

**MUNI**  
**MED**

# **Fyziologie krve. Imunitní systém.**

# Úvod

- Krev
- Krevní plazma a proteiny krevní plazmy, viskozita
- Erytrocyty
- Leukocyty
- Trombocyty
- Hemostáza (fibrinolýza)
- Imunita (vrozená – buněčná a humorální; získaná – buněčná a humorální; očkování (imunizace – pasivní, aktivní))

# Funkce krve

- Transportní funkce
- Homeostáza
- Obrana organismu
- Hemostáza
- Termoregulace
- Humorální řízení

# Krevní plazma. Anorganické látky.

- **Na<sup>+</sup>** (137-147 mmol/l): udržení osmotického tlaku, objemu, pH
- **Cl<sup>-</sup>** (98-106 mmol/l): udržení osmotického tlaku, objemu, pH
- **K<sup>+</sup>** (3,8-5,1 mmol/l): činnost svalů (hl. myokardu)
- **Ca<sup>2+</sup>** (2,1-2,7 mmol/l): nervová dráždivost, stažlivost svalu, srážení krve, propustnost membrán, mineralizace kostí
- **P** (0,65-1,62 mmol/l): regulace pH, mineralizace kostí
- **Mg<sup>2+</sup>** (0,75-1,25 mmol/l): aktivita enzymů, nervová dráždivost
- **HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>** (25-34 mmol/l): transport CO<sub>2</sub>, udržení pH
- **Fe** (16-25 μmol/l): součást hemoglobinu - transport plynů
- **I** (275-630 nmol/l): tvorba hormonů štítné žlázy

