleázovú aktivitu a zabezpečuje vyplnenie medzier po primeroch. **DNA polymeráza II** sa uplatňuje pri opravách DNA a má najmä podpornú úlohu. **DNA polymeráza III** je hlavný replikačný enzým, pracuje veľmi rýchlo (250 – 1 000 nukleotidov za sekundu) a jej aktivita je podporovaná pomocnými proteínmi, ako sú **β -svorka**, ktorá zvyšuje procesivitu, a γ -komplex s ATP-ázovou aktivitou. DNA vlákna sú antiparalelné, preto sa syntetizujú rozdielne. Vedúce vlákno sa replikuje kontinuálne, rýchlo a bez prerušenia, zatiaľ čo zaostávajúce vlákno sa replikuje diskontinuálne po častiach vo forme Okazakiho fragmentov, ktoré majú v *E. coli* približne 2 000 nukleotidov. Chyby vznikajúce počas replikácie sú opravované proofreadingovou aktivitou hlavných DNA polymeráz, ktoré disponujú $3' \rightarrow 5'$ exonukleázovou funkciou..

Po odstránení RNA primerov DNA polymerázou I sa medzery zaplnia DNA a jednotlivé úseky spája **DNA ligáza**, ktorá vytvára fosfodiesterové väzby medzi fragmentmi. Takto je replikácia ukončená a výsledkom sú dve identické molekuly DNA, z ktorých každá obsahuje jedno pôvodné a jedno novo syntetizované vlákno.

Replikácia v eukaryotických bunkách

V eukaryotických bunkách sa replikácia DNA uskutočňuje podobnými mechanizmami ako pri prokaryotoch, no vykazuje viacero špecifik. Z buniek eukaryotov bolo doteraz izolovaných najmenej 15 druhov DNA polymeráz, z ktorých najdôležitejšie majú špecializované funkcie. **DNA polymeráza α** spolu s primázou iniciuje syntézu DNA tvorbou RNA-DNA primerov vrátane primerov pre Okazakiho fragmenty. **DNA polymeráza β** katalyzuje syntézu krátkych úsekov DNA najmä počas bázevej excíznej reparácie. **DNA polymeráza γ** je zodpovedná za replikáciu mitochondriálnej DNA a podieľa sa aj na reparácii mitochondriálnej DNA. **DNA polymeráza δ** je hlavnou polymerázou oneskoreného vlákna a podieľa sa na elongácii a maturácii Okazakiho fragmentov. **DNA polymeráza ϵ** sa vo všeobecnosti považuje za hlavnú polymerázu vedúceho vlákna pri eukaryotickej jadrovej replikácii DNA.

Súčasťou eukaryotického replikačného aparátu sú aj špecifické proteíny – **PCNA** (proliferating cell nuclear antigen), plniace funkciu β -svorky a RFC (replication factor C), ktorý pôsobí ako nakladač svorky podobne ako γ -komplex pri prokaryotoch. Kompletizácia zaostávajúceho reťazca sa líši od prokaryotov tým, že RNA primery odstraňuje špeciálna **exonukleáza – RNáza H**, zatiaľ čo medzery dopĺňa DNA polymeráza δ . Okazakiho fragmenty sa spájajú DNA ligázou.

Špecifickým problémom eukaryotickej DNA je replikácia lineárnych koncov chromozómov. Zaostávajúce vlákno sa na 3' konci nedá úplne doreplikovať, čo vedie k skracovaniu teloméru. **Teloméry** sú tandemové opakovania bohaté na guanín, u človeka má sekvencia tvar TTAGGG. Ich predčasné skracovanie je kompenzované **telomerázou**, **špecializovanou RNA-dependentnou DNA polymerázou**, ktorá nesie vlastný RNA templát a pridáva krátke DNA repetície na 3' koniec rodičovského vlákna, čím umožňuje DNA polymeráze δ dokončiť syntézu oneskoreného vlákna.

Replikácia DNA pri eukaryotoch je približne desaťnásobne pomalšia než pri prokaryotoch – rýchlosť polymerázy je okolo 50 nukleotidov za sekundu. Tento rozdiel je vyrovnaný tým, že na eukaryotickej DNA vzniká veľké množstvo **replikónov**, a syntéza tak prebieha paralelne na tisícoch miest. Aj veľkosť Okazakiho fragmentov je menšia – kým pri prokaryotoch majú 1 000 až 2 000 nukleotidov, pri eukaryotoch iba približne 150. Bezprostredne po replikácii sa obnovuje štruktúra chromatinu, nukleozómy sa počas replikácie rozpadávajú a následne sa rýchlo skladajú z novo syntetizovaných histónov, pričom každý nový nukleozóm obsahuje kombináciu starých aj nových histónových podjednotiek.

V nasledujúcej tabuľke uvádzame rozdiely v replikácii DNA pri prokaryotoch a eukaryotoch.

Charakteristika	Prokaryoty	Eukaryoty
Tvar DNA	kruhovú, jedna molekula	lineárna, viac chromozómov
Počet ORI	1 (oriC, ~245 bp)	tisíce ORI na každom chromozóme
Iniciačný komplex	DnaA proteín (viaže sa na oriC)	ORC (Origin Recognition Complex)
Trvanie replikácie	~40 minút (<i>E. coli</i>)	8 – 12 hodín (ľudská bunka)
Polymerázy	DNA pol. I – odstránenie primerov a opravy; DNA pol. II – opravy; DNA pol. III – hlavná replikácia	DNA pol. α -primáza (syntéza primerov), ϵ (vedúce vlákno), δ (oneskorené vlákno / Okazakiho fragmenty), β (reparácia), γ (mtDNA)
Rýchlosť syntézy	~1 000 nukleotidov/s	~50 nukleotidov/s
Okazakiho fragmenty	1 000 – 2 000 nt	~150 nt
Odstránenie RNA primerov	DNA polymeráza I (5' → 3' exonukleázová aktivita)	RNáza H + Flap endonukleáza 1 (FEN1)
Spájanie fragmentov	DNA ligáza	DNA ligáza
Regulačné proteíny	DnaA, DnaB (helikáza), DnaC, SSB, gyráza	ORC, PCNA (β -svorka), RFC, helikázy, RPA (ekvivalent SSB)
Teloméry	neprítomné (DNA je kruhovú)	prítomné; replikáciu zabezpečuje telomeráza
Chromatín	bez histónov	DNA je asociovaná s histónmi, po replikácii prebieha tvorba nových nukleozómov



Modelové otázky

1. Akú úlohu má beta svorka pri syntéze DNA reťazca?

- a) pripája DNA polymerázu I na vlákno DNA
- b) pripája RNA polymerázu na vlákno DNA
- c) pripája DNA polymerázu III na vlákno DNA
- d) drží pohromade materský a dcérsky reťazec DNA

2. Čo platí o DNA polymeráze I?

- a) zúčastňuje sa na kompletizácii vedúceho vlákna
- b) zúčastňuje sa na kompletizácii zaostávajúceho vlákna
- c) má aj exonukleázovú aktivitu
- d) je dôležitá pri transkripcii

3. Čo platí o DNA polymeráze II?

- a) je tvorená dvomi polypeptidovými reťazcami
- b) zúčastňuje sa pri reparácii DNA
- c) má aj exonukleázovú aktivitu
- d) vyskytuje sa pri eukaryotoch

4. Ako je DNA replikovaná?

- a) konzervatívne
- b) semikonzervatívne
- c) diskontinuálne
- d) radiálne

5. Aká je funkcia SSB proteínov?

- a) predlžujú DNA reťazec
- b) stabilizujú jednovláknovú DNA
- c) rozpletajú dvojvláknovú DNA
- d) tvoria Okazakiho fragmenty

6. Ktoré prokaryotické DNA polymerázy vykazujú exonukleázovú aktivitu 3' → 5'?

- a) DNA polymeráza I
- b) DNA polymeráza II
- c) DNA polymeráza III
- d) primáza

7. Ktoré procesy prebiehajú na zaostávajúcom vlákne počas replikácie?

- a) kontinuálna syntéza
- b) diskontinuálna syntéza
- c) tvorba Okazakiho fragmentov
- d) tvorba β -svorky

8. Ktoré DNA polymerázy sa podieľajú na oprave DNA pri prokaryotoch?

- a) DNA polymeráza I
- b) DNA polymeráza II
- c) DNA polymeráza III
- d) primáza

9. Aká je hlavná funkcia primázy počas replikácie?

- a) syntetizuje krátke DNA primery
- b) syntetizuje krátke RNA primery
- c) odstraňuje Okazakiho fragmenty
- d) spojuje DNA úseky ligázou

10. Ktorá DNA polymeráza je hlavná replikačná polymeráza v *E. coli*?

- a) DNA polymeráza I
- b) DNA polymeráza II
- c) DNA polymeráza III
- d) DNA ligáza

11. Ktoré z nasledujúcich tvrdení o DNA replikácii je pravdivé?

- a) DNA polymeráza pridáva nukleotidy na 5' a 3' konce rastúceho vlákna RNA
- b) promótorý sú sekvencie, ktoré signalizujú začiatok transkripcie a sú nevyhnutné pre replikáciu
- c) templátové vlákno DNA sa číta aj v smere 3' $\rightarrow$ 5'
- d) oba reťazce DNA slúžia súčasne ako templáty

12. Replikácia dvojreťazcovej DNA prebieha:

- a) semipermeabilným spôsobom
- b) semikonzervatívnym spôsobom
- c) konzervatívnym spôsobom
- d) Okazakiho spôsobom

13. Fázy replikácie sú:

- a) iniciácia
- b) katalyzácia
- c) terminácia
- d) elongácia

14. DNA polymerázy katalyzujú polymerizáciu v smere:

- a) obojsmerne ($5' \rightarrow 3'$ aj $3' \rightarrow 5'$)
- b) len $3' \rightarrow 5'$
- c) niekedy aj $5' \rightarrow 3'$
- d) len $5' \rightarrow 3'$

15. DNA ligáza katalyzuje vytvorenie:

- a) RNA primeru
- b) fosfodiesterovej väzby medzi $5'$ a $3'$ koncom polynukleotidového reťazca
- c) fosfotriesterovej väzby medzi $5'$ a $3'$ koncom polynukleotidového reťazca
- d) vytvorenie komplementárneho reťazca

16. Syntéza Okazakiho fragmentov sa uskutočňuje:

- a) v smere pohybu replikačnej vidlice
- b) proti smeru pohybu replikačnej vidlice
- c) diskontinuálne
- d) kontinuálne

17. Primáza je enzým, ktorý katalyzuje:

- a) odvíjanie komplementárnych reťazcov
- b) vytvorenie väzby medzi fragmentami DNA
- c) syntézu DNA primeru
- d) syntézu RNA primeru

18. Syntéza Okazakiho fragmentov vyžaduje vlastný:

- a) RNA primer s voľným $3'$ koncom
- b) DNA primer s voľným $5'$ koncom
- c) RNA primer s voľným $5'$ koncom
- d) DNA primer s voľným $3'$ koncom

19. Ktorá eukaryotická DNA polymeráza syntetizuje vedúci reťazec?

- a) δ
- b) ϵ
- c) β
- d) γ

20. Aká je hlavná úloha DNA polymerázy α ?

- a) oprava DNA
- b) syntéza mitochondriálnej DNA
- c) iniciácia replikácie DNA
- d) proofreading

21. Ktorá eukaryotická DNA polymeráza katalyzuje syntézu krátkych úsekov DNA najmä počas bábovej excíznej reparácie?

- a) δ
- b) ϵ
- c) β
- d) γ

22. Ktorá eukaryotická DNA polymeráza zabezpečuje syntézu mitochondriálnej DNA?

- a) δ
- b) ϵ
- c) γ
- d) β

23. Aký proteín plní funkciu β -svorky pri eukaryotoch?

- a) RFC
- b) PCNA
- c) RPA
- d) DNA ligáza

24. Aký proteín pri eukaryotoch plní funkciu γ -komplexu?

- a) PCNA
- b) RFC
- c) DNA pol δ
- d) RNáza H

25. Aký enzým odstraňuje RNA primery pri eukaryotoch?

- a) DNA pol I
- b) RNáza H
- c) DNA pol δ
- d) DNA pol ϵ

26. Aký enzým spája DNA fragmenty pri eukaryotoch?

- a) DNA pol δ
- b) DNA ligáza
- c) RFC
- d) PCNA

27. Čo spôsobuje problém nedoreplikovania 3' koncov DNA?

- a) kruhový genóm
- b) lineárna štruktúra DNA
- c) nedostatok histónov
- d) nadbytok intrónov

28. Aká je sekvencia ľudskej teloméry?

- a) TATAAT
- b) TTAGGG
- c) TTACCC
- d) GGGTTT

29. Replikácia DNA prebieha v:

- a) S-fáze bunkového cyklu
- b) G1-fáze
- c) M-fáze
- d) S-fáze a je semikonzervatívna

30. Miesto začiatku replikácie v baktérii *E. coli*:

- a) sa nazýva ORI
- b) má veľkosť približne 245 bp
- c) sa označuje ako ORC
- d) sa nachádza na viacerých chromozónoch

31. Úlohou SSB proteínov je:

- a) stabilizovať jednovláknové úseky DNA
- b) brániť spätnému spájaniu reťazcov
- c) katalyzovať syntézu RNA primerov
- d) spájať Okazakiho fragmenty

32. Ktoré tvrdenia sú správne o DNA polymeráze I?

- a) odstraňuje RNA primery
- b) nahrádza RNA nukleotidy DNA nukleotidmi
- c) je hlavný replikačný enzým
- d) pracuje rýchlosťou 250 – 1 000 nt/s

33. Zaostávajúce vlákno:

- a) sa syntetizuje kontinuálne
- b) sa syntetizuje prostredníctvom Okazakiho fragmentov
- c) má fragmenty dlhé približne 2 000 nt v *E. coli*
- d) nevyžaduje primery

34. Presnosť replikácie DNA je zabezpečená tým, že:

- a) polymerázy majú 3' → 5' exonukleázovú aktivitu
- b) polymerázy vykonávajú proofreading
- c) ligáza opravuje chybné bázy
- d) SSB proteíny kontrolujú správne párovanie

35. Ukončenie replikácie DNA zahŕňa:

- a) odstránenie RNA primerov DNA polymerázou I
- b) spájanie úsekov DNA ligázou
- c) degradáciu vedúceho vlákna
- d) inhibíciu helikázy

36. Ktoré DNA polymerázy sa podieľajú na replikácii genómovej DNA v eukaryotických bunkách?

- a) DNA polymeráza δ
- b) DNA polymeráza α
- c) DNA polymeráza II
- d) DNA polymeráza IV

37. Akú funkciu majú eukaryotické DNA polymerázy?

- a) α tvorí primery, δ je hlavná pre oneskorené vlákno a maturuje Okazakiho fragmenty
- b) γ replikuje mtDNA, β sa podieľa na bázovej excíznej reparácii
- c) ϵ replikuje oneskorené vlákno, δ vedúce vlákno
- d) α replikuje mtDNA, γ tvorí primery

38. Aké proteíny majú v eukaryotickej replikácii podobnú funkciu ako β -svorka a γ -komplex pri prokaryotoch?

- a) PCNA
- b) RFC
- c) FRAXA
- d) SSB

39. Čo odstraňuje RNA primery pri replikácii v eukaryotických bunkách?

- a) RNáza H
- b) DNA polymeráza δ
- c) DNA polymeráza I
- d) ligáza

40. Čo spôsobuje skracovanie telomér pri replikácii?

- a) nekompletná replikácia 3' konca zaostávajúceho vlákna
- b) strata histónov pri tvorbe nukleozómov
- c) činnosť topoizomerázy II
- d) obmedzená aktivita telomerázy

41. Aké vlastnosti majú ľudské teloméry?

- a) obsahujú tandemové opakovania sekvencie TTAGGG
- b) sú bohaté na guanín
- c) kódujú proteíny replikačného aparátu
- d) sú bohaté na tymín

42. Ktoré tvrdenia sú správne o rýchlosti replikácie DNA?

- a) v eukaryotických bunkách je pomalšia než pri prokaryotoch
- b) eukaryotické polymerázy pridávajú približne 50 nt/s
- c) pri prokaryotoch je to asi 10 nt/s
- d) eukaryoty majú iba jeden ORI

43. Ktoré tvrdenia sú správne o Okazakiho fragmentoch?

- a) v eukaryotických bunkách majú približne 150 nukleotidov
- b) pri prokaryotoch sú dlhé 1 000 – 2 000 nukleotidov
- c) na vedúcom vlákne sa tvoria kontinuálne
- d) ich spájanie katalyzuje topoizoméráza

44. Ktorý enzým zabezpečuje predĺženie telomér?

- a) teloméráza
- b) špecifická RNA-dependentná DNA polymeráza s vlastným RNA templátom
- c) DNA polymeráza I
- d) RNáza H

45. Čo sa deje s nukleozómami počas replikácie DNA v eukaryotoch?

- a) rozpadávajú sa na jednotlivé históny
- b) úplne sa nahrádzajú iba novými histónmi
- c) zostávajú pevne naviazané a nemenia sa
- d) po replikácii sa znovu skladajú z nových aj starých histónov

46. Aké sú hlavné rozdiely medzi replikáciou DNA pri prokaryotoch a eukaryotoch?

- a) prokaryoty majú spravidla 1 ORI
- b) pri prokaryotoch je DNA lineárna
- c) eukaryoty majú tisíce ORI
- d) eukaryoty nemajú históny

47. Čo je spoločné pre DNA polymerázy prokaryotov aj eukaryotov?

- a) katalyzujú syntézu iba v smere 5' → 3'
- b) hlavné replikačné disponujú proofreading aktivitou (3' → 5' exonukleázová)
- c) nepotrebujú primer
- d) spájajú fragmenty fosfodiesterovou väzbou

48. Ktoré tvrdenia platia pre Okazakiho fragmenty?

- a) umožňujú syntézu zaostávajúceho vlákna
- b) tvoria sa na vedúcom vlákne
- c) vznikajú iba pri replikácii mitochondriálnej DNA
- d) pri eukaryotoch sú kratšie (~150 nt) ako pri prokaryotoch (~1 000 – 2 000 nt)

49. Ktoré enzýmy alebo mechanizmy odstraňujú RNA primery?

- a) DNA polymeráza I pri prokaryotoch
- b) RNáza H a FEN1 pri eukaryotoch
- c) DNA polymeráza γ
- d) DNA ligáza

50. Ktoré proteíny zabezpečujú vysokú procesivitu DNA polymerázy pri replikácii?

- a) dnaA proteín
- b) SSB proteíny
- c) PCNA pri eukaryotoch
- d) β -svorka pri prokaryotoch

51. Ktorý dôkaz podporuje semikonzervatívny mechanizmus replikácie DNA?

- a) Griffithov experiment s pneumokokmi
- b) Meselsonov-Stahlov experiment
- c) Averyho pokus s DNA
- d) Chargaffove pravidlá

52. Aká je úloha DNA polymerázy I v baktériách?

- a) syntetizuje vedúci reťazec
- b) odstraňuje RNA primery
- c) spája Okazakiho fragmenty
- d) má 5' $\rightarrow$ 3' exonukleázovú aktivitu

53. Ktoré tvrdenia o eukaryotickej replikácii DNA sú správne?

- a) replikuje sa z jedného ORI na chromozóm
- b) Okazakiho fragmenty sú kratšie než pri prokaryotoch
- c) RNA primery odstraňuje RNáza H
- d) polymeráza III je hlavný replikačný enzým

54. Čo platí o telomérach a telomeráze?

- a) teloméry sa nachádzajú len pri prokaryotoch
- b) telomeráza obsahuje vlastnú RNA matricu
- c) teloméry sa pri každej replikácii predlžujú spontánne
- d) telomeráza predlžuje 3' koniec materského vlákna

55. Aké sú rozdiely medzi rýchlosťou a fragmentmi pri replikácii DNA?

- a) pri eukaryotoch je rýchlosť ~ 50 nukleotidov/s
- b) pri prokaryotoch je rýchlosť pomalšia (~ 10 nt/s)
- c) Okazakiho fragmenty pri prokaryotoch majú 1 000 – 2 000 nt
- d) Okazakiho fragmenty pri eukaryotoch sú dlhšie než pri prokaryotoch

Klíč k modelovým otázkám

1. NNSN	20. NNSN	39. SNNN
2. NSSN	21. NNSN	40. SNNS
3. NSSN	22. NNSN	41. SSNN
4. NSNN	23. NSNN	42. SSNN
5. NSNN	24. NSNN	43. SSNN
6. SSSN	25. NSNN	44. SSNN
7. NSSN	26. NSNN	45. SNNS
8. SSNN	27. NSNN	46. SNSN
9. NSNN	28. NSNN	47. SSNN
10. NNSN	29. SNNS	48. SNNS
11. NNSS	30. SSNN	49. SSNN
12. NSNN	31. SSNN	50. NNSS
13. SNSS	32. SSNN	51. NSNN
14. NNNS	33. NSSN	52. NSNS
15. NSNN	34. SSNN	53. NSSN
16. NSSN	35. SSNN	54. NSNS
17. NNNS	36. SSNN	55. SNSN
18. SNNN	37. SSNN	
19. NSNN	38. SSNN	

10 Proteosyntéza

Štruktúra a typy génov

Gén predstavuje základnú funkčnú jednotku genetickej informácie. Ide o kompletnú sekvenciu nukleovej kyseliny (DNA alebo RNA), ktorá nesie informáciu potrebnú na syntézu určitého produktu, teda funkčnej RNA alebo proteínu. Podľa typu genetickej informácie rozdeľujeme gény do troch hlavných skupín – štruktúrne gény, regulačné gény a gény kódujúce RNA.

Štruktúrny gén je úsek DNA (alebo RNA pri RNA-vírusoch), ktorý kóduje primárnu štruktúru bielkoviny. Veľkosť génov sa udáva v počte báзовých párov (bp). Štruktúrny gén sa skladá z regulačnej a kódujúcej časti. **Regulačná oblasť**, nazývaná **promótor**, obsahuje špecifické sekvencie, tzv. boxy, ktoré slúžia na navedenie regulačných proteínov (transkripčných faktorov). Správne pospájanie týchto bielkovín umožňuje začiatok transkripcie (syntézy mRNA) prostredníctvom RNA polymerázy.

Prokaryotický promótor obsahuje dve kľúčové oblasti. Prvou je **-35 element**, lokalizovaný približne v polohe -35 so sekvenciou 5'-TTGACA-3'. Druhou je **-10 element**, známy aj ako **Pribnow box**, nachádzajúci sa v polohe -10 so sekvenciou 5'-TATAAT-3'. Tieto oblasti zabezpečujú rozpoznanie a navedenie RNA polymerázy.

