

Oběhová soustava 1 – krev

Krev (latinsky *sanguis*, řecky *haema*) je tělní tekutina uzavřená v cévách krevního oběhu, tvoří 7 až 8 % tělesné hmotnosti (průměrně cca 5 l). Dalšími tělními tekutinami jsou **tkáňový mok** (tekutina v mezibuněčných prostorech tkání) a **míza = lymfa** (tkáňový mok, který se vrací do krve cévami lymfatické soustavy).

Funkce krve

- **transport látek:** kyslíku, živin (glukóza, aminokyseliny ap.), solí, odpadů (močovina, CO₂ ap.) a hormonů (řídících látek)
- **obrana organismu** = imunita (pomocí bílých krvinek a protilátek)
- **udržení stálého prostředí** = homeostáze (stálá teplota, pH, obsah solí ap.) ve všech částech těla

Složení krve

Krevní plazma: přibližně 55 % objemu krve

Krevní tělíska: přibližně 45 % objemu krve, z toho drtivou většinu tvoří červené krvinky

Základní vyšetření („krevní obraz“)

Hematokrit: podíl červených krvinek z celkového objemu krve (u mužů průměrně 47 %, u žen průměrně 42 %)

Sedimentace: orientační vyšetření viskozity, rychlost klesání červených krvinek (u mužů cca 2 až 5 mm/h, u žen cca 3 až 8 mm/h), zvýšená (zrychlená) sedimentace signalizuje vyšší aktivitu protilátek (infekce či jiná zátěž organismu)

Krevní plazma

- přibližně 55 % objemu krve

Složení: 91 % voda

1 % anorganické látky (Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Cl⁻ ap.)

7 % bílkoviny (transportní bílkoviny, protilátky, bílkoviny zajišťující srážení krve ap.)

1 % ostatní organické látky (lipidy, sacharidy ap.)

Glykemie = koncentrace glukózy v krvi (700 až 1100 mg/l, tj. cca 4 až 6 mmol/l, hodnoty jsou proměnlivé – na lačno, po jídle...)

Osmotická hodnota – odpovídá koncentraci 0,9% roztoku NaCl v H₂O (tzv. fyziologický roztok)

pH plazmy – přibližně 7,4 (tj. mírně zásaditá)

Erytrocyty = červené krvinky

Tvorba: v červené kostní dřeni (z tzv. kmenových buněk)

Životnost: přibližně 120 dní

Velikost: průměr cca 0,007 mm, bezjaderné (mohou přenášet více hemoglobinu)

Počet: muži 5 milionů/mm³, ženy 4,5 milionů/mm³ (novorozenci cca 7 milionů/mm³)

Funkce erytrocytů

Hemoglobin: červené krevní barvivo (bílkovina + železo), slouží k **transportu kyslíku** (tvoří cca třetinu hmotnosti erytrocytů)

hemoglobin + O₂ ↔ **oxyhemoglobin** (v místech s nižším obsahem kyslíku se O₂ snadno uvolní)

hemoglobin + CO → **karboxyhemoglobin** (vazba je řádově mnohem silnější než vazba O₂, CO tedy blokuje přenos kyslíku)

Hemoglobin z odumřelých erytrocytů se přeměňuje na žlutý **bilirubin** (odstraňován játry a v menší části močí).

erytrocyt



Trombocyty = krevní destičky

Tvorba: v červené kostní dřeni, jde o úlomky zvláštních buněk (nejsou to tedy buňky v pravém slova smyslu)

Životnost: přibližně 10 dní

Velikost: cca 0,004 mm (tj. v porovnání s erytrocyty přibližně poloviční), oválné, často s výběžky

Počet: přibližně 300 tisíc/mm³ (tj. řádově 10× méně než erytrocytů)

Funkce

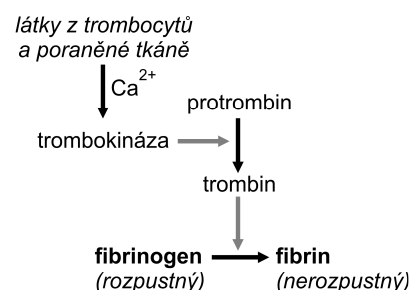
Trombocyty hrají významnou roli při **srážení krve**. Při poranění cévy dochází postupně k těmto jevům:

1. stažení poraněné cévy
2. shlukování trombocytů v místě poranění (vytvoření provizorního uzávěru rány)
3. Z trombocytů a poraněné cévní stěny se uvolňují látky, které spustí složitou soustavu reakcí, na jejímž konci je přeměna rozpustné bílkoviny **fibrinogenu** (obsažen v plazmě) na nerozpustný vláknitý **fibrin**. Ten vytvoří vláknitou síť, do níž se zachytávají všechna krevní tělíska, až vznikne pevná **sraženina** (trombus), která zcela ucpe poraněnou cévu.

trombocyty



V průběhu srážecích reakcí postupně vznikají látky (tzv. koagulační faktory), které fungují jako katalyzátory, jež spustí další reakci. Důležitým faktorem při srážení krve je přítomnost **vápníku** (Ca^{2+}). Důležitým výsledkem reakcí je enzym **trombokináza**, který katalyzuje přeměnu neaktivního **protrombinu** na aktivní enzym **trombin**. Trombin funguje jako konečný katalyzátor, který vyvolá přeměnu rozpustné plazmatické bílkoviny **fibrionogenu** na vláknitý a nerozpustný **fibrin**.



Srážení krve lze zpomalit nebo úplně zastavit blokováním některého z faktorů, nejčastěji odstraněním vápníku (přidáním látek, které na sebe vápník navážou). Tímto způsobem je krev upravována například před vyšetřením sedimentace nebo při uchování v podobě krevních konzerv.

Ztráty krve: do 10 % (0,5 l) – neškodné (lze nahradit z dočasných zásob ve slezině)
 20 % (1 l) – vážnější poškození orgánů
 40 % (2 l) – rozsáhlý šok → smrt

Leukocyty = bílé krvinky

Tvorba: v kostní dřeni nebo v mízních uzlinách

Životnost: řádově měsíce až roky

Velikost: cca 0,007 až 0,020 mm (tj. v porovnání s erytrocyty stejné až dvojnásobné)

Počet: přibližně 4 až 10 tisíc/mm³ (tj. řádově 1000× méně než erytrocytů)

Funkce: imunita – nespecifická, specifická

Nespecifická imunita

- zajišťují **granulocyty** a **monocyty** (ty se mohou usazovat v tkáních jako tzv. **makrofágy**)
- u zdravého jedince tvoří cca 2/3 leukocytů
- likvidují cizorodé částice (bakterie, virové částice ap.) pomocí **fagocytózy**
- tvoří „první linii“ obrany, účinkují okamžitě po napadení organismu
- hnis = vyloučení naplněných fagocytujících leukocytů z těla ven

Specifická imunita

- zajišťují **lymfocyty**
- u zdravého jedince tvoří cca 1/3 leukocytů
- reagují jen na konkrétní **antigeny** = specifické cizorodé „znaky“ (chemické látky)
- po napadení organismu se teprve postupně vytvářejí (tvorba trvá řádově dny až týdny)
- první z nich vznikají v kostní dřeni, poté se množí i v mízních (lymfatických) uzlinách

B-lymfocyty

Vytvářejí protilátky (= bílkoviny, tzv. imunoglobuliny)

Protilátky se přichytávají na cizorodé částice s antigeny (buňky, jejich zplodiny), a tím je:

- shlukují do větších celků (ty jsou snáze fagocytovány)
- zneškodní (zabrání množení, toxickému působení...)
- „označují“ pro fagocytující leukocyty i pro T-lymfocyty

T-lymfocyty

Reagují na buňky označené konkrétními protilátkami: Přichytí se k nim a ničí je pomocí **cytotoxických látek** („buněčných jedů“).

Likvidují nejen cizí buňky (bakterie, plísně, prvoky...), ale také vlastní nežádoucí buňky (nádorové ap.)

„Paměťové lymfocyty“

Část vytvořených lymfocytů se trvale usadí v mízních uzlinách, jsou v klidovém stavu a „čekají“ na „svůj“ antigen. Při opakované přítomnosti antigenu (tzv. sekundární imunitní odpověď) se rychle začnou množit, takže specifická imunitní reakce je mnohem rychlejší a silnější než při prvním napadení. Původce antigenů je tak zlikvidován dříve, než se stihne namnožit a vyvolat projevy onemocnění.

Pasivní umělá imunizace

Při infekci se do těla vpraví hotové protilátky (získané pomocí genově upravených bakterií, z krve zvířat nebo z lidské krve).