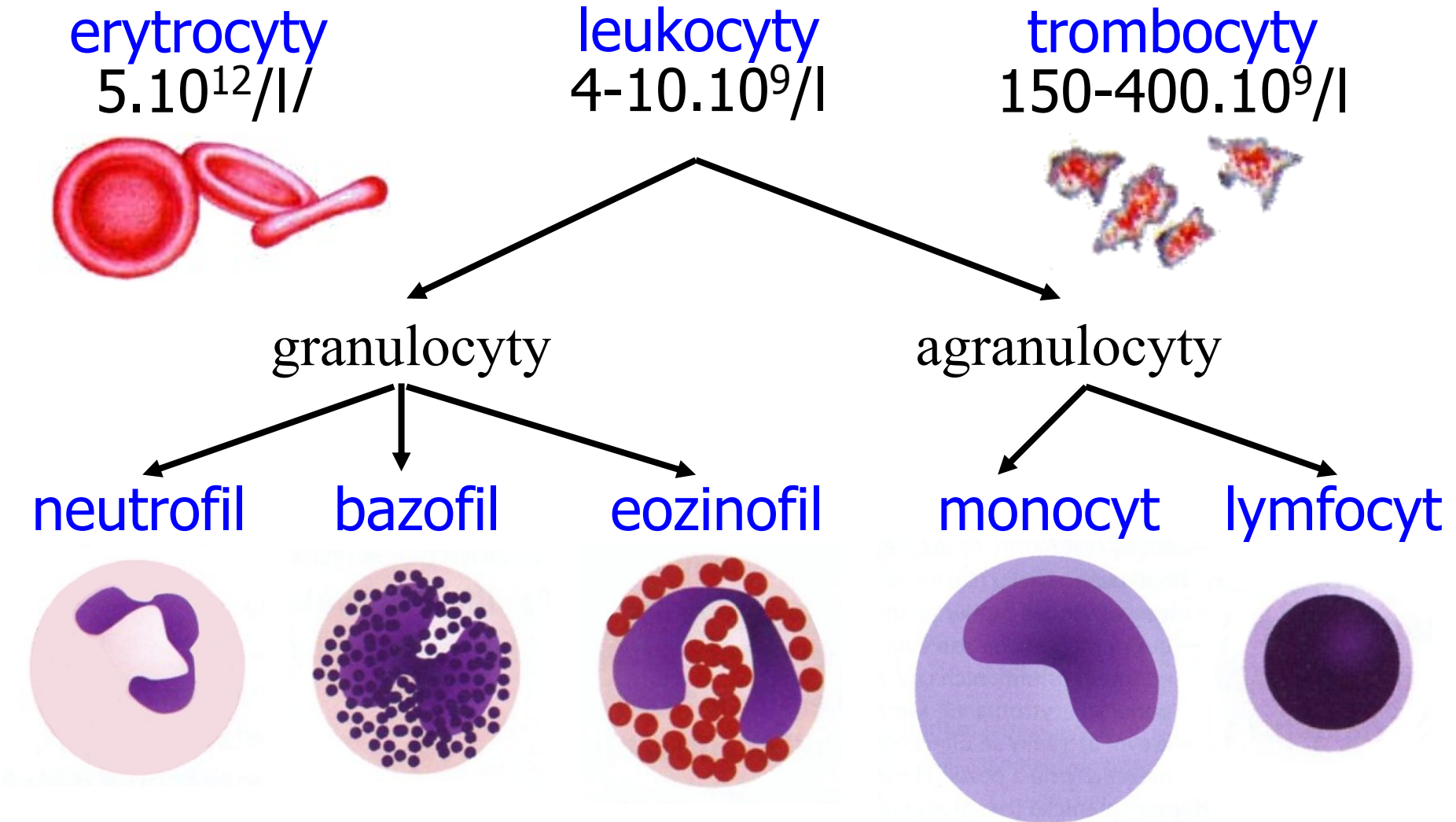
# Krevní plazma. Organické látky

- Plazmatické proteiny 60-80 g/l
  - Albuminy (40-48 g/l): onkotický tlak, transport iontů, mastných kyselin, pigmentů, látek tělu cizích, hormonů
  - Globuliny (18-30 g/l)
    - α-globuliny: transport hormonů, kovů, vitamínů
    - β-globuliny: vazba hemu, vit. B12, železa, transport cholesterolu
    - γ-globuliny: protilátky, specifická imunita
  - Fibrinogen (3 g/l): srážení krve
- Tuky (4-10 g/l)
- Glukóza (4-5,5 mmol/l)
- Dusíkaté látky (0,2-0,4 g/l): močovina, bilirubin, aminokyseliny
- Hormony, vitamíny, enzymy, léky

# Viskozita krve

- Viskozita neboli vazkost je veličina, která charakterizuje vnitřní tření tekutiny a závisí především na přitažlivých silách mezi částicemi
- **Fibrinogen** (Interakce s Ery, s LDL; hyperfibrinogenémie)
- **Hematokrit** (přímé a nepřímé interakce mezi Ery a mezi Ery a fibrinogenem)
- **Průměr cévy**
- **Rychlost proudění krve**
- **Teplota** (za fyziologických podmínek zanedbatelný parametr)

