

5 Krev (*sanguis*)

Krev je tekutá tkáň složená ze suspenze **formovaných elementů** (červené krvinky, bílé krvinky, krevní destičky) v **krevní plazmě**. Krev je součástí **mimobuněčné** (*extracelulární*) **tekutiny**, a to oddílu intravaskulárního (tzn. v cévách).

Celkový objem krve tvoří 6–8 % tělesné hmotnosti (4,5–6 l). Ženy mají (ve vztahu k tělesné hmotnosti) menší množství krve. Množství krve a zastoupení jednotlivých složek se mění při patologických stavech (při změnách krvetvorby, při ztrátách krve či extracelulární tekutiny – např. při popáleninách).

Podíl červenýchrvinek na celkovém objemu krve vyjadřuje **hematokrit**. Hematokrit je u žen 0,36–0,46, u mužů 0,39–0,49.

Funkce krve

1. **Transport látek** – přenáší kyslík a oxid uhličitý mezi plicemi a tkáněmi, vstřebané živiny z trávicího traktu k buňkám, odpadové produkty do míst jejich vylučování (např. do plic, ledvin), hormony z místa tvorby k cílovým strukturám, teplo z orgánů metabolicky aktivních do chladnějších oblastí.
2. **Podílí se na udržování stálosti vnitřního prostředí** = *homeostázy* (udržování stálého pH krve prostřednictvím nárazníkových systémů – pufrů, a stálé koncentrace iontů).
3. **Bílé krvinky** a speciální plazmatické bílkoviny jsou součástí obranných mechanismů organismu.
4. **Udržuje svůj stálý objem** prostřednictvím hemostatických systémů, které se uplatňují např. při krvácení.

5.1 SLOŽENÍ KRVE

5.1.1 KREVNÍ PLAZMA

Krevní plazma je vodný roztok anorganických a organických látek. U dospělého člověka tvoří 5 % tělesné hmotnosti (2,5–3,5 l). Z celkového objemu plazmy připadá na vodu 91–92 %, zbytek na rozpuštěné látky.

Anorganické látky: hlavním kationtem krevní plazmy je sodík (Na^+), hlavními anionty jsou chloridy (Cl^-) a bikarbonát (HCO_3^-). Mají význam pro udržování osmotického tlaku krve, objemu krve a pro udržování stálého pH. Dalším významným kationtem je vápník (Ca^{2+}), důležitý pro svalovou kontrakci a pro srážení krve. Kromě těchto základních iontů obsahuje krevní plazma ještě další anorganické látky – draslík, fosfáty, železo, jod aj.

Organické látky krevní plazmy tvoří bílkoviny, lipidy, cukry a další organické látky (amino-kyseliny, močovina, kyselina močová).

1. **Bílkoviny** (*proteiny*)

Jeden litr krevní plazmy obsahuje 60–80 g bílkovin, které se rozdělují do tří základních skupin: albuminy, globuliny (α , β , γ) a fibrinogen (obr. 43). Kromě těchto základních bílkovin obsahuje krevní plazma ještě další typy speciálních bílkovin, které se uplatňují při obranných reakcích organismu. Bílkoviny krevní plazmy se vyskytují jako součást

komplexů vytvořených s jinou látkou (glykoproteiny, lipoproteiny). Plazmatické bílkoviny se tvoří v játrech (kromě γ -globulinů).

Hlavní funkce plazmatických bílkovin

Albuminy – vzhledem k celkovému množství (42 g/l) a malé molekule jsou významné pro udržování stálého objemu plazmy a podílejí se i na transportu různých látek.

Globuliny – uplatňují se při transportu látek, γ -globuliny (imunoglobuliny) se účastní na obranných mechanismech organismu.

Fibrinogen – je významným faktorem při srážení krve.

Bílkoviny se také podílejí na udržování stálého pH krevní plazmy a za mimořádných okolností (dlouhotrvající hladovění) mohou sloužit jako zdroj živin. Při poklesu plazmatických bílkovin se snižuje na kapilární membráně jejich osmotický tlak – **onkotický tlak**, který se spolu s hydrostatickým tlakem krve podílí na výměně vody mezi kapilárami a intersticiálním prostorem. Převahou hydrostatického tlaku krve nad onkotickým tlakem v arteriálním konci kapilár uniká voda do extravaskulárního prostoru (mimo cévy), na venózním konci kapiláry naopak voda do kapiláry vstupuje díky vyššímu onkotickému tlaku. Nahromaděním tekutiny v extravaskulárním prostoru se tvoří otoky (edémy).