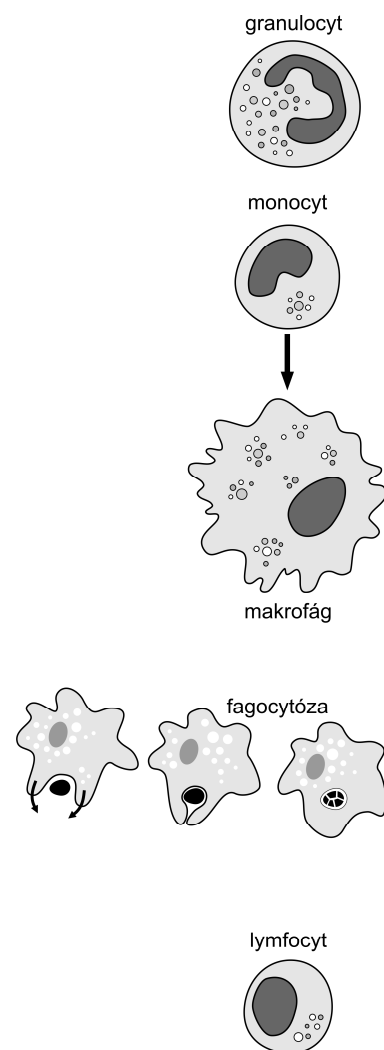
Aktivní umělá imunizace

Do zdravého těla se **vpraví cizorodé antigeny**, které vyvolají slabou imunitní reakci a tvorbu specifických lymfocytů. Ty se trvale usadí v těle a při setkání s „ostrým“ původcem antigenů spustí silnou sekundární imunitní odpověď (nemoc se neprojeví).

Očkovací vakcína může mít podobu: izolovaných „čistých“ antigenů nebo usmrcených původců nemoci nebo oslabených původců nemoci nebo (není-li jiná možnost) živých původců nemoci ve velmi nízké koncentraci.

Bezplatné očkování v ČR: tuberkulóza, záškrta, tetanus, dávný kašel, *přenosná dětská obrna*, spalničky, příušnice, zarděnky

Další možná očkování: virová hepatitida A i B, vzteklna, chřipka, streptokokové nákazy, klíšťová encefalitida, virus karcinomu děložního čípku ap.



Krevní skupiny

= třídění krve podle antigenů na povrchu červených krvinek

- nejdůležitější **AB0 systém** a **Rh faktor** (oba důležité pro krevní transfúzi) plus další desítky systémů, které jsou významné hlavně při transplantacích (např. *MNS, P, Lutheran, Kell, Lewis, Duffy, Kidd, Diego, Cartwright, XG, Scianna, Dombrock, Colton, Landsteiner-Wiener, Chido/Rodgers, Hh/Bombay, Kx, Gerbich, Cromer, Knops, Indian, Ok, Raph, JMH, Ii, Globoside, GIL...*)

Krevní skupiny AB0 systému

aglutinogeny = antigeny na povrchu červených krvinek: **A, B**

aglutininy = protilátky v krevní plazmě: **anti-A, anti-B**

Při kontaktu aglutinogenu (např. B) s příslušným aglutininem (např. anti-B) dojde k **aglutinaci** = shlukování krvinek (tyto shluky ucpávají cévy, důsledkem může být i smrt).



Výjimečná vlastnost: Člověk má trvale v krvi přítomné protilátky proti těm antigenům, které sám na svých krvinkách nemá.

krevní skupina	aglutinogeny na povrchu erytrocytů	aglutininy v krevní plazmě	výskyt v ČR
A	A	anti-B	41 %
B	B	anti-A	18 %
AB	A, B	žádné	9 %
0	žádné	anti-A, anti-B	32 %

Možnosti krevní transfúze AB0 systému

V zásadě je nutné příjemci dát krev stejné krevní skupiny (včetně shodného Rh faktoru). V nouzi (hromadné katastrofy, válka ap.) lze však použít i pravidlo, že do těla lze dodat takovou krev, která neobsahuje aglutinogeny, proti nimž má příjemce protilátky.

Příjemce se skupinou A tedy může dostat krev skupiny A nebo 0. Příjemce se skupinou B může dostat krev skupiny B nebo 0.