Eukaryotický promótor je zložitejší a zahŕňa niekoľko regulačných prvkov. Základným je **TATA box (Hognessov)**, ktorý sa nachádza približne **25 – 30 báz pred miestom začiatku transkripcie (+1)** (rozmedzie -35 až -25). Má sekvenciu 5'-TATAAAA-3' a viaže sa na transkripčný faktor TFIID. Dôležitý je aj **CAAT box** v oblasti -75 až -80 so sekvenciou 5'-GGCCAATCT-3', na ktorý sa viaže faktor NF1 zosilňujúci účinnosť promótoru. Ďalším regulačným prvkom je **GC box**, lokalizovaný v oblasti -90 so sekvenciou 5'-GGGCGG-3', na ktorý sa viaže faktor SP1 a ktorý rovnako prispieva k zvýšeniu aktivity promótoru.

V kódujúcej oblasti eukaryotických génov sa striedajú **exóny** (kódujúce úseky) a **intróny** (nekódujúce úseky). **Transkribovaná oblasť** sa začína 5' neprekladanou oblasťou (5' UTR), ktorá obsahuje sekvencie dôležité pre iniciáciu translácie a navedenie mRNA na malú ribozómovú podjednotku. **Kódujúca sekvencia** sa začína štart kodónom. Prvý exón začína štart tripletom ATG, za ktorým nasleduje intrón, druhý exón atď., pričom posledný exón končí **stop kodónom** (TAA, TAG alebo TGA). Transkripcia sa končí 3' UTR, za ktorou nasleduje sekvencia aktivujúca poly(A) polymerázu, ktorá tvorí poly-A chvost.

Regulačný gén je úsek DNA, ktorý kóduje bielkoviny plniace funkciu induktora alebo represora expresie iných génov. Tieto gény riadia aktivitu štruktúrnych génov a umožňujú adaptáciu bunky na meniace sa podmienky. **Gény kódujúce RNA** kódujú primárnu štruktúru ribozómovej RNA (rRNA), transferovej RNA (tRNA) a ďalších menších molekúl RNA, ktoré plnia špecifické funkcie v bunke, okrem syntézy proteínov.

Genetický kód predstavuje spôsob zápisu dedičnej informácie. Základnou informačnou jednotkou je sekvencia nukleotidov. Najkratšou jednotkou s významom pre tvorbu bielkovín je **triplet** (tzv. **kodón**) – trojica za sebou idúcich nukleotidov v mRNA, ktorá určuje začlenenie konkrétnej aminokyseliny do polypeptidového reťazca. V genetickom kóde sa využívajú štyri bázy (A, G, T, C), ale aminokyselín, ktoré je potrebné zakódovať, je viac – v základnom kóde ich je 20, pričom špeciálne existuje aj 21. aminokyselina (selenocysteín). Kombinácia troch báz poskytuje $4^3 = 64$ možností, čo postačuje na zakódovanie všetkých aminokyselín.

Kodóny v mRNA sa čítajú v smere 5'→3' od **štart kodónu**. Celkovo existuje 64 kodónov: 61 z nich kóduje aminokyseliny, pričom štart kodón AUG kóduje metionín a pri eukaryotoch zvyčajne slúži ako signál začiatku translácie. Tri kodóny, UAA, UAG a UGA, sú **stop kodóny**, ktoré nekódujú aminokyselinu, ale signalizujú ukončenie translácie.

Bunka disponuje translačným aparátom, ktorý dokáže genetický kód čítať prostredníctvom tRNA a ribozómov. Gén je ucelená jednotka informácie, ktorá určuje primárnu štruktúru jedného proteínu alebo RNA produktu. Štandardný genetický kód je univerzálny pre väčšinu organizmov a obsahuje triplety kódujúce aminokyseliny.

Centrálna dogma molekulárnej biológie vysvetľuje základný tok genetickej informácie v bunke – z DNA sa transkripciou vytvorí RNA a následne transláciou proteín. Tento princíp formuloval Francis Crick v roku 1958 a dodnes tvorí základ molekulárnej genetiky. Neskôr sa ukázalo, že existujú výnimky. V roku 1970 Temin a Baltimore objavili v retrovírusoch enzým reverznú transkriptázu, ktorá umožňuje opačný tok informácie z RNA späť do DNA. Ďalšiu špecifickú odchýlku predstavujú prióny (patologické proteíny), ktoré neobsahujú nukleové kyseliny, ale dokážu zmeniť konformáciu normálneho PrP proteínu na abnormálnu formu PrP^{Sc}.

Transkripcia

Počas transkripcie sa podľa poradia nukleotidov v DNA syntetizuje molekula mRNA, ktorá následne prechádza z jadra k ribozómom do cytoplazmy. Pri tomto procese sa prepisuje iba konkrétny úsek jedného z dvoch DNA vlákien, jeden gén alebo súbor génov usporiadaných za sebou. Prepis DNA do RNA katalyzuje enzým **RNA polymeráza**, ktorá na základe komplementarity pridáva nukleotidy v smere 5' → 3'.

Pri prokaryotoch vzniká priamo mRNA, kým pri eukaryotoch sa syntetizuje primárny transkript (prekursor), ktorý sa ďalšími úpravami mení na funkčnú RNA. Úsek DNA prepisovaný do primárneho transkriptu sa označuje ako transkripčná jednotka. V prokaryotoch môže transkripčná jednotka obsahovať jeden alebo viac štruktúrnych génov, to znamená že jedna mRNA nesie informáciu pre viac polypeptidových reťazcov a hovoríme jej **polycistronická**. Eukaryotické mRNA sú **monocistronické**, teda obsahujú informáciu iba pre jednu bielkovinu. Transkripčná jednotka prokaryotov je charakterizovaná vedúcou sekvenciou za promótorom,

ktorá zahŕňa **Shine-Dalgarnovu sekvenciu** (5'-AGGA-3'). Táto sekvencia umožňuje väzbu mRNA na 16S rRNA v 30S podjednotke ribozómu a tvorbu kompletného mRNA – ribozóm komplexu. V prokaryotických bunkách je tvorba všetkých typov RNA zabezpečená jedinou RNA polymerázou.

Transkripcia sa začína **iniciáciou**, keď sa RNA polymeráza viaže na promótor prostredníctvom **sigma (σ) faktora** a lokálne rozvíja DNA, čím vzniká transkripčná bublina. Sigma faktor zabezpečuje špecifickú väzbu na promótor. Počas **elongácie**, po úniku z promótoru a uvoľnení sigma faktora, sa k RNA polymeráze môžu pripojiť elongačné faktory, napríklad **NusA**. Enzým sa pohybuje pozdĺž templátového vlákna DNA, udržiava transkripčnú bublinu a syntetizuje RNA rýchlosťou približne 60 nukleotidov za sekundu, pričom DNA sa za ním opäť renaturuje. **Terminácia** prebieha **rho-nezávislým alebo rho-dependentným mechanizmom**. Pri rho-nezávislej terminácii vytvorí GC-bohatá invertovaná repetícia v RNA stem-loop štruktúru, po ktorej nasleduje **U-bohatý úsek**. Slabé A-U párovanie destabilizuje RNA-DNA hybrid a podporuje uvoľnenie transkriptu. NusA môže podporovať pauzovanie a termináciu sprostredkovanú touto hairpin štruktúrou. Pri rho-dependentnej terminácii sa **rho (ρ) faktor** viaže na novovznikajúcu RNA a podporuje uvoľnenie transkriptu. Pri prokaryotoch je transkripcia často spojená s transláciou, mRNA je zvyčajne krátkožijúca a ribozómy sa na ňu môžu viazať už počas jej syntézy.

V **eukaryotických** bunkách katalyzujú syntézu RNA tri typy RNA polymeráz. **RNA polymeráza I** sa vyskytuje v jadierku a prepisuje gény pre **rRNA**, pričom vzniká prekurzorová rRNA (pre-rRNA), z ktorej sa posttranskripčne tvoria 5,8S, 18S a 28S rRNA. **RNA polymeráza II** katalyzuje syntézu mRNA transkripciou štruktúrnych génov, pričom primárnym produktom je heterogénna nukleárna RNA (hnRNA, pre-mRNA), ktorá sa po spracovaní mení na funkčnú mRNA. Okrem toho syntetizuje aj malé jadrové RNA a miRNA. **RNA polymeráza III** prepisuje gény pre **tRNA** (pre-tRNA) a 5S rRNA, ako aj malé jadrové a cytoplazmové RNA.

Transkripcia pri eukaryotoch vyžaduje **pomocné bielkoviny**, tzv. **transkripčné faktory**, ktoré zabezpečujú rozpoznanie promótorových sekvencií, naviazanie RNA polymerázy II, rozvinutie DNA a jej aktiváciu fosforyláciou. Reguláciu intenzity transkripcie umožňujú aj špeciálne faktory **enhancery** a **silencery**. Iniciácia prebieha väzbou regulačného proteínu do veľkého závitú DNA pred génom, rozpadom nukleozómov a linearizáciou DNA. Helikáza oddelí vlákna DNA a transkripčné faktory sa postupne viažu na hlavné boxy (TATA, CAAT, GC). **TATA box** je **kľúčový**, viaže **TFIID** proteín (TBP), čím vzniká preiniciačný komplex. K nemu sa naviaže RNA polymeráza II a ďalšie faktory, pričom TFIIF aktivuje polymerázu fosforyláciou. Prepis začína v 5' UTR a pokračuje až za posledný exón do 3' UTR. Terminácia transkripcie štruktúrneho génu je signalizovaná polyadenylačným signálom AATAAA, ktorý sa prepíše ako AAUAAA, kde bielkovinový endonukleázový komplex štiepi hnRNA a umožňuje jej uvoľnenie z transkripčného aparátu.

Rozdiel medzi prokaryotickou a eukaryotickou transkripciou je uvedený v tabuľke.

	Prokaryoty	Eukaryoty
Typ RNA polymeráz	1 typ RNA polymerázy (syntetizuje všetky druhy RNA)	RNA polymeráza I → rRNA (okrem 5S) RNA polymeráza II → mRNA (hnRNA), malé jadrové RNA RNA polymeráza III → tRNA, 5S rRNA, malé RNA
Primárny produkt	priamo mRNA (už funkčná)	primárny transkript (hnRNA, pre -mRNA), vyžaduje úpravy (cap, splicing, polyA)
Transkripčná jednotka	môže obsahovať 1 alebo viac génov (polycistronická mRNA)	väčšinou monocistronická (1 gén → 1 mRNA)
Špecifické sekvencie	Shine-Dalgarno sekvencia (väzba mRNA na 16S rRNA)	promótorové boxy: TATA, CAAT, GC; terminácia signálom AAUAAA (polyadenylácia)
Iniciácia	RNA polymeráza sa viaže na promótor cez σ -faktor → vznik transkripčnej bubliny	vyžaduje transkripčné faktory (TFIID, TBP, TFIIH, atď.), rozvinutie DNA helikázou, tvorba preiniciačného komplexu
Elongácia	rýchlosť ~60 nt/s; po uvoľnení σ -faktora sa viaže NusA proteín	RNA polymeráza II fosforylovaná TFIIH; syntéza prebieha cez exóny a intróny až po 3' UTR
Terminácia	Rho-nezávislá: polyU sekvencia (destabilizácia A-U väzieb) Rho-závislá: vyžaduje ρ -faktor	signalizovaná polyadenylačným signálom (AAUAAA); endonukleázový komplex štípi hnRNA
Prepojenie transkripcie a translácie	úzko prepojené: ribozómy sa viažu na mRNA už počas jej syntézy	oddelené priestorovo aj časovo: transkripcia v jadre, translácia v cytoplazme
Životnosť mRNA	veľmi krátka (sekundy až minúty)	relatívne dlhšia (minúty až hodiny)
Regulácia	promótor + σ – faktory, operóny	transkripčné faktory, enhancery, silencery, modifikácia chromatinu (rozvinutie nukleozómov)

Posttranskripčná úprava pre-mRNA

Primárny transkript musí prejsť sériou úprav známych ako **posttranskripčné modifikácie** alebo **maturácia RNA**. V prokaryotických bunkách sa niektoré molekuly mRNA môžu stať funkčnými bezprostredne po transkripcii, zatiaľ čo rRNA a tRNA sa spracúvajú z prekursorových molekúl. Naproti tomu väčšina eukaryotických RNA po transkripcii podlieha spracovaniu. Prekurzorom eukaryotickej mRNA je pre-mRNA, historicky označovaná ako heterogénna jadrová RNA (hnRNA), ktorá je syntetizovaná RNA polymerázou II. Jej premena na zrelú mRNA prebieha v jadre a zahŕňa tri hlavné kroky.

Jedným z prvých krokov je **vytvorenie 5' čiapočky**. Na 5' koniec RNA sa pripája guanínový nukleotid prostredníctvom atypickej 5'-5' trifosfátovej väzby a následne sa metyluje v polohe 7. Čiapočka chráni RNA pred exonukleázami a podporuje účinnú iniciáciu translácie. Druhým hlavným krokom je **splicing**. Intróny sú odstránené spliceozómami, ribonukleoproteínovými komplexmi obsahujúcimi malé jadrové RNA, ktoré rozpoznávajú konzervované hranice intrónov, zvyčajne GU na 5' konci a AG na 3' konci. Intrón sa vystrihuje vo forme lariátovej štruktúry a exóny sa spájajú fosfodiesterovou väzbou. Ďalším hlavným krokom je

polyadenylácia. Po štiepení transkriptu sa na jeho 3' koniec pridáva poly(A) chvost, zvyčajne pozostávajúci približne zo 100 – 250 adenylátov, prostredníctvom poly(A) polymerázy. Táto oblasť chráni mRNA, uľahčuje jej export z jadra a reguluje jej stabilitu a transláciu. Výsledkom je zrelá mRNA, ktorá opúšťa jadro a asociuje sa s ribozómovými podjednotkami v cytoplazme, kde prebieha translácia.

Translácia

Translácia je proces prekladu genetickej informácie z mRNA do poradia aminokyselín v bielkovine. Prebieha na ribozómoch v cytoplazme a zahŕňa tri hlavné fázy: iniciáciu, elongáciu a termináciu, po ktorých nasledujú posttranslačné úpravy proteínu v endoplazmatickom retikule a Golgiho aparáte. Pri **iniciácii** sa prvá aminokyselina metionín (u prokaryotov formylmetionín) viaže priamo na P miesto ribozómu, pretože len tieto iniciačné tRNA dokážu aktivovať toto miesto. mRNA sa napojí na malú podjednotku ribozómu spolu s iniciačnými faktormi, pripojí sa iniciačná tRNA a následne sa pripojí veľká podjednotka ribozómu, čím vzniká **funkčný iniciačný komplex** pripravený na elongáciu. Počas **elongácie** vstupuje druhá aminoacyl-tRNA do A miesta, pričom jej správne spárovanie s mRNA zabezpečuje elongačný faktor EF1 a GTP. Ak antikodón tRNA nesúhlasí s kodónom mRNA, tRNA je nahradená komplementárnou. Po spárovaní sa aminokyseliny v P a A mieste spoja peptidovou väzbou, ktorú katalyzuje peptidyltransferáza. Ribozóm sa následne posunie o jeden triplet v smere 5' → 3' pomocou elongačného faktora EF2, čím sa aminoacyl-tRNA presunie z A do P miesta, tRNA z P miesta sa presunie do E miesta a uvoľní sa z ribozómu. Tento cyklus sa opakuje, pričom na ribozóme sú vždy dve aktívne tRNA (jedna v P a jedna v A mieste) a E miesto pre odchádzajúcu tRNA. Takto sa postupne predlžuje peptidový reťazec podľa sekvencie kodónov mRNA. **Terminácia** nastáva, keď ribozóm narazí na stop kodón, pre ktorý neexistuje tRNA. Posledná tRNA zostáva na mieste a uvoľnenie peptidového reťazca zabezpečuje terminačný faktor (RF) a GTP. Ribozóm sa potom odpojí od mRNA a rozpadne sa na podjednotky.

Na jednu mRNA sa môže súčasne viazať viac ribozómov, čím vznikajú **polyribozómy** (polyzómy) a umožňujú súbežnú syntézu viacerých kópií tej istej bielkoviny. Novovytvorený polypeptid sa následne presúva na posttranslačné spracovanie v endoplazmatickom retikule a Golgiho aparáte, kde získava konečnú funkčnú štruktúru.

V tabuľke uvádzame zhrnutie translácie.

Fáza	Miesto ribozómu	Kľúčové zložky	Hlavné procesy
Iniciácia	P	mRNA, iniciačná tRNA (MettRNA/fMettRNA), malá a veľká podjednotka ribozómu, iniciačné faktory (IF/eIF)	metionín viaže P miesto; mRNA sa pripojí k malej podjednotke; veľká podjednotka sa spojí a vzniká funkčný iniciačný komplex
Elongácia	A, P, E	Aminoacyl-tRNA, elongačné faktory (EF1, EF2 + GTP), peptidyltransferáza	Aminoacyl-tRNA vstupuje do A miesta, väzba kodón-antikodón; peptidyltransferáza vytvára peptidovú väzbu medzi aminokyselinami; ribozóm sa posúva, tRNA z P prechádza do E a uvoľňuje sa
Terminácia	P	stop kodón, terminačné faktory (RF) + GTP	ribozóm narazí na stop kodón; uvoľní sa polypeptid; ribozóm sa rozpadne na podjednotky a odpojí od mRNA
Polyribozóm (polyzóm)	A, P, E	viac ribozómov súčasne na jednej mRNA	umožňuje súbežnú syntézu viacerých kópií toho istého proteínu
Posttranslačné úpravy	–	endoplazmatické retikulum, Golgiho aparát	peptid sa spracuje, modifikuje a získa konečnú funkčnú štruktúru

Posttranslačná úprava bielkovín

Počiatočný úsek niektorých novovznikajúcich polypeptidov, nazývaný **signálna sekvencia (SS)** alebo **signálny peptid**, smeruje komplex ribozómu a vznikajúceho polypeptidu k endoplazmatickému retikulu. Tento signál rozpoznáva **signal recognition particle (SRP)**, ktorá navedie ribozóm k membráne ER, kde sa viaže na **SRP receptor** a **translokón**. Rastúci polypeptid následne postupne vstupuje do lúmenu ER, kde sa signálna sekvencia často odštiepi a proteín môže podliehať skorým posttranslačným modifikáciám. Proteíny určené ako integrálne membránové proteíny sa vkladajú do membrány ER. Nie všetky proteíny však vstupujú do ER. Mnohé dozrievajú v cytosole alebo sú smerované do iných kompartmentov, napríklad do jadra, mitochondrií alebo peroxizómov. Primárny polypeptidový reťazec sa môže ďalej upravovať rôznymi spôsobmi, vrátane odstránenia počiatočného metionínu alebo iných aminokyselín, hydroxylácie, fosforylácie, tvorby disulfidových mostíkov, skladania do terciárnej štruktúry alebo proteolytického odštiepenia časti peptidu.



Modelové otázky

1. Štruktúrny eukaryotický gén obsahuje:

- a) kódujúce oblasti
- b) intróny
- c) STOP kodón
- d) ŠTART kvadrupelet

2. RNA polymeráza I:

- a) transkribuje gény pre tRNA
- b) vyskytuje sa v jadierku
- c) vyskytuje sa iba pri baktériách
- d) transkribuje gény pre 5SrRNA

3. Transkripčný faktor TFIID sa viaže na:

- a) TATA box
- b) CAAT box
- c) GC box
- d) NusA proteín

4. Prokaryotická mRNA je najčastejšie:

- a) megacistronická
- b) monocistronická
- c) acistronická
- d) polycistronická

5. Posttranskripčné modifikácie RNA sú:

- a) Shine-Dalgarnova úprava
- b) vystrihnutie intrónov
- c) čiapočka na 5' konci
- d) čiapočka na 3' konci

6. Ktoré z nasledujúcich tvrdení sú pri syntéze (transkripcii) RNA pravdivé?

- a) RNA polymeráza pridáva nukleotidy do 5' → 3' rastúceho vlákna DNA
- b) promótory sú rozpoznané sekvencie, ktoré signalizujú začiatok transkripcie
- c) templátové vlákno DNA sa číta v smere 3' → 5'
- d) obe vlákna DNA slúžia ako templáty súčasne

7. RNA polymeráza II syntetizuje:

- a) mRNA
- b) miRNA
- c) hnRNA
- d) tRNA

8. Aminokyseliny môžu byť kódované:

- a) vždy len jedným kodónom
- b) vždy len jedným tripletom
- c) viacerými tripletmi
- d) viacerými kodónmi

9. Modifikácia hnRNA zahŕňa:

- a) úpravu 5' konca (čiapka)
- b) úpravu 3' konca (čiapka)
- c) polyadenyláciu 3' konca
- d) polyadenyláciu 5' konca

10. Vlastnosti genetického kódu sú:

- a) univerzálny
- b) tripletový
- c) degenerovaný
- d) semikonzervatívny

11. Štartovacím kodónom je:

- a) GUA
- b) UAG
- c) UAC
- d) AUG

12. Syntéza polypeptidového reťazca sa pri prokaryotických organizmoch začína aminokyselinou:

- a) metionín
- b) N-formylmetionín
- c) arginín
- d) prolín

13. Ktoré z nasledujúcich zložiek sa počas syntézy RNA (transkripcie) podieľajú na iniciácii transkripcie?

- a) promótorová oblasť
- b) terminátorová sekvencia
- c) ribonukleotidtrifosfáty (rNTP)
- d) transkripčné faktory

14. Čo sa rozumie pod pojmom „genetický kód“?

- a) poradie nukleotidov určujúce štruktúru bielkoviny
- b) reťazec aminokyselín
- c) typ RNA v bunke
- d) sekvencia repetitívnej DNA

15. Aký enzým predlžuje konce DNA pri replikácii telomér?

- a) DNA pol ϵ
- b) telomeráza
- c) DNA ligáza
- d) PCNA

16. Čo sa deje s nukleozómami počas replikácie DNA?