2. Lipidy (tuky)

Množství lipidů je 6–10 g/l krevní plazmy. Jsou nejrůznějšího typu (cholesterol, triacylglyceroly, mastné kyseliny aj.). Lipidy jsou důležitými zdroji energie, podílejí se na stavbě buněčných membrán (fosfolipidy). Při nadbytku se ukládají do zásoby v tukových buňkách, ze kterých mohou být opět uvolněny.

3. Cukry (sacharidy)

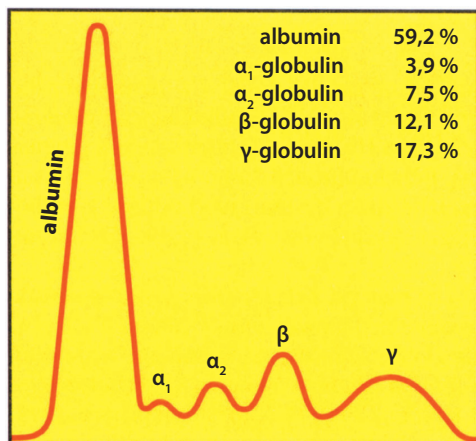
Jejich hlavním představitelem je glukóza. Množství glukózy v plazmě (glykemie) je 3,3–5,5 mmol/l. Glukóza je nezbytným zdrojem energie zejména pro činnost centrálního nervového systému. Oproti lipidům se rychleji odbourává, při nadbytku se ukládá v buňkách (jaterních a svalových) ve formě glykogenu.

5.1.2 FORMOVANÉ ELEMENTY (obr. 44)

5.1.2.1 Červené krvinky (*erythrocyty*)

Bezjaderné buňky tvaru bikonkávního disku o průměrné velikosti (v suchém krevním nátěru) 7,2 μm . Počet erytrocytů u mužů je 4,3–5,3 $\times 10^{12}/\text{l}$ krve (tzn. 4 300 000–5 300 000 erytrocytů v 1 mm^3), u žen 3,8–4,8 $\times 10^{12}/\text{l}$ (tzn. 3 800 000 až 4 800 000 erytrocytů v 1 mm^3). Průměrná délka života erytrocytů v krvi je 120 dnů. Množství červených krvinek ovlivňují pohlavní hormony a atmosférický tlak (obyvatelé žijící ve vyšších nadmořských výškách, kde je atmosférický tlak nižší, mají větší množství červených krvinek).

Základní funkcí červených krvinek je **transport dýchacích plynů** mezi plicemi a tkáněmi. Kyslík difunduje z plicních sklípků do krve na základě tlakového gradientu (rozdílu parciálních tlaků). Malá část kyslíku zůstane rozpuštěná v krevní plazmě, většina se váže v červených krvinkách na **hemoglobin**. Na úrovni kapilár přestupuje kyslík z erytrocytů do mezibuněčného prostoru a tím k buňkám, které ho využívají při **aerobním metabolismu** (chemická přeměna látek vyžadující kyslík). Z tkání přestupuje do krve oxid uhličitý (CO_2). Část CO_2 zůstane rozpuštěná v krevní plazmě, část se váže na hemoglobin a nejvíce oxidu uhličitého se transportuje v krevní plazmě ve formě bikarbonátu. [Bikarbonát vzniká v krvinkách rozpadem (disociací) kyseliny uhličitě – $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$ a ta se tvoří reakcí vody a oxidu uhličitého – $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$ – za přítomnosti enzymu karboanhydrázy.] V plicích přestupuje CO_2 do plicních sklípků a je z organismu vylučován při dýchání.

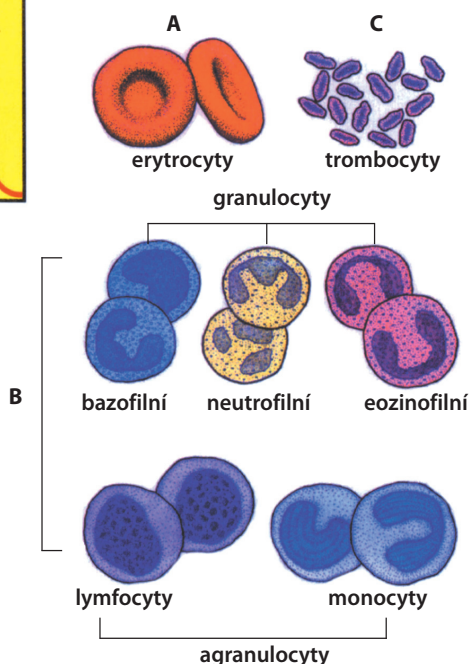


Obr. 44 Formované krevní elementy

- A – erythrocyty
B – leukocyty
C – trombocyty

Obr. 43 Elektroforetické rozdělení plazmatických bílkovin

Oddělení jednotlivých typů plazmatických bílkovin je založeno na rozdílném pohybu elektricky nabitých částic v poli stejnosměrného elektrického proudu. Nejdále (směrem k plus pólu) putují z místa aplikace krevního séra (od minus pólu) albuminy nesoucí negativní náboj.