Příjemce se skupinou AB může dostat krev skupiny A, B, AB nebo 0 (tzv. *univerzální příjemce*).

Příjemce se skupinou 0 může dostat jen krev skupiny 0. Jeho krev je však použitelná pro kohokoliv (tzv. *univerzální dárce*).

Dědičnost krevních skupin AB0 systému (není povinné učivo)

Krevní skupiny AB0 systému jsou stoprocentně dědičné. Za krevní skupinu je odpovědný jeden gen, který se u lidí může vyskytovat ve třech podobách (tzv. alelách) označovaných I^A , I^B a I^0 :

I^A – nese informaci pro tvorbu antigenu A (na červených krvinkách se objeví aglutinogen A)

I^B – nese informaci pro tvorbu antigenu B (na červených krvinkách se objeví aglutinogen B)

I^0 – nenese informaci pro tvorbu žádného antigenu (jeho přítomnost se na povrchu červených krvinek neprojeví)

Každý jedinec nese ve svých buňkách vždy jednu dvojici alel, z nichž jednu získal od otce a druhou od matky.

Jedinec s dvojicí $I^A I^A$ nebo $I^A I^0$ má na povrchu krvinek aglutinogeny A – má **krevní skupinu A**.

Jedinec s dvojicí $I^B I^B$ nebo $I^B I^0$ má na povrchu krvinek aglutinogeny B – má **krevní skupinu B**.

Jedinec s dvojicí $I^A I^B$ má na povrchu krvinek aglutinogeny A i B – má **krevní skupinu AB**.

Jedinec s dvojicí $I^0 I^0$ nemá na povrchu krvinek žádné aglutinogeny – má **krevní skupinu 0**.

Každý jedinec do svých pohlavních buněk předá vždy jen jednu z dvojice alel, které má (každou z nich se stejnou pravděpodobností). Dvojice alel, které získá potomek (a spolu s nimi i krevní skupinu), jsou tedy kombinací alel, které mu předali oba rodiče. Na základě této informace lze snadno určit, jaké mohou nastat kombinace, známe-li krevní skupiny rodičů. Údaje lze zapsat například následující tabulkou (v horním řádku buňky jsou možné kombinace alel, ve spodním (tučně) možné krevní skupiny).

		2. rodič	A	B	AB	0
1. rodič	alely		$I^A I^A, I^A I^0$	$I^B I^B, I^B I^0$	$I^A I^B$	$I^0 I^0$
A	$I^A I^A, I^A I^0$		$I^A I^A, I^A I^0, I^0 I^0$ A, 0	$I^A I^0, I^B I^0, I^A I^B, I^0 I^0$ A, B, AB, 0	$I^A I^A, I^A I^0, I^B I^0, I^A I^B$ A, B, AB	$I^A I^0, I^0 I^0$ A, 0
B	$I^B I^B, I^B I^0$		$I^A I^0, I^B I^0, I^A I^B, I^0 I^0$ A, B, AB, 0	$I^B I^B, I^B I^0, I^0 I^0$ B, 0	$I^A I^0, I^B I^B, I^B I^0, I^A I^B$ A, B, AB	$I^B I^0, I^0 I^0$ B, 0
AB	$I^A I^B$		$I^A I^A, I^A I^0, I^B I^0, I^A I^B$ A, B, AB	$I^A I^0, I^B I^B, I^B I^0, I^A I^B$ A, B, AB	$I^A I^A, I^B I^B, I^A I^B$ A, B, AB	$I^A I^0, I^B I^0$ A, B
0	$I^0 I^0$		$I^A I^A, I^A I^0, I^0 I^0$ A, 0	$I^B I^B, I^B I^0, I^0 I^0$ B, 0	$I^A I^0, I^B I^0$ A, B	$I^0 I^0$ 0

Z tabulky například vyplývá, že dva rodiče s krevní skupinou A mohou mít potomka s krevní skupinou 0 nebo že má-li jeden rodič skupinu A a druhý rodič skupinu B, jejich potomci mohou mít jakoukoliv krevní skupinu.

Na základě znalosti krevních skupin muže, ženy a dítěte lze také v některých případech okamžitě vyloučit otcovství (například když má muž krevní skupinu 0, matka krevní skupinu AB a dítě také krevní skupinu AB).