- a) nukleozómy sa počas replikácie nemenia
- b) počas replikácie sa rozpadnú a znova poskladajú zo starých aj nových histónov
- c) históny sa úplne odstránia a nahradia iba novými
- d) DNA sa replikuje bez účasti histónov

17. Ktorý box sa nachádza v prokaryotickom promótoe v polohe – 10?

- a) GACA
- b) TATAAT (Pribnow box)
- c) CAAT
- d) GC

18. Ktorý box sa nachádza v eukaryotickom promótoe a viaže TFIID?

- a) TATA (Hognessov)
- b) CAAT
- c) GC
- d) Shine-Dalgarno

19. V eukaryotickej kódujúcej oblasti sa striedajú:

- a) promótoe a enhancery
- b) exóny a intróny
- c) ORF a 5'UTR
- d) GC a CAAT boxy

20. Aká sekvencia signalizuje polyadenyláciu eukaryotickej mRNA?

- a) AAUAAA
- b) AUG
- c) TTAGGG
- d) AATAAA

21. Koľko typov RNA polymeráz majú eukaryoty?

- a) 1
- b) 2
- c) 3
- d) 5

22. Ktorá RNA polymeráza syntetizuje mRNA pri eukaryotoch?

- a) RNA pol I
- b) RNA pol II
- c) RNA pol III
- d) RNA pol IV

23. Ktorá sekvencia umožňuje väzbu mRNA na 16S rRNA pri prokaryotoch?

- a) Shine-Dalgarnova
- b) TATA box
- c) PolyA signál
- d) GC box

24. Ktoré sekvencie DNA regulujú intenzitu transkripcie pri eukaryotoch?

- a) enhancery
- b) silencery
- c) σ -faktory
- d) nukleozómy

25. Mechanizmus regulácie proteosyntézy pomocou RNA sa nazýva:

- a) interferencia
- b) interrupcia
- c) interakcia
- d) intermediarita

26. Ramená tRNA sú:

- a) akceptorové
- b) pseudouridínové
- c) náhodné
- d) kodónové

27. Proteosyntetický aparát je zložený z:

- a) mRNA
- b) konformačného ribozómu
- c) aminokyseliny
- d) tRNA

28. Translácia prebieha:

- a) v jadre
- b) v jadierku
- c) v cytoplazme
- d) na ribozónoch

29. Na ribozóme sú väzbové miesta:

- a) väzbové miesto pre mRNA
- b) P miesto
- c) A miesto
- d) výstupné miesto

30. Podjednotky eukaryotických ribozómov sú:

- a) 50S a 30S
- b) 40S a 60S
- c) 60S a 30S
- d) 30S a 70S

31. Ktorá sekvencia sa nachádza na 3' konci tRNA?

- a) AUG
- b) UAA
- c) CCA
- d) TTAGGG

32. Aká je funkcia adenínu na 3' konci tRNA?

- a) je tam z dôvodu stabilizácie slučky
- b) slúži ako väzobné miesto pre aminokyselinu
- c) slúži ako väzobné miesto pre ribozóm
- d) slúži ako väzobné miesto pre mRNA

33. Ktoré bázy patria medzi minoritné bázy tRNA?

- a) inozín
- b) dihydrouracil
- c) tymín
- d) metionín

34. Ktorý enzým syntetizuje prekurzorovú tRNA?

- a) RNA pol I
- b) RNA pol II
- c) RNA pol III
- d) DNA pol δ

35. Ktorý enzým odstraňuje intróny z pre-tRNA?

- a) RNáza H
- b) špecifické endonukleázy
- c) exonukleáza
- d) Pol δ

36. Koľko typov rRNA majú prokaryoty?

- a) 2
- b) 3
- c) 4
- d) 5

37. Ktoré podjednotky ribozómu majú eukaryoty?

- a) 30S a 50S
- b) 40S a 60S
- c) 20S a 40S
- d) 18S a 28S

38. Koľko typov rRNA majú eukaryoty?

- a) 3
- b) 4
- c) 5
- d) 6

39. Čo obsahuje 40S podjednotka ribozómu?

- a) 18S rRNA
- b) 28S rRNA
- c) 5S rRNA
- d) 5,8S rRNA

40. Čo obsahuje 60S podjednotka ribozómu?

- a) 18S rRNA
- b) 28S rRNA
- c) 5,8S rRNA
- d) 5S rRNA

41. Kde prebieha syntéza rRNA?

- a) v jadre
- b) v jadierku
- c) v cytoplazme
- d) v endoplazmatickom retikule

42. Ktorá RNA polymeráza prepisuje 45S pre-rRNA?

- a) RNA pol I
- b) RNA pol II
- c) RNA pol III
- d) DNA pol γ

43. Čo je hlavnou funkciou miRNA?

- a) katalýza peptidových väzieb
- b) regulácia génovej expresie
- c) splicing hnRNA
- d) transport aminokyselín

44. Akú štruktúru má siRNA?

- a) jednovláknovú
- b) dvojvláknovú
- c) kruhovú
- d) trojlístkovú

45. Aká je hlavná úloha snoRNA?

- a) prenos aminokyselín
- b) modifikácia rRNA
- c) regulácia mRNA
- d) translácia

46. Ktoré procesy sprostredkúva snoRNA?

- a) metylácia
- b) pseudouridylácia
- c) fosforylácia
- d) polyadenylácia

47. Čo je RNA interferencia (RNAi)?

- a) mechanizmus splicingu
- b) mechanizmus degradácie alebo inhibície mRNA prostredníctvom regulačných RNA
- c) mechanizmus syntézy proteínov
- d) mechanizmus syntézy tRNA

48. Ktorý enzým katalyzuje vznik peptidovej väzby počas elongácie?

- a) peptidyltransferáza
- b) DNA pol δ
- c) RNA pol II
- d) ligáza

49. Čo sú polyribozómy (polyzómy)?

- a) reťazce ribozómových proteínov
- b) viac ribozómov súčasne na jednej mRNA
- c) ribozómy pripojené na ER
- d) skupina ribozómov bez RNA

50. Čo je gén?

- a) úsek DNA alebo RNA nesúci informáciu pre syntézu proteínu alebo funkčnej RNA
- b) úsek DNA, ktorý vždy kóduje iba proteín
- c) najmenšia jednotka dedičnosti tvorí jeden nukleotid
- d) kompletná sekvencia DNA, ktorá sa replikuje

51. Aké typy génov poznáme podľa funkcie?

- a) štruktúrne gény
- b) regulačné gény
- c) lipidy kódujúce gény
- d) gény kódujúce len polysacharidy

52. Ktoré prvky obsahuje prokaryotický promótor?

- a) TTGACA box v polohe – 35
- b) TATAAT (Pribnowov) box v polohe – 10
- c) CAAT box
- d) GC box

53. Ktoré sekvencie sú typické pre eukaryotický promótor?

- a) GACA box
- b) CAAT box
- c) TATA box (Hognessov)
- d) Shine-Dalgarnova sekvencia

54. Čo sa nachádza v transkribovanej oblasti eukaryotických génov?

- a) len regulačné proteíny
- b) intróny
- c) iba stop kodóny
- d) exóny

55. Čo je regulačný gén?

- a) gén, ktorý kóduje induktory alebo represory ovplyvňujúce expresiu iných génov
- b) gén, ktorý sa vždy prepíše do tRNA
- c) gén bez funkcie
- d) gén, ktorý kóduje poly(A) polymerázu

56. Koľko kodónov existuje a koľko z nich kóduje aminokyseliny?

- a) 64 kodónov, z toho 61 kóduje aminokyseliny
- b) 64 kodónov, z toho 3 sú stop kodóny
- c) 20 kodónov, z toho všetky kódujú aminokyseliny
- d) 64 kodónov, z toho iba 20 má význam

57. Ktoré tvrdenia platia pre štart kodón?

- a) jeho sekvencia je UAA
- b) kóduje metionín
- c) nachádza sa iba pri prokaryotoch
- d) jeho sekvencia je AUG

58. Čo sú prióny?

- a) patologické proteíny schopné meniť konformáciu normálnych proteínov
- b) častice obsahujúce len RNA
- c) infekčné častice bez nukleových kyselín
- d) retrovírusy

59. Čo je transkripcia?

- a) syntéza RNA podľa templátu DNA
- b) syntéza DNA podľa RNA
- c) syntéza proteínu na ribozóme
- d) oprava poškodených úsekov DNA

60. Aký je rozdiel medzi mRNA prokaryotov a eukaryotov?

- a) prokaryotická mRNA je často polycistronická
- b) eukaryotická mRNA je normocistronická
- c) prokaryotická mRNA vždy kóduje iba jeden proteín
- d) eukaryotická mRNA sa nikdy neupravuje

61. Čo sprostredkuje iniciáciu transkripcie pri prokaryotoch?

- a) sigma faktor
- b) NusA proteín
- c) rho faktor
- d) DNA ligáza

62. Čo je charakteristické pre elongáciu transkripcie pri prokaryotoch?

- a) RNA polymeráza postupuje rýchlosťou asi 60 nt/s
- b) sigma faktor zostáva stále naviazaný
- c) NusA proteín sa viaže na RNA polymerázu
- d) polymeráza sa pohybuje iba po vedúcom vlákne DNA

63. Čo je primárnym produktom transkripcie štruktúrnych génov pri eukaryotoch?

- a) pre-mRNA
- b) hotová mRNA
- c) tRNA
- d) hnRNA

64. Čo je promótor?

- a) regulačná oblasť génu umožňujúca navedenie RNA polymerázy
- b) úsek DNA, ktorý vždy kóduje proteín
- c) časť ribozómu
- d) regulačná sekvencia obsahujúca boxy (napr. TATA, CAAT)

65. Ktoré kodóny patria medzi stop kodóny?

- a) UAA
- b) UAG
- c) UGG
- d) UGA

66. Ktoré tvrdenia sú správne o exónoch a intrónoch?

- a) exóny sú zachované úseky génu
- b) intróny sú nekódujúce úseky génu
- c) intróny kódujú proteíny
- d) exóny sa vystrihujú zo zrelého transkriptu

67. Aký je rozdiel medzi štruktúrnym a regulačným génom?

- a) štruktúrny gén kóduje proteín
- b) regulačný gén kóduje faktor ovplyvňujúci expresiu iných génov
- c) regulačný gén vždy kóduje tRNA
- d) štruktúrny gén neobsahuje promótor

68. Čo je Shine-Dalgarnova sekvencia?

- a) úsek mRNA prokaryotov, ktorý sa viaže na 16S rRNA
- b) úsek eukaryotického promótoru
- c) štart kodón AUG
- d) časť poly(A) chvosta

69. Ktoré tvrdenia platia o štart kodóne?

- a) jeho sekvencia je AUG
- b) kóduje metionín
- c) nachádza sa v intróne
- d) je zároveň stop signál

70. Aké bázy sa čítajú v triplete kodónu?

- a) 2 puríny a 1 pyrimidín
- b) trojica za sebou idúcich nukleotidov
- c) 4 nukleotidy v rade
- d) vždy len adenín a uracil

71. Čo platí o intrónoch?

- a) sú to nekódujúce úseky génu
- b) odstraňujú sa splicingom
- c) sú to kodóny pre stop signály
- d) sú sekvencie, ktoré kódujú tRNA

72. Ktoré aminokyseliny sú kódované iba jedným kodónom?

- a) metionín
- b) leucín
- c) tryptofán
- d) serín

73. Čo sa nachádza v 3' UTR oblasti génu?

- a) signály pre polyadenyláciu
- b) regulačné sekvencie ovplyvňujúce stabilitu mRNA
- c) štart kodón
- d) Shine-Dalgarnova sekvencia

74. Čo je GC box?

- a) sekvencia eukaryotického promótoru
- b) časť poly(A) chvosta
- c) viaže sa na transkripčný faktor SP1
- d) miesto, kde začína splicing

75. Ktoré tvrdenia sú správne o stop kodónoch?

- a) sú tri: UAA, UAG, UGA
- b) kódujú metionín
- c) nešpecifikujú žiadnu aminokyselinu
- d) určujú začiatok translácie

Klíč k modelovým otázkám

1. SSSN	26. SSNN	51. SSNN
2. NSNN	27. SNSS	52. SSNN
3. SNNN	28. NNSS	53. NSSN
4. NNNS	29. SSSS	54. NSNS
5. NSSN	30. NSNN	55. SNNN
6. NSSN	31. NNSN	56. SSNN
7. SSSN	32. NSNN	57. NSNS
8. NNSS	33. SSSN	58. SNSN
9. SNSN	34. NNSN	59. SNNN
10. SSSN	35. NSNN	60. SNNN
11. NNNS	36. NSNN	61. SNNN
12. NSNN	37. NSNN	62. SNSN
13. SNSS	38. NSNN	63. SNNS
14. SNNN	39. SNNN	64. SNNS
15. NSNN	40. NSSS	65. SSNS
16. NSNN	41. NSNN	66. SSNN
17. NSNN	42. SNNN	67. SSNN
18. SNNN	43. NSNN	68. SNNN
19. NSNN	44. NSNN	69. SSNN
20. SNNN	45. NSNN	70. NSNN
21. NNSN	46. SSNN	71. SSNN
22. NSNN	47. NSNN	72. SNSN
23. SNNN	48. SNNN	73. SSNN
24. SSNN	49. NSNN	74. SNSN
25. SNNN	50. SNNN	75. SNSN

11 Metódy v molekulovej genetike. Omiky

Základom každej analýzy je správny odber a spracovanie biologického materiálu. DNA či RNA získavame z periférnej krvi, bukalnej sliznice, choriových klkov, plodovej vody, tkanív, slín, ale aj zo starších vzoriek fixovaných vo formalíne a zaliatych v parafíne. Forenzné aplikácie využívajú stery z ústnej dutiny, vlasy s korienkom, zuby či kosti. Pri infekciách môžu byť zdrojom vírusy a baktérie. Pred izoláciou sa vzorka homogenizuje mechanicky, fyzikálne alebo chemicky detergentmi. Nasleduje centrifugácia a oddelenie frakcií.

Izolácia nukleových kyselín odstraňuje proteíny a polysacharidy tak, aby sa neporušila štruktúra DNA alebo RNA. Po lýze buniek sa inhibujú nukleázy, pri izolácii DNA sa pridáva RNáza a pri izolácii RNA DNáza. Proteínové komplexy sa rozrušia organickými rozpúšťadlami, DNA sa vyzráža soľami a alkoholom a následne sa rozpustí vo vode. Koncentrácia a kvalita izolovanej DNA sa určuje viacerými metódami. Pri elektroforéze sa DNA v géli objaví ako jeden hrubší pás, čo svedčí o neporušení reťazcov. Spektrofotometria meria absorbanciu DNA, čo poskytuje informáciu o jej koncentrácii. Pri fluorimetrii sa DNA zafarbí fluorescenčným farbivom, ktoré sa viaže do dvojzávitnice, intenzita fluorescence je úmerná množstvu DNA, čím sa získava špecifickejší odhad koncentrácie. Spoločlivú kontrolu kvality, teda určenie, či DNA nie je fragmentovaná, však poskytuje len elektroforetická metóda.

Elektroforéza patrí medzi najpoužívanjšie metódy na separáciu nukleových kyselín a proteínov podľa veľkosti, náboja alebo väzbovej afinity. DNA a RNA majú záporný náboj vďaka fosfátovým skupinám, preto sa v elektrickom poli pohybujú smerom k anóde. Separácia neprebíha priamo v roztoku, ale na pevných nosičoch, najčastejšie v agarózovom alebo polyakrylamidovom géli. Do jamiek v géli sa nanášajú vzorky DNA spolu s tlmivým roztokom, ktorý umožňuje vedenie prúdu. Používajú sa horizontálne elektroforézy pre DNA (agaróza), vertikálne pre proteíny (polyakrylamid) a kapilárne pri analýze RNA či sekvenovaní.

Rýchlosť pohybu molekúl závisí od ich veľkosti, konformácie, koncentrácie gélu, napätia a zloženia tlmivého roztoku. Menšie fragmenty migrujú rýchlejšie než väčšie, kruhová DNA sa pohybuje rýchlejšie než lineárna a RNA rýchlejšie než DNA. Veľkosť neznámych fragmentov sa určuje porovnaním s DNA markerom (ladder) obsahujúcim fragmenty známej dĺžky.

Samotná DNA nie je voľným okom viditeľná, preto sa vizualizuje pomocou fluorescenčných farbív. Tradične sa používa etídium bromid, ktorý sa vkladá medzi bázy DNA a fluoreskuje pri UV žiarení. Moderné farbivá, ako SYBR® Green, GoldView® či GelRed, majú nižšiu toxicitu a mutagenitu. Výsledky sa dokumentujú pomocou UV transiluminátorov a fotodokumentačných systémov.

Restrikčné endonukleázy sú bakteriálne enzýmy, ktoré v rámci restrikčno-modifikačného systému štiepia cudzorodú DNA na špecifických palindrómových sekvenciách, zatiaľ čo vlastná DNA je chránená metyláciou. Podľa toho ako príslušná restrikčná endonukleáza štiepi

dvojvláknovú DNA a aké konce zanecháva, rozlišujeme tri základné typy. Endonukleázy zanechávajúce 5'- prečnievajúce konce, tzv. lepidivé konce (napr. Sau3AI, ClaI, EcoRI), 3'- prečnievajúce konce, tiež lepidivé (napr. HhaI, PstI), a tupé konce (AluI, SmaI, PvuII).

DNA polymorfizmus znamená, že určitý úsek DNA existuje v populácii vo viacerých variantoch, ktoré sa vyskytujú s významnou frekvenciou. Predstavuje teda genetickú variabilitu medzi ľuďmi. Na jeho detekciu sa pôvodne používala metóda Southern blot so značenými sondami, dnes sa častejšie využíva PCR, reštrikčné enzýmy alebo sekvenovanie.

Bodový polymorfizmus (SNP) vzniká výmenou jedného nukleotidu alebo bázoového páru v DNA. Ak zmena nastane v mieste rozpoznávanom reštrikčným enzýmom, sekvencia sa buď rozštiepi, alebo nie – čo je základ princípu RFLP (restriction fragment length polymorphism). Najčastejšou formou bodového polymorfizmu je SNP (single nucleotide polymorphism), teda zmena jedného nukleotidu. SNP sa vyskytujú približne raz na každých 300 nukleotidov, prevažne v nekódujúcich oblastiach, no tisíce z nich sa nachádzajú aj v génoch. Funkčné SNP môžu ovplyvňovať génovú expresiu a súvisieť s multifaktoriálnymi ochoreniami.

Hypervariabilné oblasti DNA sú úseky s rôznym počtom opakovaní krátkych sekvenčných motívov. Ak sú opakovania usporiadané tesne za sebou, označujú sa ako **tandemové opakovania**. Počet opakovaní sa medzi jednotlivcami líši, čo robí tieto oblasti vysoko variabilnými. Ich analýza využíva PCR a elektroforézu, ktoré odhalia rozdiely vo veľkosti fragmentov.

Z praktického hľadiska majú bodové polymorfizmy (najmä SNP) význam pri štúdiu génovej funkcie a genetických predispozícií k chorobám, zatiaľ čo hypervariabilné oblasti sa široko používajú v kriminalistike a forenznej genetike na identifikáciu osôb.

Metóda detekcie RFLP je založená na štiepení génomovej DNA pomocou reštrikčných endonukleáz. Tieto enzýmy rozpoznávajú špecifické krátke palindrómové sekvencie v DNA a štiepia ju presne v týchto miestach. Keďže v genóme sa príslušné rozpoznávacie miesta nachádzajú vo veľkom počte, výsledkom je rozsiahla kolekcia DNA fragmentov rôznych dĺžok.

Vzniknuté dvojvláknové fragmenty sa separujú podľa veľkosti elektroforézou v agarózovom géli a následne sa denaturujú, aby sa vytvorili jednovláknové reťazce vhodné na hybridizáciu so špecifickými sondami. Ak dôjde vnútri palindrómového miesta k mutácii (napr. substitúcii nukleotidu), rozpoznávacia sekvencia zaniká a príslušný fragment sa neštiepi. Naopak, mutácia môže novo vytvoriť palindróm a tým aj nové štiepne miesto. Výsledkom je vznik fragmentov odlišnej dĺžky, ktoré odrážajú prítomnosť alebo neprítomnosť konkrétnych polymorfizmov. Tieto rozdiely vo veľkosti fragmentov medzi jednotlivcami predstavujú podstatu RFLP polymorfizmu.

Polymerázová reťazová reakcia (PCR) je metóda, ktorá umožňuje *in vitro* amplifikáciu špecifických úsekov DNA presne definovanej dĺžky a polohy. Patrí medzi najpoužívanjšie molekulovo-genetické techniky.

Princíp PCR spočíva v napodobnení replikácie DNA v laboratórnych podmienkach, pričom sa nesyntetizuje celá molekula, ale iba vopred určený fragment ohraničený oligonukleotidovými primermi. Primery sa viažu na komplementárne sekvencie lemujúce cieľovú oblasť a ich **3'-OH konce** umožňujú syntézu nových vlákien termostabilnou DNA polymerázou. Najčastejšie používaným enzýmom je Taq polymeráza, izolovaná z baktérie *Thermus aquaticus*, ktorá je schopná odolávať vysokým teplotám.

Amplifikácia DNA prebieha v zariadení nazývanom teplotný cyklér a pozostáva z opakujúcich sa krokov denaturácie dvojvláknovej DNA pri vysokej teplote, nasedenia primerov pri nižšej teplote a elongácie nového vlákna pomocou Taq polymerázy. Pred začiatkom reakcie sa pripraví reakčná zmes obsahujúca templátovú DNA, dva primery (forward a reverse), dNTP, Taq polymerázu, MgCl₂ ako zdroj Mg²⁺ iónov potrebných pre aktivitu polymerázy a špecifickú reakcie a sterilnú vodu. Každý cyklus PCR teoreticky vedie k zdvojnásobeniu množstva cieľovej DNA, čo má za následok exponenciálny nárast produktu. Po 25 až 35 cykloch možno dosiahnuť približne 10⁷ až 10¹⁰-násobné zmnoženie požadovaného fragmentu.

Kvantitatívna PCR (real-time PCR) je metóda, ktorá umožňuje presné stanovenie množstva DNA sledovaním tvorby PCR produktov počas každého cyklu amplifikácie. Detekcia je založená na meraní fluorescencie, ktorá môže byť generovaná buď pomocou farbív špecificky sa viažucich na dvojvláknovú DNA, alebo prostredníctvom hybridizačných sond obsahujúcich fluorescenčný reportér a zhášač. V neporušenej sonde je fluorescencia potlačená, no počas PCR reakcie 5'-nukleázová aktivita DNA polymerázy sondu rozkladá, čím dôjde k oddeleniu reportéra od zhášača a k vzniku fluorescenčného signálu. Intenzita fluorescencie rastie úmerne s množstvom PCR produktu a sleduje sa po každom cykle, pričom rozhodujúcim parametrom je tzv. prahový cyklus (Ct). Platí, že čím vyššia je hodnota Ct, tým menšie bolo pôvodné množstvo DNA. Real-time PCR sa využíva pri meraní génovej expresie, kedy predchádza reverzná transkripcia RNA na cDNA, pri stanovení počtu kópií génov, genotypovaní alebo v mikrobiologickej diagnostike na rýchlu identifikáciu a kvantifikáciu patogénov bez potreby kultivácie. Podľa prístupu rozlišujeme **relatívnu kvantifikáciu**, kde sa množstvo PCR produktov porovnáva s referenčným štandardom, a **absolútnu kvantifikáciu**, ktorá určuje presné množstvo DNA v počte molekúl alebo v hmotnostných jednotkách.