Porušení membrány červených krvinek a uvolnění obsahu krvinky se nazývá **hemolýza**. Příčinou může být změna osmotického prostředí (hypotonické nebo hypertonické – **osmotická hemolýza**), silné fyzikální podněty (změna teploty, třepání, šlehání – **fyzikální hemolýza**), působení chemických látek (kyselin, zásad, tukových rozpouštědel – **chemická hemolýza**), působení látek toxických (hadí jedy, bakteriální toxiny – **toxická hemolýza**). **Imunologická hemolýza** je důsledkem působení protilátek.

Hemoglobin

Hemoglobin (Hb) je červené krevní barvivo složené ze dvou částí – z nebílkovinného hemu (sloučenina obsahující čtyři atomy dvojmocného železa) a z bílkovinného globinu. Globin tvoří čtyři bílkovinné řetězce, u dospělého typu Hb 2 α a 2 β (symboly α a β označují řazení aminokyselin v bílkovinném řetězci). Během nitroděložního vývoje organismu se vzhledem k rozdílným podmínkám (jiné parciální tlaky kyslíku) tvoří odlišné typy hemoglobinu. Ty se liší stavbou bílkovinných řetězců a schopností vázat kyslík. Fetální hemoglobin má globinové řetězce 2 α a 2 γ .

Kyslík se v červené krvince váže na dvojmocné hemové železo, takže jedna molekula hemoglobinu váže čtyři molekuly kyslíku. Hemoglobin s navázaným kyslíkem se označuje jako *oxyhemoglobin*. Oxid uhličitý se váže na globinovou část hemoglobinu. Tento druh hemoglobinu

označujeme jako *karbaminohemoglobin*. Vazbu kyslíku na hemoglobin a jeho uvolňování ovlivňuje mnoho faktorů – např. teplota, CO_2 , pH. Čím je vyšší teplota, vyšší parciální tlak CO_2 a nižší pH (situace na úrovni tkání), tím snadněji se kyslík z hemoglobinu uvolňuje. Opačná situace (v plicích) usnadňuje vazbu kyslíku na hemoglobin.

Kromě kyslíku a oxidu uhličitého může hemoglobin vázat i jiné látky, např. oxid uhelnatý. HbCO – *karboxyhemoglobin* – se vytvoří snadněji než oxyhemoglobin, takže stačí velmi malé množství tohoto plynu, aby hemoglobin ztratil základní funkci transportovat kyslík, a organismus se tak „otráví“ CO. Při změně dvojmocného hemového železa na trojmocné (oxidační činidla, dusitany – mohou být přítomny ve velkém množství v pitné vodě, zejména studniční) vzniká methemoglobin, který není schopen vázat a uvolňovat kyslík.

5.1.2.2 Bílé krvinky (*leukocyty*)

Představují skupinu jaderných buněk, které se podle přítomnosti granúl v cytoplazmě a jejich různého barvení rozdělují na:

1. **granulocyty** – neutrofilní, bazofilní a eozinofilní,
2. **agranulocyty** – monocyty a lymfocyty.

Počet bílýchrvinek je $4\text{--}9 \times 10^9/\text{l}$ krve (tzn. $4\,000\text{--}9\,000$ leukocytů v 1 mm^3). Jejich počet se mění s věkem (počet bílýchrvinek u novorozence je $18\text{--}20 \times 10^9/\text{l}$ krve), kolísá v závislosti na denní době, tělesné aktivitě a na příjmu potravy. Délka života bílýchrvinek je rozdílná, od několika hodin až po celý život člověka. V krvi je nejvíce neutrofilních granulocytů, 50–70 % z celkového počtu leukocytů. Hlavní funkcí neutrofilních granulocytů je *fagocytóza* (pohlcování látek), proto se také označují jako *mikrofágy*. Jsou schopny, stejně jako eozinofilní granulocyty a monocyty, vycestovat z neporušeného **krvního řečiště** (*diapedeze*) a shromažďovat se v tkáni, např. v místě zánětu (*pozitivní chemotaxe*). Počet eozinofilních granulocytů se zvyšuje při alergických a parazitárních onemocněních.

Všechny typy bílýchrvinek se různým způsobem podílejí na obranných reakcích organismu (viz **imunitní systém**).