# Formované krevní elementy



# Formované krevní elementy

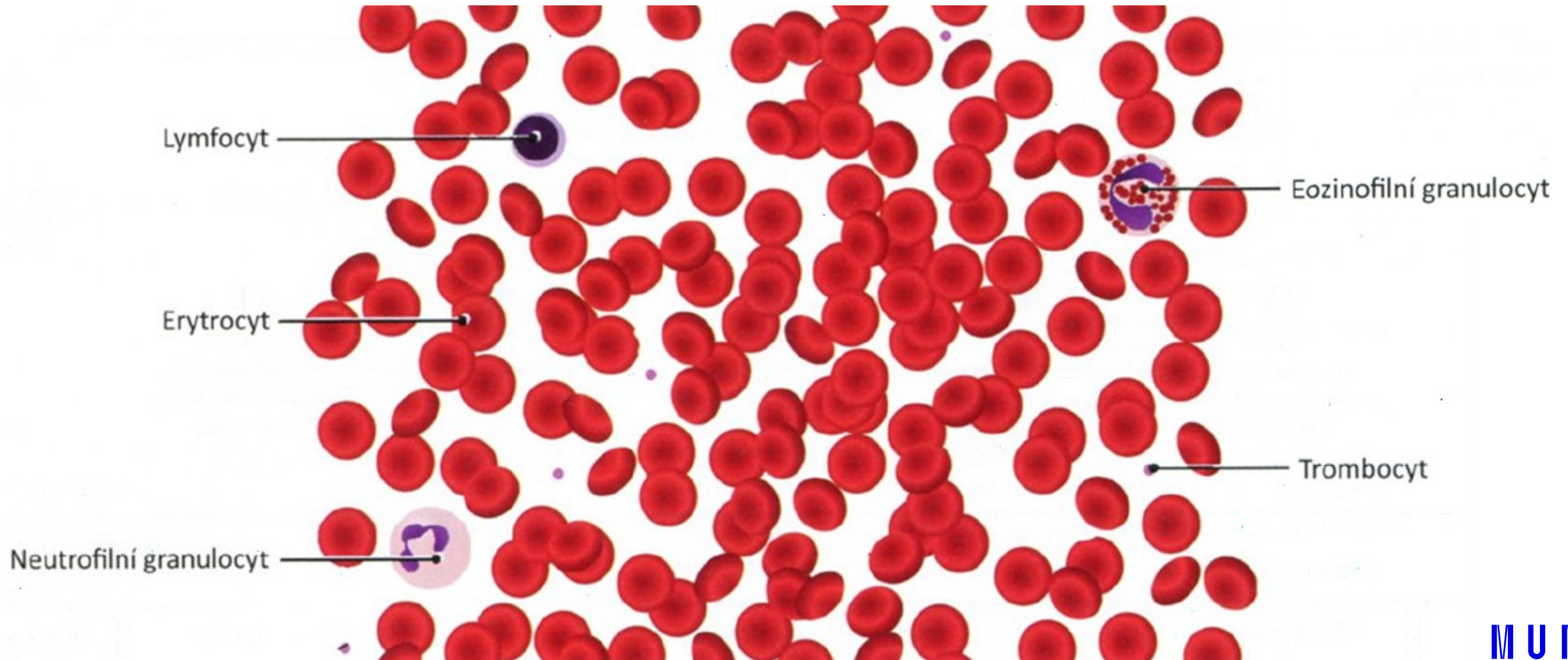
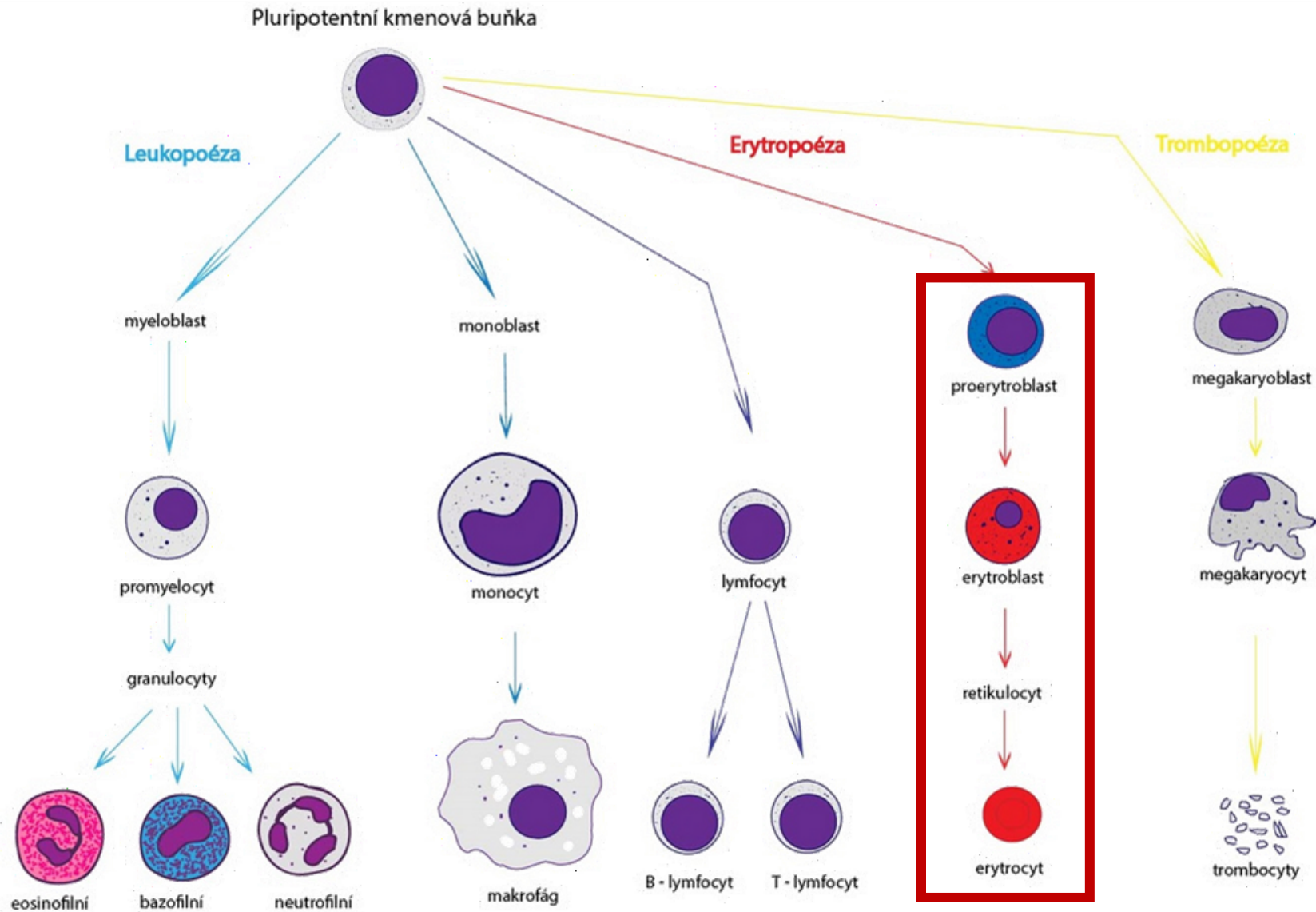