Rh faktor

Rh pozitivní (Rh+): na povrchu erytrocytů má **Rh antigen**, nevytváří protilátky anti-Rh

Rh negativní (Rh-): na povrchu erytrocytů nemá Rh antigen, **může vytvářet protilátky anti-Rh.**

Protilátky anti-Rh se u Rh negativního člověka vytvářejí až po prvním kontaktu s Rh antigenem. Při prvním kontaktu se jich vytváří málo, při opakovaném kontaktu se jich však vytvoří tak velké množství, že mohou vytvořit vážné problémy (až smrt).

Rizikové situace:

- opakovaná transfúze Rh+ krve Rh negativnímu příjemci (při transfúzi vždy musí souhlasit nejen ABO systém, ale i Rh faktor!)
- těhotenství Rh- matky s Rh+ mužem:
Je-li otec Rh+, pak i dítě může být Rh+. Ke konci těhotenství pronikají krvinky dítěte do těla matky. Matka si začne vytvářet protilátky anti-Rh. Při prvním těhotenství ještě příliš velké riziko nehrozí (protilátek je málo). Při opakovaném těhotenství se však vytváří tak velké množství protilátek, že mohou vážně poškodit krvinky dítěte. (Konec těhotenství je nutné bedlivě sledovat a při porodu bývá pro dítě připravena nouzová transfúze.)

Dárcovství krve

- 18 až 65 let
- žádná hepatitida, záněty ledvin, infarkt, hypertenze, alkoholismus, epilepsie...
- v poslední době zdravý a bez rizika (žádná infekce, operace, klíště...)
- před odběrem žádný alkohol, léky, tučná jídla, silné alergie (ořechy, čokoláda...)
- jeden odběr cca 450 ml
- v ČR cca 500 tisíc odběrů ročně (z toho přes 90 % bezpříspěvkových)

Při standardní transfúzi musí souhlasit skupina ABO systému i Rh faktor. Pouze v maximální nouzi je možné využít výše uvedených pravidel pro mimořádné situace (vždy však platí, že Rh- příjemce musí dostat Rh- krev).

Poruchy krve

Anemie (chudokrevnost)

- snížené množství erytrocytů, často spojené i s nižším obsahem hemoglobinu v buňkách
- způsobena nedostatkem železa v potravě, poruchou krvetvorby, dočasně může být následkem rozsáhlejšího krvácení
- postižený mívá bledou kůži, vykazuje nižší fyzickou (někdy i duševní) výkonnost, rychleji se unaví
- léčba preparáty se železem či jinými chybějícími látkami, v nouzi transfúzemi masy červených krvinek

Leukemie

- zhoubné bujení bílých krvinek ("rakovina kostní dřeně")
- do krve se uvolňuje velké množství nezralých leukocytů
- nastávají problémy s imunitou, leukocyty mohou ničit i vlastní buňky (např. erytrocyty)
- forma chronická (trvá i řadu let) i akutní (trvá řádově týdny až měsíce)
- léčba např. cytostatiky a transplantací kostní dřeně, při včasné diagnóze může vést k úplnému vyléčení

Hemofilie

- výrazně zpomalené srážení krve (nedostatek některých faktorů), závažné problémy hrozí zvláště při skrytém vnitřním krvácení
- dědičná, drtivá většina postižených jsou muži
- léčba podáváním chybějících srážlivých faktorů

AIDS

Acquired Immune Deficiency Syndrome = syndrom získaného selhání imunity

- způsoben virem HIV (nakažený je tzv. HIV-pozitivní), virus napadá některé T lymfocyty
- zpočátku jen mírné „chřipkové“ příznaky, po mnoho letech však nastává těžké selhání imunity, které končí smrtí
- přenos hlavně krví (nesterilní jehly a chirurgické nástroje, vzácně i krevní transfúzí) a sekrety pohlavních orgánů (hlavně při pohlavním styku), možný je i přenos z matky na dítě vyvíjející se v děloze
- nebyl prokázán přenos potem (podání ruky ap.) ani slinami (polibek, používání společného nádobí ap.)
- nástup příznaků AIDS se dá komplexní léčbou (velmi nákladnou) u HIV pozitivních lidí oddálit o mnoho let, někdy až do doby „běžného“ dožití (případy úplného vyléčení jsou sice známé, vyskytují se však jen velmi zřídka)
- největší výskyt ve střední a jižní Africe, v ČR nejvíce v Praze (řádově tisíc HIV pozitivních), počty neustále rostou