Tab. 1 Diferenciální rozpočet bílýchrvinek a jejich základní charakteristika

Druh bílýchrvinek	Diferenciální rozpočet	Funkční vlastnosti
Neutrofilní granulocyty	57–67 %	améboidní pohyb, diapedeza, chemotaxe, fagocytóza
Eozinofilní granulocyty	1–3 %	diapedeza, hromadění v místech průniku alergenů, fagocytóza
Bazofilní granulocyty	0–1 %	receptory pro IgE, granula-histamin, heparin, lokální cévní a tkáňové reakce
Lymfocyty T a B	24–40 %	látková a buněčně zprostředkovaná imunita
Monocyty	3–8 %	tkáňové makrofágy, sekrece látek – růstové faktory

5.1.2.3 Krevní destičky (*trombocyty*)

Bezjaderné okrouhlé částice, které obsahují v cytoplazmě různé typy granul (váčků). Počet trombocytů v krvi je $150\text{--}300 \times 10^9/l$ (tzn. 150 000 až 300 000 těchto částí v 1 mm^3). Délka jejich života je 9–12 dní. Tvoří se odštěpováním částí **cytoplazmy megakaryocytů** (mateřská buňka lokalizovaná v kostní dřeni). Krevní destičky se uplatňují při **hemostáze** (zástava krvácení).

5.2 VZNIK A VÝVOJ FORMOVANÝCH ELEMENTŮ

Omezená doba života formovaných elementů vyžaduje jejich neustálou obnovu. **Krvetvorba** (*hematopoéza*) je proces, který probíhá jak prenatalně (před narozením od 2.–3. týdne fetálního života), tak postnatalně (po narození). Základem vývoje všech formovaných elementů krve jsou **kmenové buňky**, které jsou u dospělého člověka lokalizované v kostní dřeni (u plodů a novorozenců ještě v játrech a ve slezině). Hlavní vlastností kmenových buněk je schopnost **sebeobnovy a diferenciaci** v další typy buněk, které jsou již výchozími buňkami pro vývoj jednotlivých druhů **krevních elementů** (erytrocytů, leukocytů, monocytů, lymfocytů a megakaryocytů). Krvetvorba je složitý proces, jenž vyžaduje nejen vhodné prostředí (kostní dřeň), přísun látek nutných ke **stavbě buněk** (pro tvorbu Hb je důležité železo, dále aminokyseliny, vitamin B_{12} , kyselina listová), ale také přítomnost látek označovaných jako **růstové faktory** a hormony. Růstové faktory se podílejí na diferenciaci kmenových buněk a stimulují vývoj jednotlivých typů krevních elementů.

1. Červené krvinky

Během vývoje v kostní dřeni ztrácejí buněčné organely a jádro, tvoří se v nich hemoglobin. Hlavním faktorem, který se podílí na řízení tvorby erytrocytů, je **erytropoetin**. Tento hormon se u dospělého člověka tvoří hlavně v ledvinách, kreví se přenáší do kostní dřene. Podnětem pro tvorbu erytropoetinu je **nedostatek kyslíku v tkáních** (*hypoxie*), způsobený např. krvácením, **nedostatkem hemoglobinu** (*anemie*), pobytem ve vysokých nadmořských výškách atd. Tvorbu erytropoetinu ovlivňují pohlavní hormony – testosteron jeho tvorbu stimuluje, estrogeny ji naopak tlumí (i proto muži mají větší počet červených krvinek než ženy).

Kapilárami kostní dřene vstupují do krevního oběhu již vyzrálé, bezjaderné červené krvinky. Do krve se dostává i malé množství erytrocytů v posledním vývojovém stadiu – *retikulocyty* (1–2 %) se zbytky buněčných organel.

2. Bílé krvinky

a) Granulocyty

Diferencují se do jednotlivých typů vlivem růstových faktorů. Počet jaderných segmentů vyjadřuje stáří neutrofilních leukocytů. Při jejich zvýšené tvorbě (např. při zánětlivých procesech) stoupá množství mladých buněk bez segmentovaného jádra (tyčky).

b) Agranulocyty

Monocyty po ukončeném vývoji v kostní dřeni vstupují do krevního oběhu, kde zůstávají pouze krátkou dobu (2–3 dny). Poté vstupují do tkání, v nichž se mění na **tkáňové makrofágy** (největší lidské krvinky schopné fagocytózy).

Lymfocyty tvoří zvláštní skupinu leukocytů. Začátek jejich vývoje je v kostní dřeni. Jeden typ lymfocytů – B – se vyvíjí v kostní dřeni i nadále, po opuštění kostní dřene se usazuje v lymfatických tkáních (**lymfatické uzliny, slezina**). Druhý typ lymfocytů – T – kostní dřeň opouští a vývoj lymfocytů tohoto typu pak pokračuje v **brzlíku** (*tymu*). Lymfocyty zajišťují specifickou imunitu organismu.