Schéma krevního nátěru



# Hematopoéza



# Erythropoéza

## Ontogeneze

- 3. týden: žloutkový vak
- 6. týden: játra (tvorba v žloutkovém vaku zaniká)
- 12. týden: slezina
- 20. týden: kostní dřeň
- 32. týden: přesmyk z embryonálního hemoglobinu na HbF
- novorozenec: krvetvorba pouze v kostech, přesmyk HbF na dospělý hemoglobin HbA
- dospělý člověk: krvetvorba v hrudní kosti, obratlech, žebrech, v klíční kosti, v pánevních kostech, v plochých lebečních kostech, v proximálních epifýzách některých dlouhých kostí

# Erythropoéza

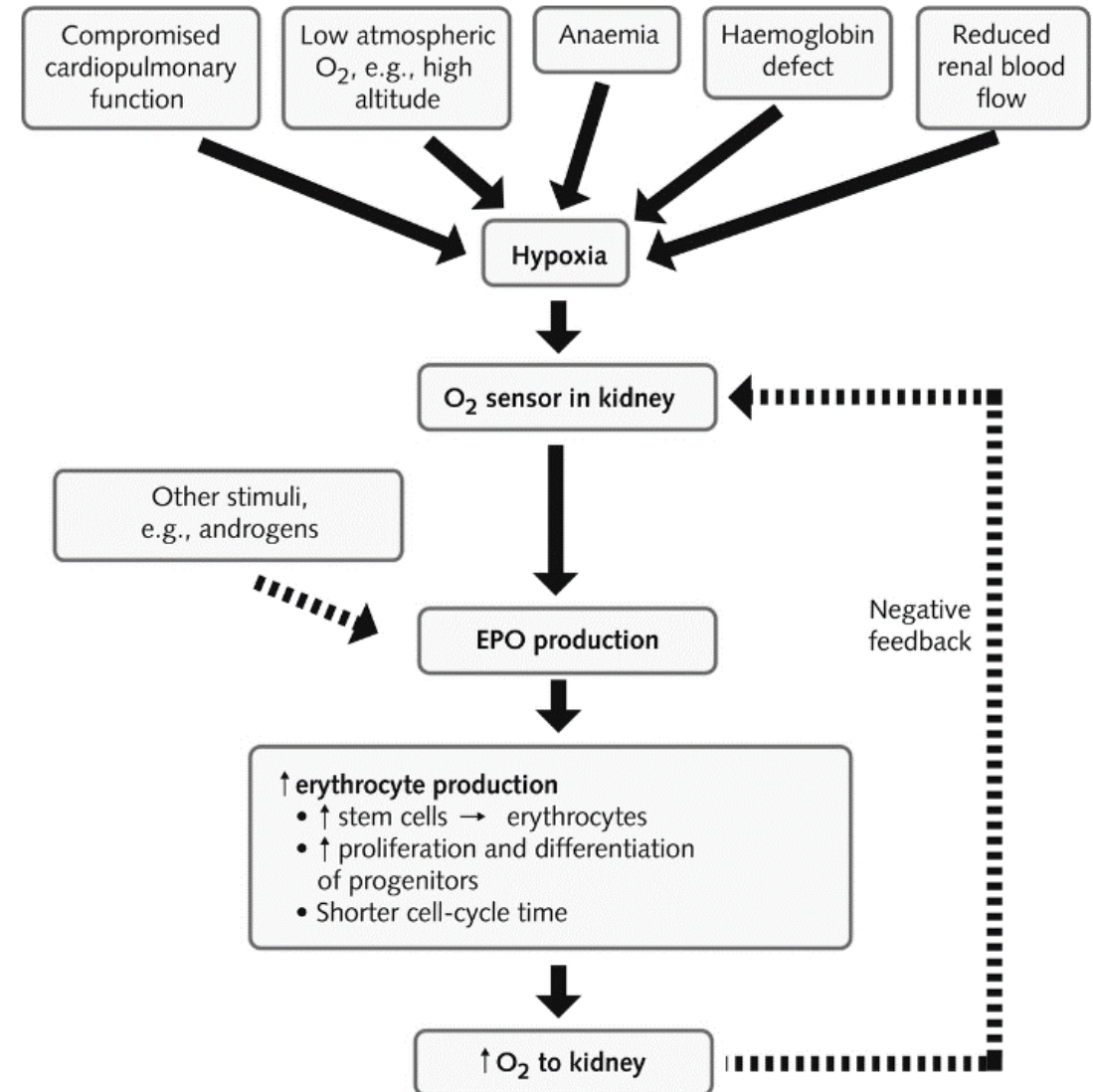
## □ Erythropoetin - tvorba v ledvinách

- působí na citlivé determinované progenitorové buňky v kostní dřeni
- stimuluje syntézu nukleových kyselin
- aktivuje geny potřebné k syntéze hemoglobinu
- zvyšuje příjem Fe