Sekvenovanie DNA je súbor metód umožňujúcich určiť presné poradie nukleotidov v DNA. Medzi klasické techniky patrí Sangerova a Maxam-Gilbertova metóda.

Sangerova metóda využíva dideoxynukleotidy (ddNTP), ktoré pri zaradení zastavia syntézu DNA. DNA polymeráza v prítomnosti primerov a normálnych deoxyribonukleotidov vytvára nové reťazce, pričom náhodné začlenenie ddNTP vedie k fragmentom rôznej dĺžky. Tieto fragmenty sa separujú elektroforézou a poradie báz sa odčíta. Moderné sekvenátory využívajú fluorescenčne značené ddNTP, PCR na namnoženie úsekov a kapilárovú elektroforézu, pričom laser deteguje farebné signály a softvér generuje sekvenogram.

Maxam-Gilbertova metóda je založená na chemickej modifikácii jednotlivých báz a následnom štiepení DNA, čo rovnako vedie k fragmentom rôznej dĺžky. Táto metóda sa dnes už takmer nepoužíva.

Významným pokrokom je **sekvenovanie novej generácie** (NGS), ktoré umožňuje vysokoparalelné spracovanie tisícov až miliárd fragmentov DNA súčasne. Pri platforme Illumina sa DNA fragmentuje, úseky sa pripoja na sekvenačný čip a DNA polymeráza postupne začleňuje fluorescenčne značené nukleotidy. Každý typ nukleotidu vyvolá špecifický signál, ktorý zaznamenávajú snímacie zariadenia. Bioinformatické spracovanie následne poskladá krátke úseky do úplnej sekvencie. NGS sa využíva na celogenómové sekvenovanie, analýzu vybraných úsekov DNA či RNA aj na epigenetické štúdie. V porovnaní so Sangerovou metódou je výrazne rýchlejšie, umožňuje obrovskú paralelizáciu a spracovanie veľkého množstva údajov naraz, zatiaľ čo klasické Sangerovo sekvenovanie je obmedzené na jediný fragment DNA.

Biočipy predstavujú modernú formu komerčne dostupných membrán, na ktorých sú fixované sondy určené na hybridizáciu s analyzovanou DNA. Kým staršie membrány umožňovali naniesenie desiatok tisíc sond, dnešné biočipy veľkosti poštovej známky môžu obsahovať viac než 100 000 oligonukleotidových sond so známou sekvenciou, čo umožňuje paralelne analyzovať rozsiahly počet parametrov, vrátane všetkých známych polymorfizmov a mutácií jedného génu alebo viacerých génov súvisiacich s polygénovými ochoreniami. Analyzovaná DNA alebo mRNA (prepísaná do cDNA) sa najprv fluorescenčne označí a naniesie na povrch čipu pomocou mikrorobota. Následne dochádza ku komplementárnej hybridizácii medzi sondami a vzorkou, pričom nenaviazané sekvencie sa odmyjú a signál hybridizácie sa zistí na základe fluorescence. Pri detekcii jednonukleotidových polymorfizmov sa často využíva porovnanie s kontrolnou vzorkou označenou inou farbou, čo umožňuje presne rozlíšiť homozygotné a heterozygotné alely. Biočipy sa používajú nielen na porovnanie DNA zdravých a chorých jedincov, ale aj na analýzu exprese génov prostredníctvom mRNA, pričom podobný princíp je využívaný aj pri proteínových mikročipoch, ktoré obsahujú imobilizované protilátky špecifické pre vybrané proteíny.

Omiky

Moderná molekulárna biológia sa v súčasnosti zameriava nielen na štúdium jednotlivých génov alebo proteínov, ale aj na komplexné systémy, ktoré určujú funkciu buniek a organizmov. **Genomika** skúma kompletnú sadu DNA organizmu, teda jeho genóm, a umožňuje identifikovať gény, genetické varianty a mutácie. V praxi sa často využíva NGS, vysokoparalelná technológia umožňujúca rýchle a presné sekvenovanie celého genómu. Genomika tak poskytuje základ pre porozumenie dedičnosti, genetickej predispozície k ochoreniam a evolučných súvislostí medzi organizmami.

Transkriptomika sa zaoberá všetkými RNA molekulami exprimovými v bunkách, tzv. transkriptómom. Analýza transkriptómu, najmä mRNA, umožňuje sledovať úroveň génovej expresie, zmeny v priebehu vývoja alebo pri ochoreniach. RNA sekvenovanie je kľúčovou technikou pre transkriptomické štúdie, ktorá poskytuje kvantitatívne aj kvalitatívne údaje o transkriptoch.

Proteomika skúma kompletnú sadu proteínov produkovaných bunkou, tkanivom alebo organizmom v danom čase a podmienkach. Keďže proteíny predstavujú hlavné funkčné molekuly bunky, ich analýza poskytuje informácie o mechanizmoch regulácie, signalizačných dráhach, interakciách a posttranslačných modifikáciách. Proteomika využíva najmä hmotnostnú spektrometriu a dvojrozmernú gélovú elektroforézu a je kľúčová pri výskume biomarkerov, personalizovanej medicíne aj pri vývoji nových terapeutických stratégií.

Metabolomika sa zameriava na malé molekuly a metabolity prítomné v bunkách, tkanivách alebo organizmoch. Analýza metabolómov poskytuje informácie o bunkových metabolických dráhach, fyziologickom stave a reakciách na vonkajšie podnety. Na identifikáciu a kvantifikáciu metabolitov sa používajú analytické metódy ako hmotnostná spektrometria alebo nukleárna magnetická rezonancia (NMR).

Viromika predstavuje disciplínu zameranú na vírusové populácie a ich genetickú diverzitu, interakcie s hostiteľskými bunkami a účinky na organizmus. Súčasťou viromiky je aj štúdium tzv. *host-virus interactome*, teda siete interakcií medzi vírusmi a hostiteľom.

Prepojením genomiky, transkriptomiky, proteomiky a metabolomiky vzniká prístup **multi-omics**, ktorý umožňuje komplexné pochopenie biologických procesov, chorobných stavov a mechanizmov ich vzniku.

Rozvoj moderných technológií spôsobil, že k tradičným disciplínam uvedeným vyššie, sa pridali aj ďalšie špecializované odbory, ktoré poskytujú ešte komplexnejší obraz o fungovaní biologických systémov.

Epigenomika sa sústreďuje na chemické modifikácie DNA a histónov, ako je metylácia alebo acetylácia, ktoré nemenia samotnú sekvenciu DNA, ale zásadne ovplyvňujú génovú expresiu. Je kľúčová pre výskum rakoviny, starnutia či environmentálnych vplyvov.

Interaktomika skúma siete vzájomných interakcií medzi proteínmi a inými molekulami, čím umožňuje pochopiť dynamiku bunkových procesov a signalizačných dráh.

Lipidomika sa zameriava na lipidy a ich úlohu v bunkových membránach, metabolizme a regulácii, zatiaľ čo **glykomika** skúma štruktúru a funkciu sacharidov a glykanov, ktoré významne ovplyvňujú imunitnú odpoveď a patologické procesy vrátane nádorov.

Osobitnú pozornosť si zaslúži **mikrobiomika**, ktorá analyzuje zloženie a funkciu mikrobiálnych spoločenstiev, najmä ľudského črevného mikrobiomu, a jeho vplyv na imunitu, metabolizmus a vznik ochorení.

Farmakogenomika prepája poznatky genetiky s klinickou praxou, keďže študuje genetické faktory ovplyvňujúce odpoveď jedinca na liečbu, a tvorí tak základ personalizovanej medicíny.

V posledných rokoch sa rozvíja aj **exozomika**, prípadne extracelulárna vezikulomika, ktorá skúma obsah malých vezikúl uvoľňovaných bunkami. Tieto nesú nukleové kyseliny, proteíny či lipidy a predstavujú sľubný zdroj neinvazívnych biomarkerov využiteľných v diagnostike a prognostike.



Modelové otázky

1. Restrikčný enzým štiepi DNA:

- a) špecificky
- b) nešpecificky
- c) na ľubovoľnom mieste
- d) prirodzene v baktériách

2. Pohyb DNA v géle pri elektroforéze závisí od:

- a) pH
- b) veľkosti molekuly
- c) gravitácie
- d) koncentrácie gélu

3) Typy sekvenovania sú:

- a) automatické
- b) ručné
- c) novej generácie
- d) starej generácie

4. Po štiepení pomocou restrikčných enzýmov vznikajú konce:

- a) lepidé v RNA
- b) tupé v DNA
- c) tupé v RNA
- d) lepidé v DNA

5. Na PCR reakciu potrebujeme:

- a) Taq polymerázu
- b) rRNA
- c) veľá molekul DNA
- d) dNTP

6. Mikropipety:

- a) používajú sa na manipuláciu s mikromnožstvami
- b) nie sú presné
- c) používajú sa so špičkami
- d) môžu byť nastaviteľné

7. Aká je hlavná funkcia sekvenovania DNA?

- a) amplifikácia fragmentov DNA
- b) určenie veľkosti fragmentov DNA
- c) určenie poradia nukleotidov v molekule DNA
- d) meranie úrovne expresie génov

8. Restriktčné endonukleázy umožňujú pri testovaní otcovstva:

- a) určiť pohlavie dieťaťa
- b) identifikovať sekvencie DNA identické so sekvenciami v DNA biologického otca
- c) určiť krvnú skupinu dieťaťa
- d) zmerať výšku dieťaťa

9. Aký typ vzorky sa často používa v kriminalistike na určenie otcovstva?

- a) krvné sérum
- b) ster z bukálnej sliznice
- c) svalové tkanivo
- d) mozgovomiechový mok

10. Aký archívny materiál sa využíva v molekulárnej diagnostike?

- a) kryokonzervované bunky
- b) fixovaný vo formalíne a zaliaty v parafíne
- c) surové tkanivo
- d) lyofilizovaná DNA

11. Čo je cieľom homogenizácie tkaniva pri izolácii DNA?

- a) zvýšiť viskozitu roztoku
- b) rozrušiť bunky a uvoľniť DNA
- c) aktivovať nukleázy
- d) pripraviť proteíny

12. Fyzikálne metódy homogenizácie sú:

- a) ultrasonikácia
- b) opakované zmrazovanie a rozmrazovanie
- c) použitie detergentov
- d) trávenie proteázami

13. Ktorá metóda homogenizácie je chemická?

- a) ultrazvuk
- b) hypotonizácia
- c) detergenty
- d) tekutý dusík

14. Aká je hlavná úloha centrifugácie po homogenizácii?

- a) odstránenie RNA
- b) odstránenie inhibítorov PCR
- c) oddelenie pevných častíc
- d) rozpustenie DNA

15. Aké enzýmy sa pridávajú pri izolácii DNA na odstránenie RNA?

- a) DNáza
- b) RNáza
- c) proteáza
- d) lyáza

16. Ktoré organické rozpúšťadlá sa používajú pri izolácii DNA?

- a) fenol
- b) chloroform
- c) močovina
- d) acetón

17. Pomocou čoho sa z roztoku vyzráža DNA?

- a) etanolu alebo izopropanolu
- b) acetónu
- c) kyseliny sírovej
- d) proteáz

18. Ako vyzerá kvalitná DNA po separácii gélovou elektroforézou a následnej vizualizácii, napr. pod UV svetlom?

- a) difúzne pruhy
- b) jeden hrubší pruh
- c) veľa krátkych fragmentov
- d) fluorescenčný gradient

19. Prečo majú nukleové kyseliny záporný náboj?

- a) vďaka fosfátovým zvyškom
- b) vďaka ribóze
- c) vďaka vodíkovým väzbám
- d) vďaka dusíkatým bázam

20. Aký gél sa používa pri elektroforéze DNA?

- a) polyakrylamidový
- b) agarózový
- c) celulóзовý
- d) polyuretánový

21. Čo je úlohou DNA markeru (ladder)?

- a) zvýšiť intenzitu fluorescencie
- b) umožňuje určiť veľkosť fragmentov
- c) zabráňovať degradácii DNA
- d) zlepšiť migráciu

22. Ako sa označuje najčastejšia forma bodového polymorfizmu?

- a) VNTR
- b) SNP
- c) STR
- d) CNV

23. Na akom princípe funguje Sangerovo sekvenovanie?

- a) chemická modifikácia báz
- b) použitie dideoxynukleotidov
- c) použitie proteáz
- d) použitie RNázy

24. Čo je princípom elektroforézy?

- a) migrácia molekúl v elektrickom poli podľa ich veľkosti a náboja
- b) delenie molekúl podľa hustoty v gradiente sacharózy
- c) transport DNA cez membránu fosforyláciou
- d) rozpad DNA pôsobením enzýmov

25. Aký gél sa najčastejšie používa na separáciu DNA?

- a) polyakrylamid
- b) agaróza
- c) škrobový gél
- d) silikagél

26. Čo je SNP (single nucleotide polymorphism)?

- a) bodová mutácia zmenená v každej bunke tela
- b) polymorfizmus v mitochondriálnej DNA
- c) zmena jedného nukleotidu v DNA
- d) tandemové opakovanie krátkeho motívu

27. Ktorý enzým sa používa v PCR na syntézu DNA pri vysokých teplotách?

- a) DNA polymeráza III
- b) reverzná transkriptáza
- c) Taq polymeráza
- d) RNáza H

28. Čo znamená hodnota Ct v kvantitatívnej PCR?

- a) koncentráciu templátu v mg/ml
- b) počet cyklov, po ktorých sa deteguje fluorescencia
- c) dĺžku amplifikovaného fragmentu
- d) teplotu denaturácie

29. Aký je hlavný rozdiel medzi Sangerovou metódou a NGS?

- a) Sangerova metóda používa RNA templát
- b) NGS umožňuje paralelné sekvenovanie veľkého množstva fragmentov
- c) Sangerova metóda využíva fluorescenčne značené nukleotidy, NGS nie
- d) NGS má nižšiu presnosť ako Sangerova metóda

30. Na čo slúžia biočipy?

- a) na amplifikáciu DNA
- b) na hybridizáciu analyzovanej DNA alebo RNA so sondami
- c) na sekvenovanie pomocou dideoxynukleotidov
- d) na vizualizáciu proteínov etídium bromidom

31. Čo umožňujú DNA mikročipy?

- a) analýzu exprese génov
- b) sekvenovanie RNA
- c) produkciu proteínov
- d) syntézu primerov

32. Aký je hlavný princíp real-time PCR (kvantitatívnej PCR)?

- a) sledovanie fluorescencie pri každom cykle PCR, ktorá stúpa úmerne s množstvom produktu
- b) použitie rádioaktívne značených nukleotidov na vizualizáciu PCR fragmentov
- c) amplifikácia RNA bez potreby reverznej transkripcie
- d) sekvenovanie PCR produktov počas ich syntézy

33. Čo skúma genomika?

- a) funkciu proteínov
- b) kompletnú sadu DNA organizmu
- c) metabolické dráhy
- d) expresiu RNA

34. Ktorá technika sa často používa na sekvenovanie celého genómu?

- a) Western blot
- b) hmotnostná spektrometria
- c) next-generation sequencing
- d) PCR

35. Ktorý pojem označuje všetky gény jedného organizmu?

- a) proteóm
- b) genóm
- c) metabolóm
- d) transkriptóm

36. Ktorá metóda sa používa na identifikáciu asociácií medzi genetickými variantmi a znakmi alebo ochoreniami?

- a) GWAS (celogenómové asociačné štúdie)
- b) RNA sekvenovanie
- c) ELISA
- d) prietoková cytometria

37. Transkriptomika skúma:

- a) DNA sekvenciu
- b) RNA molekuly exprimované v bunkách
- c) metabolity v krvi
- d) vírusy

38. Ktorá technika je základom transkriptomických štúdií?

- a) RNA sekvenovanie
- b) CRISPR – Cas9
- c) ELISA
- d) prietoková cytometria

39. Ktorý typ RNA sa najčastejšie analyzuje pri transkriptomike?

- a) rRNA
- b) mRNA
- c) tRNA
- d) miRNA

40. Ktorý pojem označuje všetky RNA molekuly bunky?

- a) proteóm
- b) genóm
- c) transkriptóm
- d) metabolóm

41. Metabolomika skúma:

- a) DNA variácie
- b) expresiu proteínov
- c) malé molekuly/metabolity v bunkách a tkanivách
- d) vírusy

42. Ktoré analytické metódy sa bežne používajú v metabolomike?

- a) hmotnostná spektrometria a NMR
- b) Sangerovo sekvenovanie
- c) Northern blot
- d) imunohistochemia

43. Ktorý pojem označuje súhrn všetkých metabolitov bunky alebo organizmu?

- a) genóm
- b) proteóm
- c) metabolóm
- d) transkriptóm

44. Ktorá výskumná oblasť spája metabolomiku s genomikou a transkriptomikou?

- a) proteomika
- b) multi-omics
- c) viromika
- d) epigenomika

45. Viromika skúma:

- a) celý genóm človeka
- b) vírusové populácie a ich genetickú diverzitu
- c) expresiu RNA v baktériách
- d) metabolity v krvi

46. Ktorá technika je kľúčová pre viromiku?

- a) vírusová metagenomika
- b) ELISA
- c) Western blot
- d) prietoková cytometria

47. Ktorý pojem označuje všetky vírusy v určitom prostredí alebo hostiteľovi?

- a) viróm
- b) viromik
- c) genóm
- d) proteóm

48. Ktorá oblasť viromiky skúma interakcie vírusov s hostiteľom?

- a) host-virus interaktóm
- b) proteomika
- c) metabolomika
- d) genomika

49. Čo je cieľom funkčnej genomiky?

- a) štúdium interakcií medzi génmi
- b) predikcia 3D štruktúry proteínov
- c) analýza metabolických dráh
- d) identifikácia vírusových populácií

50. Ktorá metóda sa používa na porovnanie genómov rôznych organizmov?

- a) porovnávací genomika
- b) RNA sekvenovanie
- c) Western blot
- d) prietoková cytometria

51. Pojem proteóm označuje súbor všetkých:

- a) proteínov bunky
- b) RNA
- c) génov
- d) metabolitov

52. Čo umožňuje proteomika navyše oproti genomike?

- a) určiť, ktoré proteíny sú skutočne exprimované
- b) určiť sekvenciu DNA
- c) zistiť všetky metabolity
- d) vidieť dynamický obraz organizmu

53. Čo je charakteristické pre transkriptóm?

- a) je dynamický a mení sa podľa podmienok
- b) je identický vo všetkých bunkách
- c) zahŕňa všetky DNA sekvencie
- d) obsahuje iba rRNA

54. Aký je hlavný rozdiel medzi proteómom a transkriptómom?

- a) proteóm je stabilný, transkriptóm je dynamický
- b) transkriptóm odráža RNA, proteóm odráža proteíny
- c) proteóm sa netýka expresie génov
- d) transkriptóm zahŕňa metabolity

55. Aká technológia sa využíva na mapovanie expresie tisícov génov naraz?

- a) DNA microarray
- b) ELISA
- c) Western blot
- d) PCR

56. Ktorá omika sa najviac spája s personalizovanou medicínou?

- a) mikrobiomika
- b) genomika
- c) metabolomika
- d) viromika

57. Aký typ dát vzniká pri metabolomike?

- a) nukleotidové sekvencie
- b) spektrálne profily
- c) proteínové mapy
- d) RNA čítania

58. Čo je cieľom viromiky?

- a) študovať len vírusy s DNA genómom
- b) charakterizovať všetky vírusy v prostredí
- c) analyzovať vírusové proteíny
- d) detegovať metabolity hostiteľa

59. Ktorá oblasť skúma špecificky epigenetické zmeny v genóme?

- a) epigenomika
- b) proteomika
- c) viromika
- d) metabolomika

60. Multi-omics prístup je dôležitý preto, že:

- a) integruje viacero vrstiev biologických informácií
- b) nahrádza všetky experimentálne metódy
- c) zameriava sa len na RNA
- d) zahŕňa výlučne proteíny

61. Aká je hlavná výhoda NMR (nukleárnej magnetickej rezonancie) v metabolomike?

- a) vysoká senzitivita
- b) nedeštruktívna analýza
- c) sekvenuje DNA
- d) kvantifikuje RNA

62. Ktoré oblasti skúma systémová biológia?

- a) len metabolomiku
- b) komplexné signálne dráhy medzi génmi, proteínmi a metabolitmi
- c) len DNA replikáciu
- d) len viromiku

63. Čo skúma epigenomika?

- a) sekvenciu DNA
- b) mutácie v génoch
- c) chemické modifikácie DNA a histónov ovplyvňujúce génovú expresiu
- d) len mitochondriálnu DNA

64. Ktorá disciplína analyzuje siete vzájomných interakcií medzi proteínmi?

- a) lipidomika
- b) glykomika
- c) interaktomika
- d) farmakogenomika

65. Aký je hlavný predmet štúdia lipidomiky?

- a) glykozylácia proteínov
- b) zloženie a funkcia lipidov v bunkách
- c) expresia mikroRNA
- d) tandemové repetície v DNA

66. Čo je cieľom glykomiky?

- a) skúmanie štruktúry a funkcie sacharidov a glykánov
- b) analýza mutácií v rRNA
- c) meranie hladiny metabolitov
- d) štúdium patogénnych mikroorganizmov

67. Ktorá oblasť sa zameriava na zloženie a funkciu črevného mikrobiomu?

- a) epigenomika
- b) mikrobiomika
- c) exozomika
- d) farmakogenomika

68. Čo skúma farmakogenomika?

- a) genetické faktory ovplyvňujúce odpoveď na liečbu
- b) expresiu génov pri infekciách
- c) metabolické produkty buniek
- d) interakcie medzi proteínmi

69. Čo je predmetom exozomiky (extracelulárnej vezikulomiky)?