5.3 KREVNÍ SKUPINY

Každá buňka lidského organismu má na buněčné membráně přítomny látky antigenní povahy (bílkoviny, lipoproteiny, glykoproteiny, polysacharidy). Pokud je antigen rozpoznán jako tělu cizí, aktivuje se imunitní systém organismu. Podle přítomnosti určitého antigenu (*aglutinogenu*) na buněčné membráně můžeme proto rozdělit i erythrocyty do různých krevních skupin. Aglutinogeny jsou komplexní chemické sloučeniny – glykoproteiny či lipoproteiny, které určují antigenní vlastnosti erythrocytů.

Krevní skupiny systému AB0 byly popsány na začátku století. Jedním ze dvou objevitelů krevních skupin u člověka byl profesor Jan Janský (obr. 45), pražský psychiatr (1873–1921). Druhým byl vídeňský lékař Karl Landsteiner (1868–1943), který za objev krevních skupin obdržel v roce 1930 Nobelovu cenu (obr. 46).

5.3.1 SYSTÉM AB0 (H)

Na základě přítomnosti aglutinogenů A, B, H rozdělujeme erythrocyty do čtyř základních krevních skupin:

1. krevní skupina A,
2. krevní skupina B,
3. krevní skupina AB,
4. krevní skupina 0 (nemá ani aglutinogen A, ani aglutinogen B, ale aglutinogen H).

Obr. 45 Profesor Jan Janský (1873–1921) – pražský psychiatr, spoluobjevitel krevních skupin



Obr. 46 Profesor Karl Landsteiner (1868–1943) – vídeňský patolog a imunolog, spoluobjevitel krevních skupin

Systém AB0 má v krevní plazmě přítomny přirozené protilátky (imunoglobuliny), označované jako aglutininy anti-A, anti-B. Platí **Landsteinerovo pravidlo**: v krevní plazmě nejsou přítomny aglutininy proti vlastním aglutinogenům.

Tab. 2 Krevní skupiny

Krevní skupina	Aglutinogen	Aglutinin
A	A	anti-B
B	B	anti-A
AB	A, B	–
0	H	anti-A, anti-B

Princip zjištění krevních skupin je založen na reakci (*aglutinaci*) mezi antigenem a aglutininem. Pro určení krevní skupiny se používají známé aglutininy – anti-A, anti-B a anti-AB. Skupinově neznámé erythrocyty vždy reagují s příslušným aglutininem. Např. pokud erythrocyty ponесou antigen A, budou reagovat (aglutinovat) s aglutininem anti-A, a ne s aglutininem anti-B.

V České republice (a ve střední Evropě) je nejvíce zastoupena krevní skupina A – 41 %; následují krevní skupina 0 – 38 %, krevní skupina B – 14 % a krevní skupina AB – 7 %. Procentuální zastoupení u jiných lidských populací je jiné – např. u indiánů je nejvíce rozšířena skupina AB, u černochů 0.

5.3.2 SYSTÉM RH

Podkladem Rh-systému je lokalizace dalších typů aglutinogenů na membráně erythrocytů. Jsou označeny písmeny C, D, E, c, d, e. Nejsilnější antigenní vlastnosti má antigen D. Antigen D je přítomen u 85 % lidské bělošské populace (u černochů je to pouze 50 %) a tyto lidé jsou označováni jako Rh⁺ (poz.). Ti, kteří antigen D nemají, jsou označováni jako Rh⁻ (neg.). (Symbol Rh pochází z doby objevu Rh-systému – byl objeven při pokusech s opicemi *Maccacus rhesus*. Zjistilo se, že v 85 % případů sérum proti jejich krvinkám shlukuje i krvinky lidské).

Systém Rh nemá v plazmě přirozené protilátky. Protilátky anti-D vznikají až po kontaktu krve Rh⁻ jedince s krví Rh⁺.

Nejčastěji vzniká tato situace během těhotenství, pokud matka je Rh⁻ a dítě (po otci) Rh⁺. V těhotenství je krevní oběh matky a plodu oddělen a krvinky plodu nemohou placentou pronikat. Při poškození placenty nebo při porodu (ale i při potratu!) proniknou krvinky dítěte do krevního oběhu matky, což vede u matky k tvorbě protilátek anti-D. Množství vytvořených protilátek je zprvu malé, ale každým těhotenstvím stoupá. Protilátky anti-D snadno přestupují placentární bariéru, vyvolávají **shlukování** (*aglutinaci*) krvinek plodu (protilátka anti-D reaguje s krvinkami, které nesou antigen D). Krvinky plodu se **rozpadají** (*hemolyzují*), uvolněný hemoglobin se přeměňuje na bilirubin, který je z cirkulace fétu odstraňován jaterními buňkami matky. Úbytek krvinek, a tím také snížené množství kyslíku v tkáních (**tkáňová hypoxie**), vyvolává zvýšenou krvetvorbu u plodu a do krve pronikají velké, ještě nevyzrálé erythrocyty – onemocnění se proto nazývá *erythroblastosis fetalis*. Po narození nejsou játra novorozence schopna bilirubin pocházející ze zvýšeného rozpadu erythrocytů zpracovat, ten se může dostávat do mozkových jader a výsledkem může být těžké **motorické postižení dítěte** – *morbus haemolyticus neonatorum*. Jako prevence komplikací dalších