## □ Látky potřebné pro tvorbu erytrocytů

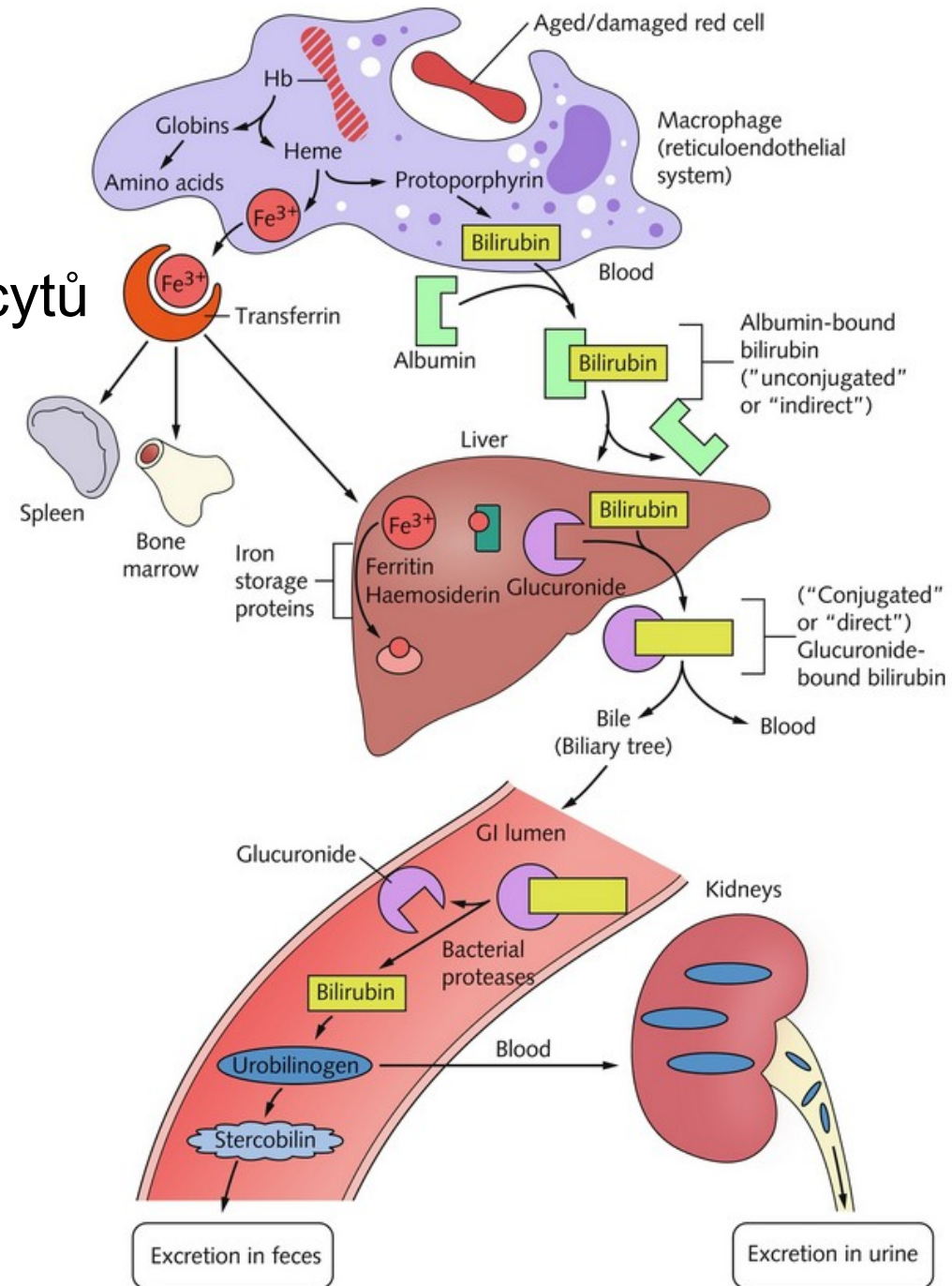
- aminokyseliny: bílkovinná část hemoglobinu
- železo: vazba kyslíku na hemoglobin a myoglobin
- vitamín B12: důležitý pro syntézu DNA
- kyselina listová: důležitý pro syntézu DNA

- \* □ androgeny ↑ erythropoézu
- hormony štítné žlázy ↑ erythropoézu
- růstový hormon ↑ erythropoézu
- hormony kůry nadledvin ↑ erythropoézu
- prostaglandin E ↑ produkci erythropoetinu v ledvinách