- a) analýza histónových modifikácií
- b) obsah vezikúl nesúcich nukleové kyseliny, proteíny a lipidy
- c) sledovanie glykozylácie proteínov
- d) analýza extracelulárnych vezikúl ako biomarkerov

70. Aký typ molekúl je hlavným predmetom skúmania v glykomike?

- a) lipidy
- b) sacharidy a glykanové štruktúry
- c) RNA transkripty
- d) fosfoproteíny

Klíč k modelovým otázkám

1. SNNS	25. NSNN	49. SNNN
2. NSNS	26. NNSN	50. SNNN
3. SNSN	27. NNSN	51. SNNN
4. NSNS	28. NSNN	52. SNNS
5. SNNS	29. NSNN	53. SNNN
6. SNSS	30. NSNN	54. NSNN
7. NNSN	31. SNNN	55. SNNN
8. NSNN	32. SNNN	56. NSSN
9. NSNN	33. NSNN	57. NSNN
10. NSNN	34. NNSN	58. NSNN
11. NSNN	35. NSNN	59. SNNN
12. SSNN	36. SNNN	60. SNNN
13. NNSN	37. NSNN	61. NSNN
14. NNSN	38. SNNN	62. NSNN
15. NSNN	39. NSNN	63. NNSN
16. SSNN	40. NNSN	64. NNSN
17. SNNN	41. NNSN	65. NSNN
18. NSNN	42. SNNN	66. SNNN
19. SNNN	43. NNSN	67. NSNN
20. NSNN	44. NSNN	68. SNNN
21. NSNN	45. NSNN	69. NSNS
22. NSNN	46. SNNN	70. NSNN
23. NSNN	47. SNNN	
24. SNNN	48. SNNN	

12 Formy vstupu a existencie cudzorodej DNA v bunke. Vektory. Rekombinančné techniky

Cudzorodá DNA sa za určitých okolností/podmienok môže do bunky dostať prirodzene ako aj prostredníctvom špeciálnych laboratórnych metód a následne existovať v bunkách v odlišných formách. Prirodzeným spôsobom vstupu DNA do bakteriálnej bunky je **transformácia**, teda príjem voľnej DNA z prostredia, avšak bakteriálna bunka musí byť na transformáciu pripravená tzv. kompetentná. Tento jav bol prvýkrát dokázaný Griffithom pri pneumokokoch a dnes vieme, že niektoré baktérie majú špecializované transportné systémy, ktoré im umožňujú začleniť cudzie fragmenty DNA do vlastného genómu. Transformácia baktérií sa dá aj umelo navodiť v laboratóriu, čo sa vo veľkej miere využíva pri tvorbe nových GMO baktérií v genetickom inžinierstve. Ďalším mechanizmom, ktorý sa vyskytuje prirodzene a zároveň sa využíva v laboratóriách, je **transdukcia**. Pri nej je prenos genetickej informácie sprostredkovaný vírusmi, najčastejšie bakteriofágmi a v eukaryotických systémoch retrovírusmi. Počas replikačného cyklu vírusu môže byť genetický materiál z predchádzajúceho hostiteľa prenesený do novej bunky, čo vedie k horizontálnemu prenosu génov. Tretím mechanizmom je **konjugácia**, ktorá vyžaduje priamy kontakt medzi dvoma bakteriálnymi bunkami prostredníctvom špecializovaných výbežkov nazývaných pili. Týmto procesom sa prenášajú najmä plazmidy, ktoré často nesú gény spojené s antibiotickou rezistenciou. Pri **vírusovej infekcii** vírus vnáša svoj genóm vo forme nukleovej kyseliny do hostiteľskej bunky, kde môže ovplyvňovať replikáciu vírusu a tvorbu nových viriónov.

V génovom inžinierstve sa využívajú špeciálne metódy, ktoré napodobňujú alebo obchádzajú prirodzené mechanizmy. **Mikroinjekcia** predstavuje priamy zásah, pri ktorom sa DNA vpraví mikropipetou priamo do jadra bunky, čo sa používa najmä pri manipuláciách s oocytmi a embryami. **Elektroporácia** je založená na krátkom elektrickom impulze, ktorý dočasne zvýši priepustnosť cytoplazmatickej membrány, a tým umožní prienik DNA do bunky. Podobne fungujú aj **chemické metódy**, kde sa používajú zlúčeniny, napríklad CaCl_2 , ktoré narušia membránu, alebo lipofekcia, pri ktorej je DNA zapuzdrená do lipozómov a tie splynú s membránou. V rastlinných biotechnológiách sa využíva **biolistika**, teda „genová pištoľ“, ktorá vstreľuje mikročastice zlata alebo wolfrámu s naviazanou DNA do buniek. V biomedicíne sú rozšírené **vírusové vektory**, teda geneticky upravené retrovíruses, adenovírusy alebo adeno-asociované vírusy, ktorým boli odstránené patogénne vlastnosti, ale zachovali si schopnosť efektívne vnášať cudziu DNA do cieľových buniek.

Formy existencie cudzej DNA v bunke

Po vstupe do bunky môže cudzia DNA existovať v rôznych formách. Najjednoduchšou je **plazmidová forma**, kedy DNA ostáva mimo chromozómov ako samostatná cirkulárna molekula, schopná autonómnej replikácie. V baktériách je to veľmi častý jav a plazmidy často nesú gény rezistencie alebo metabolických dráh. Podobným stavom je **epizómová forma**, pri ktorej DNA zostáva mimo hlavného chromozómu, ale je schopná koordinovanej replikácie s

hostiteľským genómom. **Epizómy** sa nachádzajú napríklad pri niektorých vírusoch alebo špecifických plazmidoch. Najstabilnejším variantom je **integrovaná forma**, kedy sa cudzia DNA začlení priamo do chromozómu hostiteľa. Tento stav je typický pre retrovírusy, ktoré po reverznej transkripcii svojho RNA genómu integrujú DNA do genómu bunky ako provírus. Okrem toho do tejto kategórie patrí aj pôsobenie transpozónov. Naopak, niektoré fragmenty DNA môžu existovať len prechodne, bez schopnosti replikácie. Takáto **prechodná, transientná forma** sa po niekoľkých bunkových deleniach stráca, pretože DNA sa neintegruje ani nereplikuje samostatne, ale dočasne sa uplatní napríklad pri génovom transferi v laboratórnych podmienkach.

Vektory

Vektory sú špeciálne nosiče genetickej informácie, ktoré umožňujú prenos cudzorodej DNA do buniek. V biológii a medicíne sa využívajú najmä v génovom inžinierstve a génovej terapii, kde zohrávajú kľúčovú úlohu pri manipulácii s genetickým materiálom. Vektory musia byť schopné prenášať DNA do cieľových buniek, umožniť jej replikáciu alebo expresiu a zároveň nesmú vyvolávať závažné nežiaduce účinky.

Najstarším a stále používaným typom sú **plazmidové vektory**. Plazmidy sú malé kruhové DNA molekuly nachádzajúce sa v baktériách, ktoré sa dokážu nezávisle replikovať. V laboratóriu sa upravujú tak, aby niesli požadovaný gén spolu s regulačnými sekvenciami, ako sú promótory či selekčné markery. Používajú sa najmä v mikrobiológii a biotechnológii na klonovanie génov alebo produkciu proteínov.

Veľký význam majú aj **vírusové vektory**. Ich prirodzenou vlastnosťou je schopnosť prenikať do buniek, prinášať tam genetickú informáciu a pri niektorých druhoch vírusových vektorov aj integrovať svoju genetickú informáciu, čo sa využíva v génovej terapii. **Retrovírusy** dokážu trvalo začleniť cudzí gén do genómu hostiteľa, avšak nesú riziko mutagénnych účinkov (inzerčná mutagenéza). **Adenovírusy** naopak prinášajú DNA bez integrácie do chromozómu, čo je výhodné pri dočasnej expresii génov. **Adeno-asociované vírusy (AAV)** sa využívajú pre ich vysokú bezpečnosť a nízku imunogenicitu.

Okrem vírusových existujú aj **nevírusové vektory**. Patria sem lipozómy alebo lipidové nanočastice, ktoré obalia DNA a umožnia jej vstup do bunky splynutím s membránou. Takéto systémy sú menej účinné než vírusové, ale bezpečnejšie, pretože nenesú riziko mutácie alebo imunogenicity. Do tejto kategórie patria aj syntetické polyméry či anorganické nanočastice.

Osobitnú skupinu predstavujú **bakteriálne vektory**, využívajúce oslabené patogény (napr. *Salmonella*, *Listeria*), ktoré prirodzene prenikajú do buniek a môžu preniesť rekombinantnú DNA. Takéto prístupy sa testujú napríklad pri vývoji vakcín.

Princíp rekombinačných techník

Základ rekombinačnej DNA technológie tvorí využitie reštrikčných endonukleáz, DNA ligázy, vhodného vektora a konkrétneho želaného génu. DNA s cieľovým génom a vektor (plazmid, vírusový genóm) sa separátne narežú (štiepia) komplementárnymi reštrikčnými enzýmami, vzniknú tzv. „lepivé“ alebo tupé konce a ligáza ich spojí do rekombinantnej molekuly. Vektor obsahuje počiatok replikácie (origin), selekčný marker a často aj regulačné prvky pre expresiu. Rekombinantná DNA sa následne zavedie do hostiteľa – v baktériách transformáciou, pri eukaryotoch transfekciou alebo transdukciou – a vzniknuté klony sa vyselektujú a overia.

Moderné metódy využívajú aj PCR, ktorá umožňuje amplifikáciu, pridávanie špecifických štiepiacich miest pre reštrikčné endonukleázy a presné „šitie“ fragmentov (napr. Gibson assembly, Golden Gate). Pri cielej génovej oprave sa uplatňuje homológna rekombinácia (HDR) s dodanou šablónou alebo neriadené spojenie nehomologických koncov (NHEJ), ktoré vedie k rámcovým deléciám a „knock-outom“. Programovateľné nukleázy, ako **ZFN**, **TALEN** a **CRISPR-Cas9/12**, vytvárajú dvojvláknový zlom v presne určenej sekvencii; výsledok určuje voľba opravnej dráhy (HDR vs. NHEJ) a dizajn donorovej šablóny.

Bezstrihové editovanie využíva „**base editing**“ (oprava jednej bázy/nukleotidu) a „**prime editing**“ (oprava krátkych úsekov), ktoré umožňujú meniť jednotlivé bázy alebo krátke úseky bez vzniku dvojvláknových zlomov, čím sa znižuje riziko mimocieľových (off-target) zásahov. V klinických aplikáciách sa editačný aparát dodáva vo forme mRNA alebo proteín-RNP komplexov, prípadne tranzientne prostredníctvom AAV alebo lentivírusov. Veľký dôraz sa kladie na presné tkanivové zacielenie (špecifické promótor, serotypy AAV, ligandované nanočastice) a minimalizáciu vedľajších účinkov.

Základné spôsoby génovej terapie

Pri mutáciách vedúcich k strate génu/génového produktu sa najčastejšie dodáva funkčná kópia génu, ktorá nahrádza chýbajúcu alebo nefunkčnú informáciu. Pri oprave génov tzv. **gene editingu** sa opravuje presná chyba v DNA, ideálne bez vloženia cudzorodých sekvencií. Pri liečbe nádorov sa využíva cielečná cytotoxicita – buď expresia tzv. „samovražedného“ génu, ktorý aktivuje netoxickú látku – proliečivo/predliečivo na pre bunku toxický produkt, alebo stimulácia imunitného systému proti nádoru, napríklad pomocou **CAR-T buniek**. Vypnutie génu (**knock-down**) sa dosahuje antisense oligonukleotidmi či mechanizmom RNAi. V moderných variantoch **CRISPR-i** (CRISPR interference) a **CRISPR-a** (CRISPR activation) sa využíva katalyticky neaktívny Cas proteín (dCas = dead Cas), ktorý je naviazaný na represor alebo aktivátor, čím sa gén cieleným spôsobom vypne alebo aktivuje.

CRISPR – Cas systém

Je prirodzený antivírusový mechanizmus baktérií a archeí, ktorý poskytuje adaptívnu imunitu voči bakteriofágom ale aj voči plazmidom. Je založený na špecifických nahromadených pravidelne umiestnených krátkych palindromických opakovaniach úsekov genómu – **CRISPR** (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats) – a sprievodných

génov pre proteíny Cas. Pri prvej infekcii si baktéria začlení krátky fragment DNA vírusu (tzv. spacer) do CRISPR lokusu. Tento úsek sa následne transkribuje na krátku **crRNA**, ktorá spolu s Cas proteínom rozpoznáva zodpovedajúcu sekvenciu pri opakovanej infekcii a cielene ju degraduje. Najznámejší je proteín **Cas9**, ktorý umožňuje presný rez DNA, ale poznáme aj ďalšie varianty – **Cas12** zameraný na DNA a **Cas13** špecifický pre RNA. Základný princíp CRISPR-Cas sa často opisuje ako **dvojzložkový systém**, kde crRNA poskytuje sekvenčnú špecifickosť a Cas proteín vykonáva štiepenie cieľovej nukleovej kyseliny. Tento mechanizmus poskytuje baktériám adaptívnu imunitnú pamäť a zároveň sa stal základom moderného genetického inžinierstva.

Génová terapia

Génová terapia je liečba chorôb pomocou zásahov do DNA/RNA tak, aby sa do cieľových buniek vniesol funkčný gén, opravila sa mutácia alebo sa vypla expresia pre zdravie škodlivého génu/alely. Väčšina monogénových porúch vzniká zníženou funkciou či stratou funkcie génu; terapeutický cieľ je preto jednoduchý: dodať správnu sekvenciu do správnych buniek, v správnom čase a trvalo bezpečným spôsobom. Klinicky sa využívajú najmä prístupy „doplniť, nahradiť, vypnúť“. Pri „doplniť“ sa vkladá kópia génu, pri „nahradiť“ sa defektná sekvencia edituje na fyziologickú a pri vypínaní sa blokuje expresia patogénnej verzie (na úrovni DNA, RNA alebo proteínu).

Prvé regulačne schválené terapie otvorili cestu pre rutinnú klinickú prax. Napríklad: Luxturna cieľi mutácie v *RPE65* géne pri dedičnej retinopatii, Zolgensma dodáva funkčnú kópiu génu *SMN1* pri spinálnej muskulárnej atrofii, Strimvelis prináša funkčný gén (*ADA*) pre chýbajúci ADA enzým pri forme SCID. V onkológii sa uplatnili aj génovo modifikované bunky (CAR-T; Kymriah, Yescarta) a onkolytické vírusy (Imlygic). Spoločným menovateľom úspechu je jasná kauzalita medzi mutáciou a fenotypom, dostupnosť vhodných cieľových buniek a spoľahlivý prenosový systém.

Kľúčové požiadavky zahŕňajú presnú molekulovú diagnostiku vrátane sekvenovania a validácie patogenicity variantu, výber cieľových buniek s dlhodobým obnovovacím potenciálom, ideálne autológnych kmeňových buniek, použitie bezpečného a účinného vektora a kontrolu génovej expresie. **Vírusové vektory** vrátane adeno-asociovaných vírusových, lentivírusových, adenovírusových a retrovirusových vektorov zostávajú najúčinnnejšími doručovacími systémami. **Nevírusové prístupy** zahŕňajú nahú DNA, lipidové a polymérové nanočastice a fyzikálne metódy, ako je elektroporácia. Terapia sa môže uskutočniť **in vivo**, teda doručením terapeutického konštruktu priamo do cieľového tkaniva, alebo **ex vivo**, úpravou izolovaných buniek s následnou reinfúziou pacientovi. Prístup *ex vivo* umožňuje lepšiu kontrolu úpravy a selekcie modifikovaných buniek, zatiaľ čo prístup *in vivo* je praktickejší pri tkanivách, ktoré nemožno bezpečne odobrať, expandovať a opätovne reinfundovať.

Výhody génovej terapie spočívajú v príčinnej (kauzálnej) povahe zásahu a potenciáli jednorazového, dlhodobého efektu. Limity predstavujú imunogénnosť vektorov, náhodná

integrácia s rizikom inzerčnej mutagenézy, obmedzená kapacita vektorov, prechodná expresia pri neintegračných systémoch, komplexnosť polygénových ochorení, cena terapie a tým limitovaná dostupnosť pre všetkých pacientov s daným ochorením. Zásadná je bezpečnosť: zabránenie rekombináciám vektorov, mimocieľovým zásahom a off-target efektom (mimo cieľového orgánu/tkaniva), ako aj etické mantinely (u človeka striktne len somatická, nie zárodočná terapia).

V nasledujúcej tabuľke uvádzame prehľad základných foriem génovej terapie.

Typ zásahu	Princíp	Techniky / nástroje
Doplnenie génu	Do bunky sa vnesie funkčná kópia chýbajúceho génu	Rekombinantné vektory (AAV, retro/lenti), plazmidy, liposómy
Náhrada/oprava génu	Mutovaný úsek sa vystrihne a nahradí zdravou sekvenciou	CRISPR – Cas9, TALEN, ZFN; HDR s donorovou šablónou
Vypnutie génu (ablácia)	Potlačenie expresie patogénneho génu	RNAi, antisense oligonukleotidy, CRISPR-i
Samovražedná terapia	Do buniek sa vnesie „killer“ gén, ktorý je aktivovaný liečivom alebo produkuje toxín	HSV – timidínkináza + ganciklovir; „suicide gene therapy“
Imunoterapia génmi	Geneticky upravené bunky alebo vírusy stimulujú imunitu proti nádoru	CAR-T bunky, onkolytické vírusy (modifikovaný HSV, adenovírus)
Mitochondriálna terapia	Náhrada mutovaných mitochondriálnych génov	Prenos jadra do donorového oocyту, mitochondriálne transfery



Modelové otázky

1. Prirodzené spôsoby vstupu cudzej DNA do bunky sú:

- a) transformácia
- b) transkripcia
- c) transdukcia
- d) konjugácia

2. Medzi experimentálne techniky prenosu DNA do bunky patrí:

- a) elektroforéza
- b) mikroinjekcia
- c) lipofekcia
- d) fotosyntéza

3. Vírusové vektory používané v génovom inžinierstve môžu byť:

- a) retrovírusy
- b) chloroplasty
- c) adenovírusy
- d) mitochondrie

4. Cudzia DNA môže v bunke existovať ako:

- a) plazmidová forma
- b) mitochondriálna forma
- c) epizomálna forma
- d) ribozomálna forma

5. Integrovaná forma cudzej DNA je typická pre:

- a) retrovírusy
- b) plazmidy
- c) transpozóny
- d) liposómy

6. Plazmidové vektory:

- a) sú malé kruhové molekuly DNA schopné autonómnej replikácie
- b) sa prirodzene nachádzajú v jadre eukaryotických buniek
- c) môžu niesť selekčné markery a promótory
- d) nikdy sa nepoužívajú na produkciu proteínov

7. Vírusové vektory:

- a) retrovírussy sa integrujú do genómu hostiteľa
- b) adenovírusy prinášajú DNA bez integrácie
- c) adeno-asociované vírusy sú vysoko imunogénne
- d) všetky vírusové vektory sú vždy patogénne

8. Nevírusové vektory:

- a) zahŕňajú lipozómy a lipidové nanočastice
- b) sú menej bezpečné ako vírusové vektory
- c) môžu byť tvorené syntetickými polymérmi
- d) sa používajú len v rastlinnej biotechnológii

9. Bakteriálne vektory:

- a) využívajú oslabené patogény, ako *Salmonella* a *Listeria*
- b) neumožňujú prenos rekombinantnej DNA
- c) skúšajú sa pri vývoji vakcín
- d) dnes sú už úplne nahradené vírusovými vektormi

10. Rekombinačná DNA technológia:

- a) využíva reštrikčné endonukleázy a DNA ligázu
- b) umožňuje spojiť cudzí gén s vektorom
- c) je založená na transkripcii do mRNA
- d) neumožňuje selekciu klonov

11. Programovateľné nukleázy:

- a) ZFN, TALEN a CRISPR-Cas dokážu vytvoriť dvojvláknový zlom DNA
- b) výsledok editácie závisí od voľby opravnej dráhy HDR alebo NHEJ
- c) využívajú iba retrovírussy
- d) patria výlučne medzi bakteriálne enzýmy bez použitia v genetike

12. Base editory a prime editory:

- a) umožňujú meniť bázy alebo krátke úseky DNA bez dvojvláknových zlomov
- b) zvyšujú riziko off-target efektov
- c) predstavujú moderné varianty presného editovania
- d) vyžadujú vždy integráciu do chromozómu hostiteľa

13. Pri mutáciách spôsobujúcich stratu funkčnosti génu v génovej terapii sa najčastejšie:

- a) odstraňuje celý chromozóm
- b) dodáva funkčnú kópiu génu
- c) využíva RNAi
- d) edituje presnú chybu v DNA

14. Cieľená cytotoxicita v gébovej terapii môže prebiehať:

- a) expresiou „samovražedného“ génu, čo vedie k aktivovaniu proliečiva/predliečiva
- b) expresiou génu pre rezistenciu na antibiotiká
- c) aktiváciou imunitného systému pomocou CAR-T buniek
- d) expresiou génu pre GFP (zelený fluorescenčný proteín)

15. Vypnutie génu (knock-down) sa dosahuje:

- a) antisense oligonukleotidmi
- b) mechanizmom RNAi
- c) CRISPR-x/CRISPR-a systémom
- d) transkripciou génu na mRNA

16. CRISPR-Cas systém pri baktériách:

- a) poskytuje adaptívnu imunitu voči bakteriofágom
- b) využíva krátke fragmenty vírusovej DNA uložené ako spacers
- c) degraduje RNA hostiteľskej bunky
- d) bol objavený ako systém obrany archeí proti plazmidom iba v roku 2020

17. Najznámejšie Cas proteíny:

- a) Cas9 umožňuje presné naštípenie DNA
- b) Cas9 degraduje proteíny
- c) Cas12 a Cas13 fungujú výhradne pri RNA vírusoch
- d) Cas12 a Cas13 sú zamerané na DNA a RNA, v tomto poradí

18. Princíp gébovej terapie spočíva najmä v tom, že:

- a) sa do cieľových buniek vnesie funkčný gén
- b) sa trvalo umlčí všetky mutované gény v tele
- c) sa opraví mutácia alebo umlčí škodlivá alela
- d) sa nahrádza celé jadro bunky

19. Prvé regulačne schválené terapie zahŕňajú:

- a) Luxturna pre mutácie v *RPE65*
- b) Zolgensma pre spinálnu muskulárnu atrofiu
- c) penicilín ako prvé antibiotikum
- d) chemoterapiu založenú na cytostatiku cisplatina

20. Kľúčové požiadavky pre úspešnú génovú terapiu sú:

- a) presná molekulárna diagnóza
- b) výber vhodných cieľových buniek
- c) dodanie génu do cytoplazmatických inklúzií
- d) úplná eliminácia RNA hostiteľa

21. Ex vivo génová terapia:

- a) znamená úpravu izolovaných buniek mimo tela a ich návrat pacientovi
- b) umožňuje selekciu a kontrolu upravených buniek
- c) je praktickejšia pre tkanivá, ktoré nemožno odoberať
- d) vždy prebieha priamo v tele pacienta

22. Medzi limity génovej terapie patrí:

- a) imunogénnosť vektorov
- b) riziko inzerčnej mutagenézy
- c) dlhodobý účinok pri integrujúcich systémoch
- d) schopnosť riešiť všetky polygénové ochorenia

23. CRISPR/Cas je:

- a) dvojzložkový imunitný systém eukaryotických buniek
- b) prirodzene sa vyskytujúci adaptácie schopný dvojzložkový imunitný systém prokaryotických organizmov
- c) prirodzene sa vyskytujúci adaptácie schopný dvojzložkový imunitný systém vírusov
- d) dvojzložkový imunitný systém prokaryotických buniek vyskytujúci sa v mitochondriách alebo chloroplastoch