těhotenství a pro snížení hladiny protilátek se Rh⁻ ženám po narození Rh⁺ dítěte podává do 72 hodin po porodu anti-D imunoglobulin.

Mimo uvedené dva hlavní systémy AB0 a Rh existují ještě desítky dalších antigenních systémů. Určení některých z nich se provádí zejména při opakovaných transfuzích velkého množství krve. Znalost krevních skupin je proto **podstatou pro provedení krevní transfuze**, ale využívá se také při určování otcovství či v soudním lékařství.

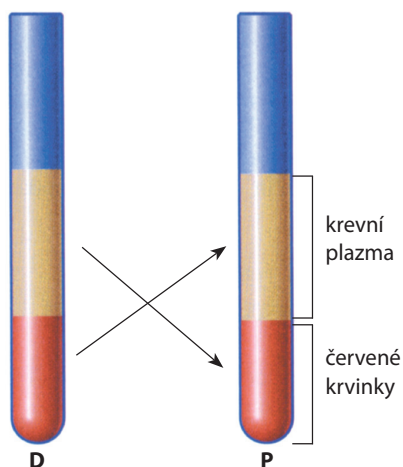
5.3.3 KREVNÍ TRANSFUZE

Krevní transfuze je převod krve od dárce (zastoupeného většinou krevní konzervou) příjemci. Příjemce smí **obdržet pouze krev, která odpovídá jeho vlastní krevní skupině**. Může se aplikovat transfuze plné krve, to znamená krevní plazmy včetně formovaných elementů, nebo pouze transfuze erytrocytů, trombocytů či plazmy.

Před každou transfuzí je třeba zjistit krevní skupinu příjemce. Vyšetření se provádí z odebraného vzorku nativní krve od pacienta (tj. krve neupravené, bez protisrážlivých prostředků) v hematologické laboratoři. Na základě principu reakce aglutinogenu a příslušného aglutininu se

Obr. 47 Princip provedení malé a velké křížové zkoušky

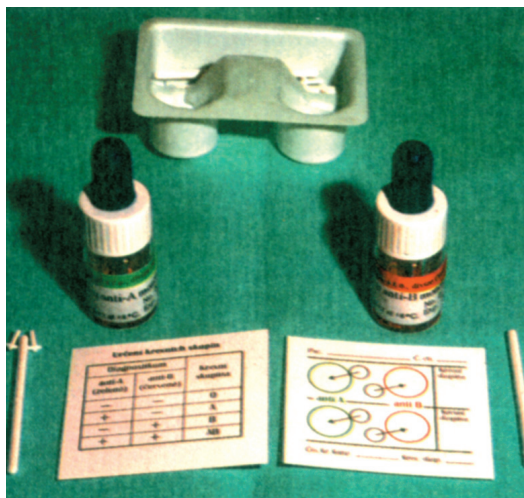
Při velké křížové zkoušce se mísí červené krvinky dárce (D) s plazmou příjemce (P), při malé křížové zkoušce se sleduje reakce plazmy dárce s krvinkami příjemce.



zvláště vyšetřují erytrocyty pacienta a zvláště krevní plazma. Po zjištění krevní skupiny pacienta se vybere příslušná krevní konzerva a provede se **vyšetření kompatibility** (shody) mezi oběma krevemi **velkou a malou křížovou zkouškou** (obr. 47). **Při velké křížové zkoušce se sleduje reakce erytrocytů dárce s plazmou příjemce, při malé křížové zkoušce reakce plazmy dárce s erytrocyty příjemce.** Označení velká a malá křížová zkouška vychází ze závažnosti postižení pacienta při neshodnosti krevních skupin. Podané antigenně neshodné erytrocyty navodí u příjemce tvorbu protilátek a výsledkem je těžké postižení organismu, často smrtelné, např. následkem poškození funkce ledvin. Při zjišťování kompatibility musí být výsledek obou zkoušek negativní.

Krevní transfuzi provádí zdravotničtí pracovníci podle vyhlášky č. 55/2011 Sb. nebo lékař.