# Zánik červených krvinek

- Slezina: fagocytóza starých a poškozených erytrocytů
- Hemoglobin=globin+hem
- Globin – aminokyseliny
- Hem= $\text{CO}_2$ +Fe+biliverdin
- Fe – syntéza dalšího hemoglobinu



# Červená krvinka (erytrocyt)

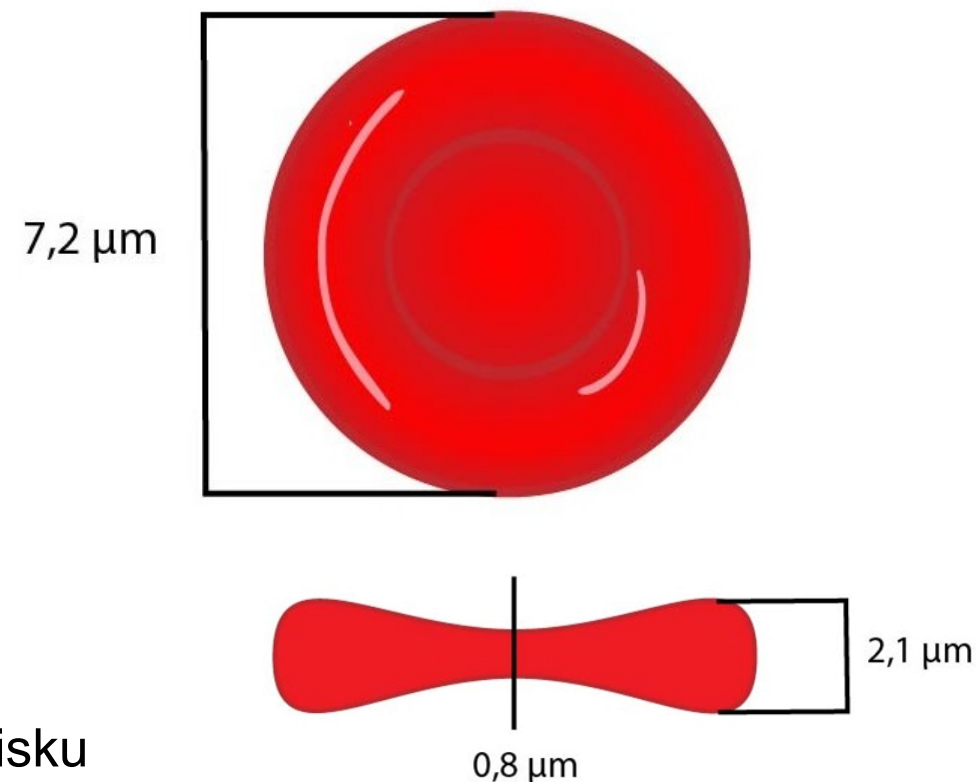
□ Bezjaderná buňka, hlavní část formované složky krve

□ Tvar:

- bikonkávní disk - tvar zvětšuje povrch asi o 30%
- tvar zajišťuje protein spektrin
- plasticita tvaru důležitá pro vstup úzkými kapilárami

□ Velikost:

- Normocyt:  $7,2 \mu\text{m}$
- Mikrocyt (-oza):  $\leq 7 \mu\text{m}$
- Makrocyt (-oza):  $\geq 9 \mu\text{m}$
- Megalocyt:  $\geq 20 \mu\text{m}$
- Tloušťka cca  $2,5 \mu\text{m}$  na periferii a cca  $1 \mu\text{m}$  ve středu disku
- \*Anisocytóza





# Červená krvinka (erytrocyt)

- Fyziologické rozmezí erytrocytů:
  - ♂:  $4,3-5,3 * 10^{12} / l$
  - ♀:  $3,8-4,8 * 10^{12} / l$
  - Novorozenec:  $4,4-7 * 10^{12} / l$
- Stanovení počtu červených krvinek
- Automatické metody
  - Impedanční
  - Fotooptická
- Klasická metoda
  - Bürkerova komůrka + Hayemův roztok