24. CRISPR/Cas:

- a) je typ plazmidu
- b) je systém, ktorým sa baktérie bránia napadnutiu cudzorodou DNA
- c) je systém, ktorým sa vírusy bránia napadnutiu cudzorodou DNA
- d) invadujúcu nukleovú kyselinu rozstrihá nešpecificky

25. K možnostiam využitia CRISPR/Cas v medicínskej praxi patrí:

- a) protinádorová terapia
- b) liečba monogénovo podmienených ochorení
- c) liečba vírusových infekcií
- d) riešenie rezistencie na antibiotiká

26. Anti-CRISPR (Acr) proteíny:

- a) blokujú väzbové miesta DNA
- b) blokujú štiepenie DNA
- c) enzymaticky deaktivujú CRISPR/Cas
- d) sú prenášané plazmidmi

27. Crisprové antibiotiká:

- a) nemôžu byť cielené na plazmidy zodpovedné za rezistenciu baktérií
- b) majú širokospektrálny účinok
- c) môžu byť zamerané priamo voči genómu baktérií
- d) inhibujú syntézu bakteriálnej bunkovej steny

28. Génová terapia:

- a) je somatická alebo zárodočná
- b) z etických dôvodov je u ľudí vo veľkej miere zakázaná
- c) môže byť *in vivo* alebo *ex vivo*
- d) používa genetický materiál na liečbu alebo prevenciu ochorenia

29. Somatická génová terapia:

- a) používa vírusové vektory na transdukciiu génov
- b) používa vírusové vektory na transfekciu génov
- c) používa plazmidy na transfekciu génov
- d) používa plazmidy na transdukciiu génov

30. RNA terapia:

- a) používa molekuly založené na DNA na liečbu ochorení
- b) používa antisense oligonukleotidy
- c) môže sa použiť na zavedenie mRNA do buniek za účelom obnovy chýbajúceho enzýmu
- d) nepoužíva aptaméry

31. Vektor v génovej terapii:

- a) znamená systém prenosu génu
- b) je vždy integrovaný do genómu hostiteľa
- c) môže byť odvodený z vírusu odstránením vírusových génov
- d) v závislosti od typu sa môže integrovať do genómu hostiteľa

32. Plazmidom môže byť podmienená:

- a) rezistencia na antibiotiká, chemoterapeutiká a ťažké kovy
- b) replikácia bakteriálneho genómu
- c) produkcia antibiotík a toxínov
- d) degradácia a oxidácia inak biologicky inertných alebo toxických organických látok

33. Plazmidom môže byť podmienená:

- a) tvorba reštrikčných a modifikačných enzýmov
- b) tvorba jadrovej membrány baktérií
- c) schopnosť symbiózy
- d) syntéza membránových organel baktérií

34. Prenos plazmidu z bunky do bunky:

- a) delíme na horizontálny a vertikálny
- b) horizontálny sa deje aj medzi rôznymi druhmi a rodmi baktérií
- c) vertikálny sa deje aj medzi rôznymi druhmi a rodmi baktérií
- d) sa deje aj počas amitózy

35. Horizontálny prenos plazmidu z bunky do bunky:

- a) sa deje počas amitózy z materskej na dcérske bunky
- b) prebieha len medzi rovnakými rodmi baktérií
- c) je zodpovedný za medzidruhový a medzirodový transfer rezistencie na antibiotiká
- d) prebieha prostredníctvom konjugácie

36. Choroby vhodné na génovú terapiu sú:

- a) Downov syndróm
- b) malignita
- c) ťažká kombinovaná imunodeficiencia – SCID
- d) Duchennova svalová dystrofia

37. Klonovanie sa využíva pri príprave:

- a) enzýmov
- b) hormónov
- c) vakcín
- d) krvných faktorov

38. Kozmidy sú vektory získané spojením:

- a) vírusov a ľudskej DNA
- b) plazmidov a fágov
- c) fágov a proteínov
- d) YAC-kov a kvasiniek

39. Kozmidy sú:

- a) antibiotiká
- b) vektory
- c) klonovacie miesta
- d) enzýmy

40. Podľa základnej funkcie delíme vektory na:

- a) klonovacie
- b) expresné
- c) lokalizované
- d) multifunkčné

41. Retrovírusové vektory pri γ -retrovírusovej génovej terapii môžu infikovať:

- a) nedeliace sa rakovinové bunky
- b) len deliace sa bunky
- c) nedeliace a deliace sa bunky
- d) len nedeliace sa bunky

42. Rekombinantná DNA:

- a) nedá sa vyrobiť umelo
- b) štandardná skratka je rDNA
- c) je DNA, ktorá obsahuje dve alebo viac sekvencií, ktoré sa bežne spolu nevyskytujú
- d) nemôže vzniknúť v prírode

43. Technológia rekombinantnej DNA:

- a) je súbor metód na tvorbu rekombinantnej DNA
- b) nie je technológiou na tvorbu DNA
- c) môže meniť DNA v živých organizmoch
- d) zahŕňa klonovacie techniky

44. Technológia rekombinantnej DNA je:

- a) užitočná na produkciu rekombinantných proteínov (napr. inzulín, rastový hormón)
- b) zakázaná
- c) zbytočná
- d) využívaná v génovej terapii

45. Cudzorodá DNA môže vstúpiť do bakteriálnej bunky pomocou:

- a) transdukcie
- b) sexdukcie
- c) malporácie
- d) transformácie

46. Cudzorodá DNA môže tiež vstúpiť do bakteriálnej bunky pomocou:

- a) transdukcie
- b) fortifikácie
- c) konjugácie
- d) malporácie

47. Cudzorodá DNA môže vstúpiť do eukaryotickej bunky pomocou:

- a) transpozónov
- b) fortifikácie
- c) elektroporácie
- d) transdukcie

48. Bakteriálna rezistencia na antibiotiká môže byť spôsobená:

- a) hyperpláziou
- b) prítomnosťou génu rezistencie na antibiotikum v baktérii
- c) prítomnosťou plazmidu
- d) prítomnosťou transpozónu

49. Plazmid:

- a) je dvojvláknová kruhová DNA
- b) je lineárna jednovláknová RNA
- c) môže baktérii priniesť výhodu
- d) nachádza sa len v eukaryotických bunkách

50. Replikácia plazmidu:

- a) závisí od bakteriálneho chromozómu
- b) je nezávislá od bakteriálneho chromozómu
- c) prebieha mechanizmom „rolling circle“
- d) prebieha mechanizmom „rolling stone“

51. Plazmid – ďalšie vlastnosti:

- a) môže slúžiť ako vektor na prenos génov
- b) je lineárna jednovláknová RNA
- c) môže niesť gén rezistencie na antibiotikum
- d) nachádza sa v eukaryotickom jadre

52. Transpozóny:

- a) vznikajú iba umelo v laboratóriu
- b) sú DNA prvky, ktoré sa môžu pohybovať v rámci genómu alebo medzi genómami
- c) nie sú prítomné vo všetkých genómoch
- d) môžu pôsobiť ako prirodzené mutagény

53. Transpozóny:

- a) sú prítomné v každom genóme
- b) vznikajú iba umelo v laboratóriu
- c) môžu prenášať gény rezistencie na antibiotiká
- d) môžu pôsobiť ako prirodzené mutagény

54. Aplikácie technológie rekombinantnej DNA:

- a) medicína
- b) biotechnológia
- c) výskum
- d) oblasť životného prostredia

55. Konjugácia:

- a) je prenos genetického materiálu medzi dvoma bakteriálnymi bunkami
- b) prebieha prostredníctvom pilu
- c) je prenos genetického materiálu medzi dvoma mnohobunkovými eukaryotickými organizmami
- d) začína sa tým, že recipientná bunka vytvorí pilus smerom k donorskej bunke

56. Ktoré mechanizmy umožňujú prirodzený prenos DNA medzi baktériami?

- a) transformácia
- b) transdukcia
- c) konjugácia
- d) translokácia

57. Ktoré laboratórne metódy sa využívajú na vnesenie cudzej DNA do bunky?

- a) replikácia
- b) elektroporácia
- c) lipofekcia
- d) mikroinjekcia

58. Ktoré tvrdenia o formách cudzej DNA v bunke sú správne?

- a) plazmidová forma zabraňuje autonómnej replikácii
- b) epizomálna forma sa replikuje koordinovane s genómom
- c) integrovaná forma znamená začlenenie DNA do chromozómu
- d) transientná forma sa stáva trvalou súčasťou genómu

59. Ktoré typy vektorov sa využívajú v génovom inžinierstve a terapii?

- a) plazmidové
- b) vírusové (stafylokoky, streptokoky)
- c) lipidové nanočastice
- d) ribozómy

60. Ktoré tvrdenia o CRISPR-Cas systéme sú správne?

- a) poskytuje baktériám adaptívnu imunitu proti adenovírusom
- b) využíva krátke úseky vírusovej DNA uložené v CRISPR lokuse
- c) proteín Cas9 umožňuje presný rez DNA
- d) pôvodne ide o mechanizmus translácie

Klíč k modelovým otázkám

1. SNSS	21. SSNN	41. NSNN
2. NSSN	22. SSNN	42. NSSN
3. SNSN	23. NSNN	43. SNSS
4. SNSN	24. NSNN	44. SNNS
5. SNSN	25. SSSS	45. SNNS
6. SNSN	26. SSSN	46. SNSN
7. SSNN	27. NNSN	47. SNNS
8. SNSN	28. SNSS	48. NSSS
9. SNSN	29. SNSN	49. SNSN
10. SSNN	30. NSSN	50. NSSN
11. SSNN	31. SNSS	51. SNSN
12. SNSN	32. SNSS	52. NSNS
13. NSNN	33. SNSN	53. SNSS
14. SNSN	34. SSNS	54. SSSS
15. SSNN	35. NNSS	55. SSNN
16. SSNN	36. NSSS	56. SSSN
17. SNNS	37. SSSS	57. NSSS
18. SNSN	38. NSNN	58. NSSN
19. SSNN	39. NSNN	59. SNSN
20. SSNN	40. SSNN	60. NSSN

13 Vzťahy medzi mikro- a makroorganizmami

Jednobunkové aj mnohobunkové organizmy žijú v sústave vzťahov, ktoré ovplyvňujú ich životné prejavy. U človeka rozoznávame **indiferentné vzťahy** (mnohé mikróby nás vôbec neovplyvňujú), stabilné spolužitie **komenzálov** a **symbiontov** na koži, slizniciach a v čreve, ale aj **patogénne interakcie** vedúce k ochoreniu. Rovnovážne zloženie **mikrobioty** sa nazýva **eubióza** (eumikróbia) a jej narušenie **dysbióza** (sa napr. spája so zápalmi hrubého čreva, obezitou, autoimunitnými chorobami a poruchami vývinu nervového systému).

Patogénnosť označuje schopnosť mikroorganizmu vyvolať ochorenie. **Priebeh infekcie** závisí od jeho virulencie, infekčnej dávky a od stavu imunity hostiteľa. **Obligatórne patogény** (napr. *Vibrio cholerae*, *Salmonella typhi*) spôsobujú ochorenie takmer vždy, zatiaľ čo **oportúnne patogény** vyvolávajú chorobu najmä pri poruche imunity alebo po vstupe do neobvyklého prostredia (napr. *E. coli* vo vylučovacej sústave).

Premorenosť populácie výskytom určitého parazita (počet nakazených ľudí) je dôležitý epidemiologický ukazovateľ, ktorý vysvetľuje lokálne rozdiely v chorobnosti a umožňuje efektívne hodnotiť účinnosť preventívnych opatrení či potrebu cielenej intervencie v danej oblasti.

Baktérie

Baktérie sú jednobunkové prokaryotické organizmy, ktoré sú v porovnaní s eukaryotickými bunkami človeka výrazne menšie (väčšina meria približne 0,2 – 2 µm). Ich morfológia je rozmanitá. **Koky**, teda guľovité baktérie, sa môžu vyskytovať ako jednotlivé bunky, dvojice nazývané **diplokoky**, reťazce známe ako **streptokoky** alebo hroznovité zhluky typické pre **stafylokoky**. **Bacily**, čiže paličkovité baktérie, môžu byť rovné alebo zakrivené a niektoré vytvárajú aj reťazce. **Vibria** majú tvar zahnutých čiarkovitých buniek, ako je to pri druhu *Vibrio cholerae*. **Spirily** a **spirochéty** sú špirálovité baktérie, pričom spirochéty sú tenké, dlhé a veľmi pohyblivé, príkladom je *Treponema pallidum*. Okrem toho existujú aj **filamentózne formy** baktérií, ktoré tvoria vláknité útvary, ako napríklad *Actinomyces*. Niektoré baktérie majú schopnosť vytvárať vysoko odolné **spóry** s minimálnym obsahom vody a utlmeným metabolizmom, čo im umožňuje prežiť aj extrémne podmienky prostredia.

Vzťah baktérií ku kyslíku je naozaj druhovo špecifický. Okrem **obligátnych aeróbov** a **obligátnych anaeróbov** existujú aj **fakultatívne anaeróby**, **mikroaerofily** a **aerotolerantné anaeróby**. Reprodukcia baktérií prebieha štandardne **nepohlavne (binárne delenie)**, čo vedie ku klonálnej populácii. Genetickú diverzitu zabezpečujú horizontálne prenosy génov – transformácia, transdukcia a konjugácia. Plazmidy sú malé autonómne replikóny a môžu sa prenášať vertikálne pri delení aj horizontálne konjugáciou (ale aj transformáciou a transdukciou). Plazmidy často kódujú antibiotickú rezistenciu, rezistenciu na ťažké kovy,

toxíny, faktory virulencie, reštrikčno-modifikačné systémy alebo metabolické dráhy (napr. degradáciu aromatických zlúčenín či pesticídov).

Prirodzenou obrannou výbavou mnohých baktérií je adaptívny **CRISPR/Cas systém**, ktorý rozpoznáva a štiepi cudziu nukleovú kyselinu. Jeho aktivitu môžu tlmiť anti-CRISPR proteíny blokovaním väzby alebo katalytickej funkcie. V diagnostike antimikrobiálnej rezistencie sa okrem fenotypových testov uplatňujú genotypové metódy, ktoré predpovedajú prítomnosť konkrétnych génov (nie kvantitu účinku). Dokážu zachytiť aj nové varianty determinantov rezistencie. Klinicky významná je aj jednoduchá mikroskopia s farbením podľa Grama.

Mikrobiota človeka prirodzene osídľuje kožu a črevo. V hrubom čreve nachádzame okrem *E. coli* aj kvasné a hnilobné nepatogénne baktérie, ktoré zohrávajú dôležitú úlohu pri trávení a udržiavaní rovnováhy vnútorného prostredia. V krvi zdravého jedinca sa baktérie nenachádzajú. Niektoré baktérie sú pôvodcami mnohých závažných ochorení. Patrí sem tuberkulóza vyvolaná *Mycobacterium tuberculosis*, tetanus spôsobený *Clostridium tetani*, botulizmus spôsobený *Clostridium botulinum*, respiračné infekcie či ťažké hnačkové ochorenia vyvolané baktériami ako *Salmonella*, *Shigella* alebo enteropatogénne kmene *E. coli*. Medzi najznámejšie pohlavne prenosné bakteriálne infekcie patria syfilis (*Treponema pallidum*) a kvapavka (*Neisseria gonorrhoeae*). Jed, ktorý produkuje *Clostridium botulinum*, botulotoxín patrí medzi najsilnejšie známe jedy, spôsobuje blokádu nervovosvalového prenosu a vedie k ťažkým paralýzám, až smrti. Ako aj mnoho iných látok, aj botulotoxín je možné použiť v kontrolovaných a extrémne nízkych dávkach, napríklad pri liečbe svalových spazmov či v esteticknej medicíne na vyhladzovanie vrások.

Parazitické prvoky (protozoá)

Prvoky sú eukaryotické, heterotrofné jednobunkové organizmy, ktoré majú často zložité životné cykly a môžu využívať viacerých hostiteľov. Povrch bunky môže niesť bičíky alebo riasinky, môže byť prítomná undulujúca membrána a pohyb sa môže uskutočňovať aj pomocou panôžok. Mnohé prvoky sú schopné vytvárať **anabiotické formy** (odolné pokojové štádiá), ako sú **cysty**, ktoré im umožňujú dlhodobo pretrvávať aj v nepriaznivých podmienkach. Diagnostika je založená na mikroskopickom vyšetrení natívných preparátov alebo farbených preparátov a je dopĺňaná imunologickými a molekulovými metódami. Parazitické prvoky možno podľa hlavného **miesta infekcie** rozdeliť na črevné a iné luminálne formy, krvné formy a tkanivové formy.

Typickým zástupcom **dutinových protozoí** je *Trichomonas vaginalis*, patrí medzi najväčšie ľudské bičíkovce. Spôsobuje urogenitálnu trichomonózu, u žien s výtokom po približne 10 dňoch inkubácie, u mužov často len latentnú uretritídu. Majú hruškovitý tvar, 15 – 30 µm, štyri voľné bičíky, piaty v undulujúcej membráne a axiálny axostyl. Prenáša sa pohlavným stykom. *Trichomonas vaginalis* sa neprenáša krvou ani kvapôčkovou infekciou, ale výlučne intímny kontaktom, čo z neho robí typický sexuálne prenosný protozoálny patogén.

Príkladom črevných parazitických prvokov je *Entamoeba histolytica*. Je to jedna z výrazne patogénnych améb človeka, vyvolávajúca amébovú dyzentériu s krvavými hnačkami, bolestivými kŕčmi a rizikom extraintestinálnych abscesov. Vyskytuje sa ako neinvazívna **forma minuta** a invazívna **magna**. Tvorí odolné štvorjadrové cysty a prenáša sa fekálno-orálnou cestou. Napadnutie sliznice hrubého čreva vedie k amebiáze (vzniku plochých krvácajúcich vredov na sliznici hrubého čreva).

Ďalším príkladom je *Giardia intestinalis* – bičíkovec parazitujúci v tenkom čreve, ktorý sa excystuje v duodéne, prichytáva sa prísavkou a často vyvoláva malabsorpčný syndróm s mastnou, hlienovitou stolicou. Diagnóza sa opiera o nález trofozoitov v duodenálnej šťave alebo o antigénové/DNA testy.

Medzi krvné a tkanivové protozoá patrí napr. *Toxoplasma gondii*, veľmi rozšírený parazit človeka a zvierat. V jeho životnom cykle rozoznávame viaceré vývojové štádiá. **Tachyzoity** sú rýchlo sa deliace virulentné formy, ktoré sa šíria v organizme počas akútnej fázy infekcie a spôsobujú poškodenie buniek. **Bradyzoity** sú pomaly sa deliace formy, ktoré pretrvávajú vo vnútri tkanivových cyst najmä v mozgu, kostrových svaloch, v pľúcach a pečeni. Tu je *Toxoplasma* v tzv. latentnom stave, čiže ide o chronickú fázu infekcie.

Definitívnym hostiteľom je mačka a iné mačkovité šelmy, ktoré vylučujú **oocysty** do prostredia, ktoré sú veľmi odolné a schopné prežívať dlhodobo. U imunokompetentných jedincov býva toxoplazmóza väčšinou bezpríznaková, u imunodeficientných pacientov však vedie k ťažkým komplikáciám. Infekcia sa môže preniesť aj transplacentárne, čo spôsobuje kongenitálnu toxoplazmózu s vážnymi následkami pre plod. Ďalším príkladom sú plazmódia (napr. *P. falciparum*, *P. vivax*, *P. ovale*, *P. malariae*), ktoré spôsobujú maláriu. Po prenose **sporozoitov** samičkou komára *Anopheles* prebieha hepatálna a následne erytrocytárna fáza ochorenia, ktorá spôsobuje periodické febrilné záchvaty. *P. vivax* a *P. ovale* pretrvávajú ako **hypnozoity** a spôsobujú relapsy.