Před vlastní transfuzí se krevní konzerva kontroluje (krevní skupina, datum odběru – plná krev smí být skladována pouze 21 dnů, zjišťuje se, zda v krvi nejsou sraženiny). Opět se provede zkouška kompatibility (obr. 48) pomocí známých aglutininů – anti-A a anti-B.



Obr. 48 Set na provedení testu kompatibility u lůžka pacienta

Zelená lahvička obsahuje protilátku anti-A, červená anti-B. Postup a princip provedení testu je uveden na testovacích papírech.

Po potvrzení kompatibility se zahájí krevní transfuze **biologickým pokusem**. Po podání 10–20 ml krve se transfuze přeruší a sleduje se stav nemocného (teplota, krevní tlak, tepová frekvence). Pokud se objeví nežádoucí reakce (zblednutí, zčervenání, pocení, pokles krevního tlaku), musí se krevní transfuze **okamžitě přerušit!** Biologický pokus se ještě dvakrát opakuje, než se pokračuje v další podávání krve. Nutnost přerušit krevní transfuzi může nastat nejenom při **inkompatibilitě** (antigenní neshodě) krví, ale i z jiných důvodů. (Jednou z příčin nežádoucích příznaků může být i reakce na protisrážlivý roztok krevní konzervy).

5.4 ZÁSTAVA KRVÁCENÍ

Zástava krvácení (*hemostáza*) je děj, kterým se organismus chrání před vykrvácením. Jeho součástí jsou:

1. **reakce cév v místě poranění** (*vazokonstrikce*),
2. **reakce krevních destiček**,
3. **srážení krve** (*hemokoagulace*).

Přirozené hemostatické mechanismy se mohou uplatnit pouze v případě poranění cévy, ve které není vysoký krevní tlak. Při porušení stěny cév s vyšším krevním tlakem, např. v aortě, nestačí přirozené hemostatické mechanismy zabránit vykrvácení.

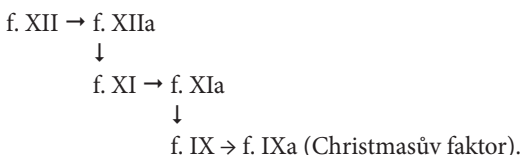
1. Reakce cév na poranění je velmi rychlá. Stahem hladké svaloviny v **cévní stěně (vazokonstrikci)** se může céva úplně uzavřít (malé cévy, kde je nízký krevní tlak), či se alespoň zúžením sníží velikost krvácení a usnadní se další hemostatické děje. Vazokonstrikci mohou navodit látky, které se uvolňují z granul **krevních destiček** (např. serotonin, tromboxan A_2), nebo je reakce cévní stěny navozena reflexně.
2. Základem reakcí krevních destiček je jejich **přilnutí** (*adheze*) k vazivové vrstvě cévy obnažené poraněním, jejich nahromadění v místě **poranění (agregace)**, změna tvaru a uvolnění obsahu destičkových granul. Výsledkem je vytvoření **dočasné hemostatické zátky (destičkový trombus)**, která může zabránit krvácení z kapilár a venul a je důležitá pro další hemostatický děj – srážení krve.
3. **Srážení krve (hemokoagulace)** je složitý biochemický děj, který způsobuje vytvoření definitivní **krevní sráženiny – trombu**. První teorii hemokoagulace předložil v roce 1905 Paul Morawitz.

Základem je působení *trombokinázy* (enzymu) z krevních destiček na bílkovinu **krevní plazmy** – *protrombin*. Vzniklý *trombin* (enzym) mění rozpustný *fibrinogen* na vláknitý nerozpustný *fibrin*. K těmto reakcím jsou nutné vápníkové ionty. Ve fibrinové síti, která je základem trombu, se potom uchyťávají formované elementy. Trombus se zpevňuje a poraněná céva se definitivně uzavře.

Podstata této teorie je platná dodnes.

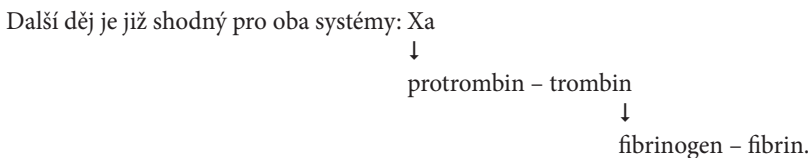
Na aktivaci protrombinu se podílí množství faktorů (označených římskými číslicemi), které jsou součástí dvou systémů: vnitřního a vnějšího. Většina koagulačních faktorů se tvoří v játrech a k tvorbě několika z nich je potřebný vitamin K. Při chybění tohoto vitamínu se vytvořené plazmatické faktory nemohou uplatnit, protože jim chybí receptory pro vápník.

a) Vnitřní systém je tvořen skupinou plazmatických prokoagulačních faktorů, které se postupně, za přítomnosti vápníkových iontů, kaskádovitě aktivují. Reakce začíná kontaktem obnaženého vaziva poraněné cévy s faktorem č. XII (Hagemannovým faktorem):



Faktor IXa spolu s vápníkovými ionty a aktivovaným faktorem VIII vytvoří aktivovaný desátý faktor (Xa, Stuartův-Prowerův faktor).

b) Vnější systém je tvořen tkáňovým tromboplastinem, který se uvolňuje z buněčných membrán tkání v okolí poraněné cévy, plazmatickým faktorem VII (prokonvertin) a vápníkovými ionty. Tento aktivovaný komplex působí na faktor X a mění ho na Xa. Reakce je velmi rychlá.