Modelové otázky

1. Baktérie sú:

- a) nebunkové patogény ľudí
- b) bunkové patogény ľudí
- c) eukaryotické mikroorganizmy
- d) prokaryotické mikroorganizmy

2. Veľkosť baktérií je:

- a) rádovo porovnateľná s veľkosťou ľudskej eukaryotickej bunky
- b) nie je rádovo porovnateľná s veľkosťou ľudskej eukaryotickej bunky
- c) meraná v μm
- d) meraná v mm

3. Z hľadiska vzťahu baktérií ku kyslíku platí, že:

- a) aeróbne baktérie na svoju existenciu nevyžadujú kyslík
- b) anaeróbne baktérie na svoju existenciu vyžadujú kyslík
- c) na anaeróbne baktérie pôsobí kyslík toxicky
- d) aeróbne baktérie na svoju existenciu vyžadujú kyslík

4. Ktoré baktérie trvalo žijú v hrubom čreve?

- a) kvasné baktérie
- b) Escherichia coli
- c) hnilobné baktérie
- d) nepatogénne baktérie

5. Baktérie možno nájsť:

- a) na povrchu organizmov
- b) v krvi zdravého človeka
- c) v bakteriofágoch
- d) v hrubom čreve človeka

6. Baktérie vyvolávajú:

- a) besnotu
- b) tuberkulózu
- c) detskú kiahne
- d) tetanus

7. Mikroskopické huby:

- a) sú prokaryotické organizmy
- b) sú heterotrofné organizmy
- c) sú schopné fotosyntézy
- d) sú eukaryotické organizmy

8. Prvé antibiotikum bolo:

- a) izolované z vírusu
- b) penicilín
- c) produkované druhom *Penicillium notatum*
- d) vankomycín

9. Spóra bakteriálnej bunky sa od materskej bunky odlišuje:

- a) rozdielnym obsahom vody
- b) vnímavosťou k činiteľom vonkajšieho prostredia
- c) aktivitou látkovej výmeny
- d) taxonomickým zaradením

10. Najznámejšími bakteriálnymi pôvodcami pohlavných ochorení sú:

- a) *Salmonella*
- b) *Mycobacterium tuberculosis*
- c) *Treponema pallidum*
- d) *Neisseria gonorrhoeae*

11. Pôvodcami respiračných bakteriálnych infekcií sú zástupcovia rodov:

- a) *Salmonella*
- b) *Mycobacterium tuberculosis*
- c) *Treponema*
- d) *Escherichia*

12. Patogénne baktérie môžu spôsobovať:

- a) salmonelózu
- b) choleru
- c) ovčie kiahne
- d) osýpky

13. Pôvodcami ťažkých bakteriálnych hnačkových ochorení sú zástupcovia rodov:

- a) *Salmonella*
- b) *Mycobacterium*
- c) *Shigella*
- d) *Escherichia*

14. Plazmid:

- a) je bakteriálna bunka schopná sama vyrobiť
- b) vie bakteriálna bunka získať od inej bunky
- c) stráca donorová bakteriálna bunka počas konjugácie
- d) je počas konjugácie replikovaný, donorová bakteriálna bunka ho nestráca

15. Plazmidom môže byť podmienená:

- a) rezistencia na antibiotiká, chemoterapeutiká a ťažké kovy
- b) replikácia bakteriálneho genómu
- c) produkcia antibiotík a toxínov
- d) degradácia a oxidácia inak biologicky inertných alebo toxických organických látok

16. Genotypové metódy na sledovanie rezistencie baktérií na antibiotiká:

- a) detegujú gény alebo mutácie spojené s rezistenciou a zvyčajne predpovedajú fenotypovú rezistenciu
- b) dokážu zachytiť úplne nové, dosiaľ neznáme genetické determinanty
- c) dokážu predpovedať rezistenciu a identifikovať nové varianty známych génov rezistencie
- d) nezachytávajú gény rezistencie bez fenotypového prejavu

17. Farbenie podľa Grama umožňuje:

- a) farbenie spór baktérií
- b) farbenie deliacich sa buniek
- c) identifikáciu fakultatívne anaeróbných baktérií
- d) identifikovať bunky infikované vírusom

18. Plazmidom môže byť podmienená:

- a) tvorba reštrikčných a modifikačných enzýmov
- b) tvorba jadrovej membrány baktérií
- c) schopnosť symbiózy
- d) syntéza membránových organel baktérií

19. Prenos plazmidu z bunky do bunky:

- a) delíme na horizontálny a vertikálny
- b) horizontálny sa deje aj medzi rôznymi druhmi a rodmi baktérií
- c) vertikálny sa deje aj medzi rôznymi druhmi a rodmi baktérií
- d) sa deje aj počas amitózy

20. Horizontálny prenos plazmidu z bunky do bunky:

- a) sa deje počas amitózy z materskej na dcérske bunky
- b) prebieha len medzi rovnakými rodmi baktérií
- c) je zodpovedný za medzidruhový a medzirodový transfer rezistencie na antibiotiká
- d) prebieha prostredníctvom konjugácie

21. Ciele účinku antimikrobiálnych látok sú:

- a) bunková stena
- b) lyzozómy
- c) endoplazmatické retikulum
- d) replikácia a transkripcia

22. Narušenie mikrobiómu sa spája s:

- a) chronickým zápalom hrubého čreva, s vysokou mierou dôkazov
- b) poruchou autistického spektra, so strednou mierou dôkazov
- c) obezitou, so strednou mierou dôkazov
- d) autoimunitnými ochoreniami, so strednou mierou dôkazov

23. *Entamoeba histolytica* – forma minuta:

- a) tvorí štvorjadrové cysty
- b) nevytvára cysty
- c) je vysoko patogénna
- d) vyskytuje sa ako trofozoit

24. *Entamoeba histolytica*:

- a) človek sa najčastejšie infikuje alimentárnou cestou zrelými štvorjadrovými cystami
- b) je to jediná patogénna améba žijúca v tráviacom systéme človeka
- c) parazituje v tenkom čreve
- d) parazituje v hrubom čreve

25. Eubióza je:

- a) optimálny pomer zastúpenia mikroorganizmov v biocenóze
- b) premnoženie patogénnych mikroorganizmov v organizme človeka
- c) stav, kedy došlo k narušeniu rovnováhy medzi mikroorganizmami prirodzenej mikroflóry
- d) chýbanie niektorých mikroorganizmov, ktoré tvoria súčasť bežnej mikroflóry u človeka

26. *Giardia intestinalis*:

- a) parazituje v dvanástniku a v hornej časti tenkého čreva
- b) je bičíkovec
- c) parazituje v hrubom čreve človeka
- d) má guľovitý tvar

27. Giardióza sa najčastejšie prejavuje:

- a) anémiou, nedostatkom Fe
- b) malabsorbčným syndrómom
- c) prítomnosťou hlienu a tukov v stolici
- d) prítomnosťou krvi v stolici

28. Medzi dutinové parazitické protozoa patrí:

- a) *Toxoplasma gondii*
- b) *Entamoeba histolytica*
- c) *Trichomonas vaginalis*
- d) *Plasmodium malaria*

29. Patogénnosť:

- a) je schopnosť mikroorganizmu vyvolať ochorenie hostiteľa
- b) je schopnosť mikroorganizmu vyvolať ochorenie každého hostiteľa
- c) oportúnne patogény vyvolávajú ochorenie iba za určitých špecifických podmienok, kde ich telo nevie tolerovať alebo pri imunodeficiencii
- d) je vlastnosťou všetkých mikroorganizmov

30. Pôvodcom trojdňovej malárie je:

- a) *Plasmodium falciparum*
- b) *Plasmodium vivax*
- c) *Plasmodium malariae*
- d) *Plasmodium ovale*

31. Trofozoity *Toxoplasma gondii* sa vyskytujú v dvoch formách:

- a) pseudocysty
- b) tachyzoity
- c) tkanivové cysty
- d) bradyzoity

32. Z bunkovej membrány parazitických prvokov môžu vyrastať:

- a) bičíky
- b) cílie
- c) panôžky
- d) undulujúce membrány

33. Čo najlepšie vystihuje pojem „dysbióza“?

- a) stav, keď je mikrobiota v rovnováhe (eubióza)
- b) narušenie zloženia mikrobioty spojené s rizikom chorôb
- c) prítomnosť len obligátne patogénnych mikróbov v čreve
- d) úplná absencia mikroorganizmov v ľudskom tele

34. Ktorý príklad najlepšie ilustruje oportunistickú infekciu?

- a) cholera po nákaze *Vibrio cholerae* v pitnej vode
- b) zápal močových ciest spôsobený *E. coli* po zavedení katétra
- c) týfus po nákaze *Salmonella typhi*
- d) osýpky po kontakte s infikovanou osobou

35. Ktorý pojem označuje narušenie zloženia črevnej mikrobioty?

- a) eubióza
- b) patogénnosť
- c) dysbióza
- d) komenzalizmus

36. Aký je rozdiel medzi obligátnym a oportúnnym patogénom?

- a) obligátny patogén vyvoláva ochorenie takmer vždy
- b) oportúnný patogén spôsobuje ochorenie najmä pri oslabení imunity alebo v netypickom prostredí
- c) obligátny patogén je vždy prítomný v čreve
- d) oportúnný patogén sa vyskytuje výlučne u detí

37. Čo označuje pojem premorenosť populácie?

- a) mieru závažnosti priebehu infekcie
- b) schopnosť mikroorganizmu vyvolať ochorenie
- c) podiel osôb v populácii nakazených určitým parazitom alebo patogénom
- d) dôležitý epidemiologický ukazovateľ vysvetľujúci lokálne rozdiely v chorobnosti

38. Čo znamenajú pojmy eubióza a dysbióza?

- a) eubióza je rovnovážne zloženie mikrobioty
- b) dysbióza je narušenie rovnováhy mikrobioty spojené s rôznymi ochoreniami
- c) eubióza je stav, keď hostiteľ nemá žiadne mikroorganizmy
- d) dysbióza označuje schopnosť mikroorganizmu vyvolať ochorenie

39. Ako možno charakterizovať komenzala a symbionta?

- a) komenzal žije na povrchu alebo vnútri hostiteľa bez toho, aby mu škodil
- b) symbiont je mikroorganizmus, ktorý je vždy patogénny
- c) symbiont žije v stabilnom vzťahu prospešnom pre obe strany
- d) komenzal je mikroorganizmus, ktorý vždy vyvoláva ochorenie

40. Ako sa môžu usporadúvať koky?

- a) ako diplokoky – dvojice guľovitých baktérií
- b) ako vibria – zahnuté baktérie
- c) ako bacily – paličkovité baktérie
- d) ako streptokoky – reťazce guľovitých baktérií

41. Ktoré z nasledujúcich patria medzi špirálovité baktérie?

- a) vibria – špirálovité bunky
- b) spirily – špirálovité bunky
- c) stafylokoky – špirálovité hroznovité zhľuky
- d) bacily – rovné alebo zakrivené špirály

42. Ktoré baktérie vyžadujú prítomnosť kyslíka pre svoj rast a metabolizmus?

- a) obligátne aeróby
- b) obligátne anaeróby
- c) fakultatívne anaeróby
- d) aerotolerantné anaeróby

43. Ktoré baktérie prežívajú aj v prítomnosti kyslíka, ale ho nevyužívajú na metabolizmus?

- a) mikroaerofily
- b) fakultatívne anaeróby
- c) aerotolerantné anaeróby
- d) obligátne aeróby

44. Ktorá možnosť správne priraduje typ baktérie k jej vzťahu ku kyslíku?

- a) obligátny aerób – rast len pri neprítomnosti kyslíka
- b) obligátny anaerób – kyslík je toxický
- c) fakultatívny anaerób – rast s kyslíkom aj bez neho
- d) mikroaerofil – optimálny rast pri nízkej koncentrácii kyslíka

45. Ktoré tvrdenia o protozoách sú správne?

- a) sú prokaryotické jednobunkovce
- b) sú eukaryotické a heterotrofné
- c) nikdy netvorí cisty
- d) môžu sa pohybovať bičíkmi, riasinkami alebo panôžkami

46. Aké metódy sa využívajú pri diagnostike protozoálnych infekcií?

- a) len kultivácia na živných pôdach
- b) mikroskopické vyšetrenie natívnych alebo farbených preparátov
- c) imunologické testy
- d) metódy molekulárnej biológie

47. Ktoré tvrdenia o *Trichomonas vaginalis* sú správne?

- a) je najväčší ľudský bičíkovec
- b) spôsobuje radikálnu vaginitídu
- c) má hruškovitý tvar a 5 bičíkov
- d) má axiálny axostyl

48. Narušenie mikrobiómu sa spája s:

- a) chronickými zápalmi hrubého čreva
- b) pes equinovarus
- c) obezitou
- d) autoimunitnými ochoreniami

49. Kde sa baktérie za normálnych okolností u zdravého človeka nenachádzajú?

- a) v koži
- b) v čreve
- c) v krvi
- d) v ústnej dutine

50. Ktorý mikroorganizmus je pôvodcom tuberkulózy?

- a) *Mycobacterium tuberculosis*
- b) *Neisseria gonorrhoeae*
- c) *Clostridium tetani*
- d) *Salmonella typhi*

51. Ktorá baktéria je pôvodcom syfilisu?

- a) *Shigella dysenteriae*
- b) *Treponema pallidum*
- c) *Escherichia coli*
- d) *Vibrio cholerae*

52. Ako účinkuje botulotoxín na organizmus?

- a) stimuluje uvoľňovanie acetylcholínu v synapsách
- b) blokuje nervovosvalový prenos a spôsobuje paralýzu
- c) podporuje delenie nervových buniek
- d) rozkladá fosfolipidy bunkovej membrány

53. Ktoré druhy plazmódii sú schopné vytvárať hypnozoity a spôsobovať relapsy malárie?

- a) *P. falciparum* a *P. malariae*
- b) *P. vivax* a *P. ovale*
- c) *P. falciparum* a *P. vivax*
- d) *P. malariae* a *P. ovale*

54. Ktoré zo štádií *Toxoplasma gondii* sú správne priradené k ich úlohe v infekcii?

- a) sporozoity – prenos komárom
- b) bradyzoity – chronická latentná fáza v tkanivových cystách
- c) hypnozoity – prežívanie vo svalových bunkách
- d) tachyzoity – akútna fáza infekcie

55. Ktoré vývojové štádiá patria k jednotlivým rodovým druhom parazitov?

- a) hypnozoity – *Plasmodium vivax* a *Plasmodium ovale*
- b) sporozoity – infekčná forma *Plasmodium* prenášaná komárom
- c) tachyzoity – rýchlo sa deliace formy *Toxoplasma gondii*
- d) bradyzoity – latentné formy *Plasmodium falciparum*

56. Prirad' vírus k spôsobu využitia alebo vlastnosti:

- a) retrovírusy – trvalá integrácia cudzej DNA do genómu hostiteľa
- b) adenovírusy – dočasná expresia génov s výraznou integráciou
- c) adeno-asociované vírusy – vysoká bezpečnosť a nízka imunogenicitá
- d) vírus besnoty – bežne používaný v génovom inžinierstve

57. Prirad' ochorenie k pôvodcovi:

- a) tuberkulóza – *Mycobacterium tuberculosis*
- b) tetanus – *Treponema pallidum*
- c) syfilis – *Treponema pallidum*
- d) kvapavka – *Clostridium tetani*

58. Prirad' ochorenie k pôvodcovi:

- a) salmonelóza – *Salmonella enterica*
- b) ťažké hnačkové ochorenia – *Neisseria gonorrhoeae*
- c) enteropatogénne infekcie – *Escherichia coli*
- d) botulizmus – *Shigella dysenteriae*

59. Prirad' ochorenie k pôvodcovi:

- a) toxoplazmóza – *Toxoplasma gondii*
- b) malária – *Clostridium botulinum*
- c) malária s relapsmi – *Plasmodium vivax*
- d) krvné cysty – tachyzoity *Toxoplasma gondii*

60. Prirad' ochorenie k pôvodcovi:

- a) HIV – získaný syndróm imunitnej nedostatočnosti
- b) vírus besnoty – respiračné infekcie
- c) adenovírusy – hepatitída B
- d) retrovírus HTLV-1 – leukémia T-lymfocytov

Klíč k modelovým otázkám

1. NSNS	21. SNNS	41. NSNN
2. NSSN	22. SSSS	42. SNNN
3. NNSS	23. SNNS	43. NNSN
4. SSSS	24. SSNS	44. NSSS
5. SNNS	25. SNNN	45. NSNS
6. NSNS	26. SSNN	46. NSSS
7. NSNS	27. NSSN	47. NNSS
8. NSSN	28. NSSN	48. SNSS
9. SSSN	29. SNSN	49. NNSN
10. NNSS	30. NSNS	50. SNNN
11. NSNN	31. NSNS	51. NSNN
12. SSNN	32. SSSS	52. NSNN
13. SNSS	33. NSNN	53. NSNN
14. NSNS	34. NSNN	54. NSNS
15. SNSS	35. NNSN	55. SSSN
16. SNSN	36. SSNN	56. SNSN
17. NNNN	37. NNSS	57. SNSN
18. SNSN	38. SSNN	58. SNSN
19. SSNS	39. SNSN	59. SNSN
20. NNSS	40. SNNS	60. SNNS

14 Vírusy

Vírusy sú infekčné nebunkové častice. Na rozmnožovanie potrebujú živú hostiteľskú bunku. Kompletná infekčná vírusová častica sa nazýva **virión** a pozostáva z nukleovej kyseliny (DNA alebo RNA, nikdy nie oboch) uzavretej v bielkovinovom obale – kapside. **Kapsid** tvoria kapsoméry a nesie povrchové bielkoviny – ligandy, ktoré zabezpečujú špecifické naviazanie na receptory cieľovej bunky. Kapsid spolu s nukleovou kyselinou sa označuje pojmom nukleokapsid. Podľa morfológie kapsidu rozlišujeme ikozahedrálly (kubický) a helikálny (špirálovitý) typ nukleokapsidu. Povrchové proteíny predstavujú antigény, ktoré rozpoznáva imunitný systém. Niektoré virióny obsahujú vo vnútri aj „jadrové“ proteíny vrátane enzýmov potrebných pre replikáciu (napr. reverznú transkriptázu a integrázu v retrovírusoch). Časť vírusov odchádza z buniek pučaním a pri tom získa lipidový obal z biomembrány hostiteľa, čo uľahčuje fúziu s bunkami a môže sťažiť imunitné rozpoznanie.

Vzťah medzi vírusom a hostiteľom je striktne špecifický (celulárny tropizmus) a viaže sa na prítomnosť príslušného receptora (na povrchu hostiteľskej bunky). Závisí aj od prítomnosti vhodného receptora (vnímavosť) a schopnosti vírusu dokončiť celý replikačný cyklus v bunke (permisivita). Existuje aj medzidruhovú bariéru, ktorá väčšine vírusov bráni prechádzať medzi druhmi. Výskyt ochorení závisí od virulencie (miery choroboplodnosti) pôvodcu a podmienok prenosu. **Obligátne bunková biotrofia** znamená, že vírusy sa môžu replikovať iba vo vnútri živých hostiteľských buniek. Schopnosť konkrétneho vírusu infikovať len určité bunky, tkanivá alebo druhy organizmov sa označuje ako **vírusový tropizmus**. Podľa rozsahu zasiahnutej populácie rozlišujeme lokálne ohniská nákazy, epidémie a pandémie. Šírenie často prebieha kvapôčkami a priamym kontaktom, známy je však aj prenos vektormi, napríklad komármi, alebo infikovanými bunkami.

Životný cyklus vírusu zahŕňa adsorpciu na bunku, penetráciu, odbalenie a uvoľnenie genómu, replikáciu nukleovej kyseliny, skladanie a maturáciu nových viriónov a ich uvoľnenie lýzou alebo pučaním. Vírusy vo všeobecnosti neobsahujú gény pre rRNA ani tRNA, preto na svoju replikáciu a syntézu svojich bielkovín využívajú proteosyntetický aparát hostiteľa, avšak niektoré vírusy môžu obsahovať gény pre ribozomálne proteíny, ktoré majú schopnosť inkorporovať sa do hostiteľského ribozómu.

Infekčný cyklus vírusu môže byť **lytický** alebo **lyzogénny**. Pri lytickom cykle vírus okamžite preprogramuje bunku na produkciu viriónov, čo obyčajne končí lýzou hostiteľskej bunky. Pri lyzogénnom cykle sa fágový genóm začleňuje do DNA hostiteľa a pretrváva v nej ako profág. Tento stav je udržiavaný tým, že sa aktivuje represor, ktorý bráni expresii génov lytického cyklu. Pri retrovírusoch sa RNA genóm po reverznej transkripcii prepíše do DNA, ktorá sa integruje do genómu hostiteľskej bunky ako provírus a môže sa neskôr transkripčne aktivovať, čo vedie k tvorbe nových vírusových častíc (označované aj ako reaktivácia do lytickej fázy). Keďže vírusy majú minimálny vlastný metabolizmus, zásadnú úlohu v ich kontrole zohráva špecifická imunita hostiteľa. Antivirotiká sú cieleňé na vybrané kroky životného cyklu vírusu

(vstup, replikáciu, maturáciu), kým antibiotiká účinkujú proti sprievodným bakteriálnym infekciám.

Vírusy klasifikujeme podľa viacerých kritérií. Najdôležitejšími sú typ genómu (DNA alebo RNA, jednovláknové či dvojitovláknové) a štruktúra kapsidu (ikozahedrálny, helikálny). Podľa povrchovej štruktúry ich delíme na obalené (s lipidovým obalom z membrán hostiteľa) a nahé (bez obalu, len s kapsidom). Klasifikácia vírusov vychádza aj z hostiteľského spektra, tropizmu k tkanivám a povahy genómu. Poznáme bakteriálne vírusy (bakteriofágy), ktoré infikujú prokaryotické bunky, rastlinné vírusy (fytotropné) a živočíšne vírusy (zootropné).

Baltimorova klasifikácia, rozdeľuje vírusy do siedmich tried podľa typu genómu a stratégie replikácie.

Prehľad a príklady vírusov sú v nasledujúcej tabuľke.

Tr.	Genóm (typ/polarita)	Obal	Miesto replikácie	Kľúčové enzýmy/poznámky	Príklady čeľadí/rodov	Modelový vírus
I	dsDNA	často áno/nie	jadro (pox – cytoplazma)	hostiteľská DNA polym.; niektoré majú vlastné enzýmy	Herpesviridae, Adenoviridae, Poxviridae, Papillomaviridae, Polyomaviridae	HSV-1, Variola vírus
II	ssDNA (+)	väčšinou bez	jadro	tvorba dsDNA intermediátu	Parvoviridae, Circoviridae	Parvovírus B19
III	dsRNA	často bez	cytoplazma	vírusová RNA-dependentná RNA polym.	Reoviridae	Rotavírus
IV	(+) ssRNA	často áno	cytoplazma	genóm = mRNA; tvorba (–)RNA šablóny	Picornaviridae, Flaviviridae, Togaviridae, Coronaviridae	Poliovírus, SARS-CoV-2
V	(–) ssRNA	áno	cytoplazma (orthomyxo – jadro)	RdRp musí byť prítomná vo virióne	Orthomyxoviridae, Paramyxoviridae, Rhabdoviridae, Filoviridae	Influenzavírus A, Vírus besnoty, Ebola
VI	ssRNA – RT (+)	áno	cytoplazma + jadro	reverzná transkriptáza, integráza, proteáza; provírus	Retroviridae (Lentivirus)	HIV-1
VII	dsDNA – RT (parciálne ds)	áno	jadro + RT krok	RNA intermediát + RT späť do DNA	Hepadnaviridae	HBV (hepatitída B)

(polym. = polymeráza; RdRp = RNA-dependentná RNA polymeráza; ssDNA alebo ssRNA = s jedným reťazcom „single stranded“; dsDNA alebo dsRNA = s dvomi reťazcami „double stranded“; +ssDNA a +ssRNA majú orientáciu molekuly 3'-5'; -ssDNA a -ssRNA majú orientáciu molekuly 5'-3'; RT+ = majú enzým reverzná transkriptáza (RdRp); RT- = nemajú enzým reverzná transkriptáza (RdRp))

Retrovírusy môžu byť exogénne (napr. HIV) alebo endogénne (HERV), pričom endogénne retrovírusy tvoria 8 % ľudského genómu a ovplyvňujú aj fyziologické procesy (napr. vývoj embrya). Retrovírusy podliehajú rekombináciám počas balenia genómu. Získanie cudzích sekvencií môže vytvoriť transformujúce varianty so schopnosťou rýchlej malígnej transformácie infikovaných buniek. Reverzná transkriptáza má tri aktivity – RNA-dependentnú DNA polymerázovú, DNA-dependentnú DNA polymerázovú a ribonukleázovú (H).

Genóm HIV tvorí dvojica identických kópií +ssRNA, ktoré obsahujú tri štrukturálne gény (gag, pol, env) a šesť regulačných génov (tat, rev, nef, vif, vpr, vpu; v HIV-2 navyše vpx). Na povrchu HIV sa nachádzajú glykoproteíny, ktoré sprostredkujú vstup do bunky. gp120 sa viaže na receptor CD4 hostiteľskej bunky a na koreceptory (CCR5 alebo CXCR4), zatiaľ čo gp41 sprostredkuje fúziu vírusovej a bunkovej membrány.