Stabilizací fibrinové sítě je celý proces hemokoagulace ukončen. Ve vytvořené síti se zachytávají formované elementy (**krvinky a krevní destičky**) a vzniká **definitivní trombus**, který poraněnou cévu uzavírá. Za fyziologických podmínek trvá zástava krvácení 1–3 minuty.

Pokud kterýkoliv z koagulačních faktorů chybí, je proces hemokoagulace porušen. Např. při geneticky vázaném onemocnění – *hemofilii A* – chybí koagulační faktor VIII a i minimální porušení cévní stěny vede k vážným krvácivým projevům.

Kromě koagulačních systémů jsou v organismu přítomny mechanismy, které naopak hemokoagulaci brání. Jedním z nich je proud, který ředí nahromaděné koagulační faktory; stejně tak hemokoagulaci brání neporušený cévní endotel. Hlavním protikoagulačním faktorem je *anti-trombin III*, na který se váže heparin a který vytváří nefunkční komplexy s plazmatickými faktory IX, X, XI a XII.

Oba systémy (**koagulační a protikoagulační**) jsou u zdravého člověka v rovnováze. Porušením rovnováhy (poraněním) se pak aktivuje jeden z nich.

Obr. 49 Odběr krve

Krev se nejčastěji odebírá z žíly loketní. Paže se gumovým obinadlem zaškrtní nad kloubem loketním (zabrání se tak odtoku venózní krve z dolní části paže). Po dezinfekci místa vpichu se krev odebírá do injekční stříkačky s protisrážlivým roztokem. Při odběru sestra používá rukavice.



5.4.1 PROSTŘEDKY OVLIVŇUJÍCÍ SRÁŽENÍ KRVE

Pro vyšetřování krve (obr. 49) je často potřeba, aby vzorek krve zůstal tekutý, nebo je nutné zabránit hemokoagulaci v organismu. K tomu účelu lze použít několik způsobů:

1. **odstranění vápníkových iontů** ze vzorku krve použitím citrátu sodného, který vyváže plazmatický vápník,
2. **odstranění fibrinu** mechanicky nebo použitím některých hadích jedů,
3. **podání heparinu**,
4. **aplikaci hirudinů** (látka ze slinných žláz pijavek), který blokuje trombin,
5. **použití látek** (kumarinových preparátů – Pelentan), které blokují účinky vitamínu K v játrech.

5.5 SEDIMENTACE ERYTROCYTŮ

Rychlost klesání erytrocytů v nesrážlivé krvi – **sedimentační rychlost** (značí se FW – podle Fåhrus-Westergren) – je u zdravého organismu stálá hodnota, která je závislá na velikosti červených krvinek a jejich elektrochemických vlastnostech a na **složení krevní plazmy** (zejména na množství fibrinogenu a imunoglobulinů). Fyziologická hodnota rychlosti sedimentace je u mužů 2–10 mm/h, u žen 3–21 mm/h, u zánětlivých či nádorových procesů se tato rychlost zvětšuje. Zjištění sedimentační rychlosti (již v roce 1925 ho zavedl švédský internista Alf Vilhelm Westergren) patří proto sice k základním, ale pouze orientačním vyšetřením krve. Sedimentační rychlost fyziologicky stoupá během těhotenství a při menstruaci. Nyní je toto vyšetření nahrazováno stanovením C-reaktivního proteinu (< 2–8 mg/l), jehož hodnota rychle stoupá během akutní fáze zánětu.

OTÁZKY K ZAMYŠLENÍ:

1. Proč mají muži více hemoglobinu než ženy?
2. Čím je vyvolána zvýšená tvorba červených krvinek při pobytu ve velké nadmořské výšce?
3. Může mít dítě krevní skupinu A, když matka má krevní skupinu B?
4. Proč by kojencům neměla být připravována umělá výživa ze studniční vody?
5. Jaké množství krve se používá při transplantaci srdce?
6. Který živočich má nejstudenější a který nejteplejší krev?
7. Jaké množství červených krvinek zanikne v lidském těle za jeden den?