DNA vírusy ako HPV, polyomavírus SV40 či herpesvírusy môžu mať onkogénny potenciál, pretože napr. HPV obsahuje onkoproteíny E6 a E7 (E6 sa viaže na p53 a E7 na rb1), ktoré „zrušia G1/S checkpoint“ a tak umožnia syntézu všetkých bielkovín potrebných pre replikáciu DNA, predovšetkým vírusovej. Ak bunka prežije útok vírusom začne sa replikácia jej chromozómovej DNA bez opráv mutácií, čo môže viesť k malígnej transformácii. HPV má malý genóm s prekrývajúcimi sa génmi, nemá enzýmy vo virióne a replikácia prebieha v jadre hostiteľa. Medzi onkogénne typy HPV patria tzv. *high risk* sérotypy HPV16 a HPV18, ktoré sú najčastejšie spájané s karcinómom krčka maternice. Iné typy, ako HPV11, patria k nízkorizikovým a vyvolávajú bradavice.

Herpesvírus Epsteina-Barrovej je spájaný s Burkittovým lymfómom a nazofaryngeálnym karcinómom, HHV-8 s Kaposiho sarkómom. Čeľaď *Poxviridae* zahŕňa veľké DNA vírusy replikujúce sa v cytoplazme. Spôsobujú pravé kiahne (variola), čo treba odlišiť od ovčích kiahní (varicella), ktoré sú spôsobené herpesvírusmi.

Osobitnú skupinu infekčných agens predstavujú subvirálne častice – viroidy (malé kruhové ssRNA bez obalu), satelitné vírusy (defektné RNA, potrebujú pomocný vírus) a prióny (infekčné proteíny bez nukleových kyselín).

Evolúcia vírusov je poháňaná mutáciami a rekombináciami. Vysoké mutačné tempo je typické najmä pre ssRNA vírusy, pretože ich polymerázam chýba korektúra, čoho výsledkom je antigénny drift, teda súvislá drobná variabilita povrchových antigénov, ktorá znižuje účinnosť imunity a prispieva k epidémiám. Pri vírusoch so segmentovaným genómom môže súčasná infekcia jednej bunky dvoma kmeňmi viesť k výmene (reassortmentu) niektorých segmentov a vzniku antigénneho shiftu, zásadnej zmeny vlastností a antigénov s pandemickým potenciálom.

Typ genómu / sk.	Pôvodca (rod/čel'ad')	Ochorenie
dsDNA / I	HSV-1, Herpesviridae	Herpes labialis
	Varicella zoster vírus, Herpesviridae	Ovčie kiahne/pásový opar
	Variola vírus, Poxviridae	Pravé kiahne
	Papillomavírusy, Papillomaviridae	HPV infekcie
	Adenovírusy, Adenoviridae	Adenovírusové infekcie
ssDNA / II	Parvovírus B19, Parvoviridae	Parvovírusová infekcia
dsRNA / III	Rotavírus, Reoviridae	Gastroenteritída detí
(+)ssRNA / IV	Poliovírus, Picornaviridae	Poliomyelitída
	HAV, Picornaviridae	Hepatitída A
	Flavivírusy, Flaviviridae	Dengue, Zika, Žltá zimnica
	SARS-CoV-2, Coronaviridae	COVID-19
(–)ssRNA / V	Influenzavírus A/B, Orthomyxoviridae	Chrípka
	Vírus osýpok, Paramyxoviridae	Osýpky
	Mumps vírus, Paramyxoviridae	Mumps
	Respiračný syncytiálny vírus, Pneumoviridae	RSV infekcie
	Rabies vírus, Rhabdoviridae	Besnota
	Filovírusy, Filoviridae	Ebola/Marburg
ssRNA – RT / VI	HIV-1/2, Retroviridae	AIDS
dsDNA – RT / VII	HBV, Hepadnaviridae	Hepatitída B



Modelové otázky

1. Onkovírusy:

- a) môžu spôsobiť rakovinu
- b) môžu odstrániť rakovinu
- c) sú vírus Epstein-Barr, vírus hepatitídy B a ľudský papilomavírus
- d) sú HTLV (ľudský T-bunkový lymfotropný vírus), vírus hepatitídy C, herpesvírus Kaposiho sarkómu

2. Fág je vírus viazaný na bunku:

- a) eukaryotickú
- b) prokaryotickú
- c) rastlinnú
- d) živočíšnu

3. High risk vírusy pre cervikálny karcinóm sú:

- a) HPV11
- b) HPV14
- c) HPV16
- d) HPV18

4. HIV na vstup do bunky nepotrebuje:

- a) gp120
- b) gp41
- c) gp141
- d) gp18

5. Integrovanie fágového genómu spôsobí:

- a) aktiváciu včasných génov vírusu
- b) aktiváciu neskorých génov vírusu
- c) aktiváciu represora
- d) aktiváciu korepresora

6. Podľa prítomnosti obalu vírusy delíme na:

- a) obalené
- b) poloobalené
- c) nahé
- d) vyzlečené

7. Poxvírusy vyvolávajú ochorenie:

- a) besnota
- b) ovčie kiahne
- c) pravé kiahne
- d) encefalitída

8. Vírusy sa klasifikujú podľa:

- a) genómu
- b) kapsidu
- c) zafarbenia
- d) výrastkov

9. K nebunkovým patogénom ľudí patria:

- a) kvasinky
- b) prióny
- c) vírusy
- d) baktérie

10. Vírusy sú:

- a) nebunkové patogény ľudí
- b) bunkové patogény ľudí
- c) eukaryotické mikroorganizmy
- d) prokaryotické mikroorganizmy

11. Onkogénne vírusy môžu vyvolávať:

- a) neregulovateľné rozmnožovanie buniek
- b) tuberkulózu
- c) infekčnú žltčku a choleru
- d) vznik zhubných nádorov

12. Vírusy môžu byť tvorené:

- a) bielkovinami, nukleovými kyselinami a lipidmi
- b) sacharidmi a bielkovinami
- c) nukleovými kyselinami a proteínmi
- d) nukleovými kyselinami a lipidmi

13. Vírusy sa rozmnožujú:

- a) len v živých bunkách
- b) mitózou
- c) amitózou
- d) len v bunkách mnohobunkovcov

14. Vírusy u človeka vyvolávajú:

- a) tuberkulózu
- b) infekčnú žltáčku
- c) mozaikovú chorobu
- d) chrípku

15. Infekcia bunky vírusom prebieha vo fázach:

- a) priľnutie vírusu, jeho preniknutie do bunky a rozmnoženie
- b) preniknutie vírusu do endoplazmatického retikula a jeho rozmnožovanie
- c) profáze, metafáze a anafáze
- d) S fáze, G2 fáze a v profáze

16. Kde sa rozmnožujú vírusy?

- a) vo vnútri napadnutých buniek
- b) v červených krvinkách
- c) vo vnútri hostiteľských buniek
- d) v živných roztokoch

17. Bakteriofág je:

- a) druh baktérie
- b) typ bielej krvinky
- c) vírus napádajúci baktérie
- d) baktéria pohlcujúca iné baktérie

18. Bielkovinový obal vírusu sa nazýva:

- a) kapsid
- b) spóra
- c) mureín
- d) peptidoglykán

19. Čo môže byť na povrchu bielkovinového obalu väčšieho vírusu?

- a) lipidový obal
- b) kapsoméra
- c) mRNA
- d) peptidoglykán

20. O AIDS platí, že:

- a) vírus sa prenáša krvou a môže byť rizikom pri častých transfúziách
- b) rizikovými skupinami sú muži majúci sex s mužmi, osoby s rizikovým sexuálnym správaním a osoby zdieľajúce injekčné ihly
- c) príčinou smrti chorého sú napr. zápalové ochorenia spôsobené parazitmi, plesňami, kvasinkami a niektorými vírusmi
- d) vyskytuje sa len v Afrike a Ázii

21. Medzi ochorenia živočíchov alebo človeka, ktoré vyvolávajú vírusy patrí:

- a) chrípka
- b) detská obrna
- c) AIDS
- d) osýpky

22. Podľa typu hostiteľa sa vírusy delia na:

- a) ikozaedrálné a helikoidálne
- b) bakteriálne, rastlinné a živočíšne
- c) enterálne, respiračné a arbovírusy
- d) baktériofágy, fytotropné a zootropné

23. Rozmnožovanie vírusov:

- a) je nezávislé od hostiteľskej bunky
- b) prebieha na povrchu hostiteľskej bunky
- c) súvisí so vznikom nových viriónov
- d) sa označuje pojmom amitóza

24. O vírusoch sú pravdivé tvrdenia, že:

- a) patria medzi prokaryotické bunky
- b) vírusové častice sa volajú virióny
- c) nemajú genetickú informáciu
- d) spôsobujú ochorenia, ktoré liečime antibiotikami

25. O vírusoch platí, že:

- a) sú to vnútrobunkové parazity iných organizmov
- b) rozdeľujeme ich aj podľa druhu buniek v ktorých parazitujú
- c) rozdeľujeme ich aj podľa typu nukleovej kyseliny
- d) rozdeľujeme ich na tie, ktoré parazitujú v rastlinách, živočíchoch a baktériách

26. Aké základné morfológické typy kapsidu rozlišujeme pri vírusoch?

- a) ikozahedrálny
- b) helikálny
- c) kubicko-špirálový
- d) vláknitý

27. Ktoré enzýmy môžu patriť medzi „jadrové proteíny“ niektorých viriónov?

- a) reverzná transkriptáza
- b) integráza
- c) ribozómy
- d) DNA polymeráza hostiteľskej bunky

28. Čo znamená pojem „celulárny tropizmus“ vírusu?

- a) schopnosť infikovať ľubovoľné bunky
- b) špecificita vírusu voči určitým typom hostiteľských buniek
- c) schopnosť vytvárať kapsid
- d) všeobecnú odolnosť voči imunite hostiteľského organizmu

29. Čo označuje pojem „permisivita“ hostiteľskej bunky?

- a) prítomnosť vhodného receptora
- b) schopnosť bunky umožniť dokončenie celého replikačného cyklu vírusu
- c) náchylnosť bunky na apoptózu
- d) genetickú stabilitu vírusu

30. Čo vyjadruje pojem „virulencia“ vírusu?

- a) mieru choroboplodnosti a schopnosti vyvolať ochorenie
- b) prítomnosť kapsidu
- c) schopnosť infikovať ľubovoľný organizmus
- d) spôsob prenosu

31. Čo znamená pojem „obligátna bunková biotrofia“?

- a) vírus sa môže replikovať iba vo vnútri živých hostiteľských buniek
- b) vírus sa môže replikovať vo všetkých bunkách
- c) vírus infikuje iba baktérie
- d) ide o synonymum pandemického šírenia

32. Aké je správne poradie fáz životného cyklu vírusu?

- a) adsorpcia, penetrácia, odbalenie genómu, replikácia, skladanie, uvoľnenie
- b) penetrácia, adsorpcia, odbalenie genómu, skladanie, replikácia, uvoľnenie
- c) odbalenie, adsorpcia, skladanie, replikácia, uvoľnenie
- d) adsorpcia, odbalenie, penetrácia, replikácia, uvoľnenie, skladanie

33. Ktoré gény spravidla nemá väčšina vírusov?

- a) gény pre rRNA
- b) gény pre tRNA
- c) gény pre štrukturálne proteíny kapsidu
- d) gény pre regulačné proteíny špecifické pre vírus

34. Podľa akých hlavných kritérií sa klasifikujú vírusy?

- a) typ genómu (DNA alebo RNA)
- b) štruktúra kapsidu (ikozahedrálny, helikálny)
- c) spôsob delenia bunky, ktorú infikujú
- d) počet mitochondrií v hostiteľskej bunke

35. Ktoré tvrdenia správne charakterizujú obalené vírusy?

- a) majú lipidový obal získaný z hostiteľskej membrány
- b) sú vždy rezistentnejšie voči dezinfekcii než nahé vírusy
- c) obal uľahčuje fúziu s bunkovými membránami
- d) neobsahujú kapsid, len nukleovú kyselinu

36. Ktoré tvrdenia o retrovírusoch sú správne?

- a) retrovírusy môžu byť exogénne alebo endogénne, pričom endogénne retrovírusy tvoria približne 8 % ľudského genómu
- b) reverzná transkriptáza retrovírusov má iba jednu aktivitu – RNA-dependentnú DNA polymerázovú
- c) retrovírusy podliehajú rekombináciám počas balenia genómu, čo môže viesť k vzniku transformujúcich variantov
- d) retrovírusy obsahujú DNA ako primárny genóm, ktorý je ihneď transkribovaný v jadre

37. Ktoré tvrdenia o HIV sú správne?

- a) genóm HIV pozostáva z dvoch identických kópií +ssRNA a obsahuje okrem štrukturálnych génov aj regulačné gény ako tat, rev, nef a vif
- b) HIV využíva glykoproteín gp120 na väzbu na receptor CD4 a na koreceptory CCR5 alebo CXCR4
- c) gp41 sprostredkuje väzbu na CD8+ T-lymfocyty a ich apoptózu
- d) v HIV-2 sa nachádza navyše gén vpx, ktorý sa nepodieľa na infekcii ľudských buniek

38. Ako možno rozdeliť vírusy podľa hostiteľského spektra?

- a) bakteriálne vírusy (bakteriofágy)
- b) rastlinné vírusy (fytotropné)
- c) živočíšne vírusy (zootropné)
- d) vírusy endoplazmatického retikula

39. Ktoré tvrdenia správne porovnávajú retrovírusy a DNA vírusy?

- a) retrovírusy nesú RNA genóm a potrebujú reverznú transkriptázu, zatiaľ čo DNA vírusy nesú DNA genóm a využívajú DNA polymerázy hostiteľa alebo svoje vlastné
- b) onkogénny potenciál retrovírusov je spojený so schopnosťou integrovať sa do genómu hostiteľa, kým onkogénny potenciál DNA vírusov (napr. HPV) je sprostredkovaný vírusovými onkoproteínmi
- c) retrovírusy majú enzýmy už zabudované vo virióne, DNA vírusy ich nikdy neobsahujú
- d) DNA vírusy ako HPV a herpesvírusy sa replikujú výhradne v cytoplazme, zatiaľ čo retrovírusy v jadre

40. Na akom princípe je založená Baltimorova klasifikácia vírusov?

- a) na type nukleovej kyseliny vírusu (DNA/RNA, jednovláknová/dvojvláknová)
- b) na spôsobe syntézy mRNA vírusu
- c) na tvare kapsidu (ikozahedrálnej vs. helikálnej)
- d) na prítomnosti alebo neprítomnosti lipidového obalu

41. Ktoré tvrdenie o lytickom cykle je správne?

- a) vírusový genóm sa začleňuje do DNA hostiteľa
- b) dochádza k okamžitej produkcii viriónov a lýze bunky
- c) vírus pretrváva ako profág
- d) hostiteľská bunka zostáva životaschopná

42. Prečo vírusy nemôžu syntetizovať svoje proteíny nezávisle od hostiteľa?

- a) nemajú kapsid
- b) nemajú ribozómy, rRNA ani tRNA
- c) nemajú lipidový obal
- d) ich genóm je príliš malý

43. Aké faktory určujú špecifickosť vzťahu medzi vírusom a hostiteľom?

- a) prítomnosť vhodného receptora na povrchu bunky (vnímavosť)
- b) schopnosť bunky dokončiť replikačný cyklus (permisivita)
- c) typ kapsidu (ikozahedrálnej alebo helikálnej)
- d) virulencia konkrétneho vírusu

44. Čo je antigénny shift?

- a) drobná kumulatívna zmena antigénov v čase
- b) zásadná zmena vlastností a antigénov v dôsledku reassortmentu
- c) najčastejšie pri vírusoch so segmentovaným genómom
- d) vedie k vyššej účinnosti antivirov

45. Ktoré tvrdenie o rekombináciách retrovírusov je správne?

- a) prebiehajú pri balení genómu
- b) nespôsobujú zmeny vo vírusovom genóme
- c) môžu viesť k vzniku transformujúcich variantov
- d) nemajú význam pre onkogénny potenciál

46. Ktoré tvrdenia o HPV platia?

- a) nemá enzýmy vo virióne
- b) replikácia prebieha v jadre hostiteľskej bunky
- c) HPV16 a HPV18 patria medzi high-risk typy spojené s karcinómom krčka maternice
- d) HPV11 patrí medzi nízkorizikové typy spôsobujúce bradavice

47. Vírus Epstein-Barr (EBV) je spájaný s:

- a) Kaposiho sarkómom
- b) nazofaryngeálnym karcinómom
- c) Burkittovým lymfómom
- d) rakovinou hrubého čreva

48. Čo spôsobuje pravé kiahne (variola)?

- a) herpesvírusy
- b) poxvírusy
- c) retrovírusy
- d) adenovírusy

49. Ovčie kiahne (varicella) sú spôsobené:

- a) variola vírusom
- b) herpesvírusmi
- c) retrovírusmi
- d) HPV

50. Aké sú vlastnosti viroidov?

- a) malé kruhové ssRNA bez obalu
- b) infekčné proteíny bez nukleových kyselín
- c) potrebujú pomocný vírus na replikáciu
- d) spôsobujú choroby rastlín

51. Čo charakterizuje prióny?

- a) malé RNA molekuly bez obalu
- b) infekčné proteíny bez nukleových kyselín
- c) prenášajú sa medzi druhmi
- d) potrebujú pomocný vírus na replikáciu

52. Čo je reassortment v prípade vírusov so segmentovaným genómom?

- a) rekombinácia v rámci jednej molekuly RNA
- b) výmena celých segmentov medzi dvoma vírusmi infikujúcimi jednu bunku
- c) proces zodpovedný za antigénny drift
- d) proces, ktorý vedie k antigénnemu shiftu

53. Ktoré mechanizmy poháňajú evolúciu vírusov?

- a) mutácie
- b) rekombinácie
- c) reassortment
- d) horizontálny prenos génov medzi hostiteľmi

54. Ktoré tvrdenia správne popisujú rozdiel medzi antigénnym driftom a antigénnym shiftom?

- a) drift predstavuje malé, postupné zmeny antigénov
- b) shift predstavuje zásadné zmeny antigénov
- c) drift je spôsobený mutáciami bez korektúry polymeráz
- d) shift je výsledok reassortmentu segmentovaného genómu

55. Prečo majú ssRNA vírusy vysoké mutačné tempo?

- a) ich polymerázam chýba korektúra
- b) majú segmentovaný genóm
- c) obsahujú veľký počet regulačných génov
- d) ich replikácia prebieha v jadre hostiteľa

56. Čo je typické pre lytický cyklus?

- a) vírusový genóm sa integruje do DNA hostiteľa
- b) dochádza k okamžitej syntéze viriónov
- c) infekcia končí lýzou hostiteľskej bunky
- d) vírus pretrváva dlhodobo v latentnej forme

57. Čo je charakteristické pre lyzogénny cyklus bakteriofágov?

- a) genóm vírusu sa začleňuje do DNA hostiteľa ako profág
- b) replikácia viriónov prebieha okamžite po infekcii
- c) aktivácia represora bráni expresii génov lytického cyklu
- d) vírus sa množí výlučne v cytoplazme

58. Čo môže spôsobiť prechod lyzogénneho cyklu do lytického?

- a) aktivácia represora
- b) inaktivácia represora v dôsledku stresu (UV žiarenie, chemikálie)
- c) spontánna integrácia DNA do chromozómu hostiteľa
- d) vysoká virulencia vírusu

59. Ktoré tvrdenie správne opisuje rozdiel medzi lytickým a lyzogénnym cyklom?

- a) lytický cyklus vedie k deštrukcii hostiteľskej bunky, lyzogénny nie
- b) v lyzogénnom cykle vírus okamžite produkuje nové častice
- c) lytický cyklus zahŕňa integráciu genómu vírusu do DNA hostiteľa
- d) lyzogénny cyklus umožňuje vírusu perzistovať latentne v hostiteľovi

60. Ktoré tvrdenia o víruse SARS-CoV-2 (pôvodca COVID-19) sú správne?

- a) ide o RNA vírus s pozitívnym jednovláknovým genómom (+ssRNA)
- b) patrí do čeľade *Coronaviridae*, rodu *Betacoronavirus*
- c) povrchový glykoproteín „spike“ sprostredkuje väzbu na receptor ACE2 hostiteľskej bunky
- d) obsahuje reverznú transkriptázu a integruje sa do DNA hostiteľa

Klíč k modelovým otázkám

1. SNSS	21. SSSS	41. NSNN
2. NSNN	22. NSNS	42. NSNN
3. NNSS	23. NNSN	43. SSNS
4. NNSS	24. NSNN	44. NSSN
5. NNSN	25. SSSS	45. SNSN
6. SNSN	26. SSNN	46. SSSS
7. NNSN	27. SSNN	47. NSSN
8. SSNN	28. NSNN	48. NSNN
9. NSSN	29. NSNN	49. NSNN
10. SNNN	30. SNNN	50. SNNS
11. SNNS	31. SNNN	51. NSSN
12. SNSN	32. SNNN	52. NSNS
13. SNNN	33. SSNN	53. SSSN
14. NSNS	34. SSNN	54. SSSS
15. SNNN	35. SNSN	55. SNNN
16. SNSN	36. SNSN	56. NSSN
17. NNSN	37. SSNN	57. SNSN
18. SNNN	38. SSSN	58. NSNN
19. SNNN	39. SSNN	59. SNNS
20. SSSN	40. SSNN	60. SSSN

Použitá literatúra

1. Böhmer, D., Danišovič, Ľ., Repiská, V. Lekárska biológia a genetika 1 [online]. Bratislava: Univerzita Komenského 2020, 102 s. ISBN 978-80-223-4922-2. Dostupné na: www.fmed.uniba.sk [cit. 2025-09-12]
2. Repiská, V., Böhmer, D., Braxatorisová, T., Malová, J. Lekárska biológia a genetika 2 [online]. Bratislava: Univerzita Komenského 2020, 135 s. ISBN 978-80-223-4929-1. Dostupné na: www.fmed.uniba.sk [cit. 2025-09-12]
3. Repiská, V., et al. Medical biology and molecular genetics. Bratislava: Comenius University in Bratislava 2020, 306 pp. ISBN 978-80-223-4984-0.
4. Gbelcová, H., Repiská, V., Shawkatová, I. Nukleové kyseliny a proteíny. Analytické metódy a postupy. Bratislava: Univerzita Komenského 2017, 316 s. ISBN 978-80-223-4472-2.
5. Pastoráková, A., Petrovič, R. Molekulárne metódy aktuálne používané v klinickej genetike [online]. Bratislava: Univerzita Komenského 2016, 50 s. ISBN 978-80-223-4231-5. Dostupné na: www.fmed.uniba.sk [cit. 2025-09-12]

Štefan Harsányi
Daniela Klimová
a kolektív

LEKÁRSKA BIOLÓGIA A GENETIKA 1
REPETITÓRIUM A SÚBOR MODELOVÝCH OTÁZOK

Vydala Univerzita Komenského v Bratislave, 2026

Rozsah 205 strán, 8,31 AH, prvé vydanie

Vyšlo ako elektronická publikácia

ISBN 978-80-223-6344-0 (online)

ISBN 978-80-223-6344-0 (online)