# Funkce Ery

- Přenos dýchacích plynů
- Pufrovací systém
- Udržování viskozity krve

# Hematokrit (Hct)

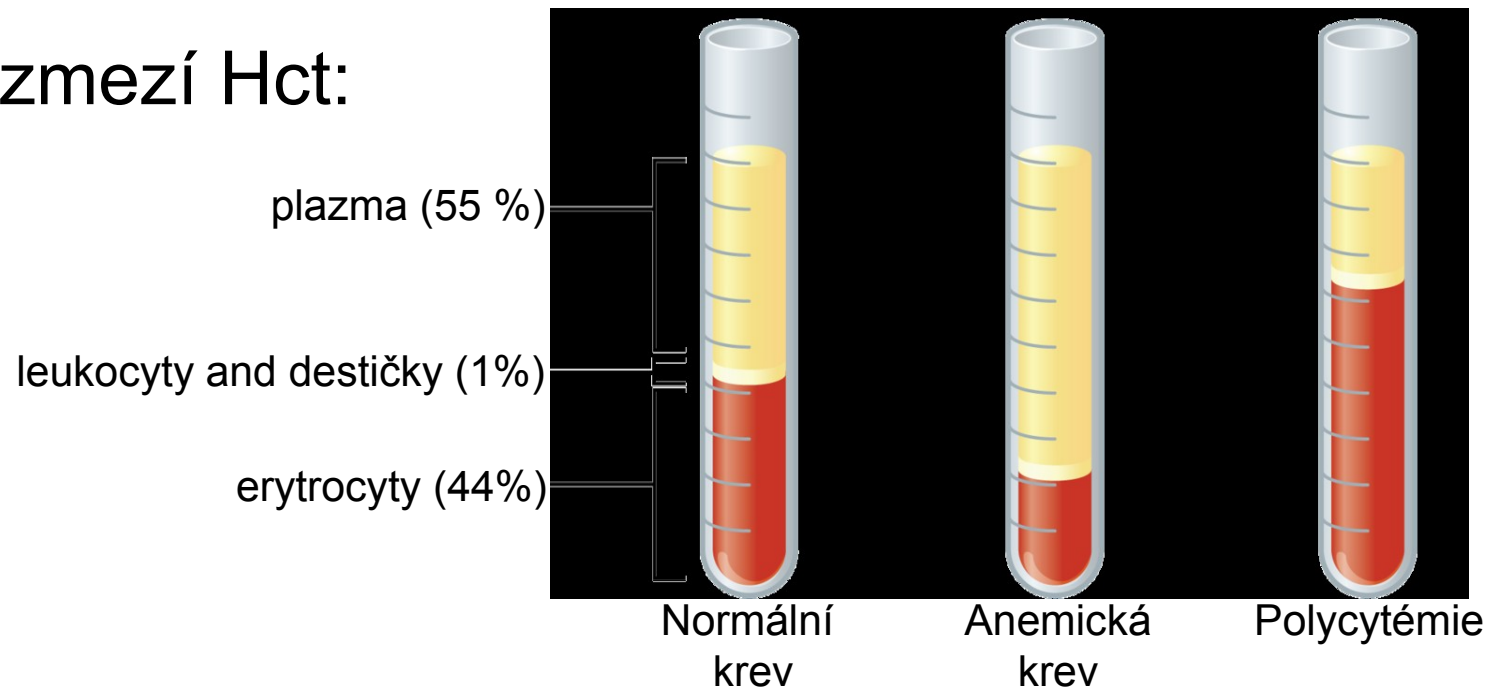
□ Vyjadřuje procentuální zastoupení objemu erytrocytů v plné krvi

□ Zjišťujeme po centrifugaci nesrážlivé krve\*

□ Fyziologické rozmezí Hct:

□ ♂: 42-52%

□ ♀: 37-47%



\*centrifugací srážlivé krve po odstranění krevního koagula získáme krevní sérum (od plazmy se liší chyběním koagulačních faktorů)



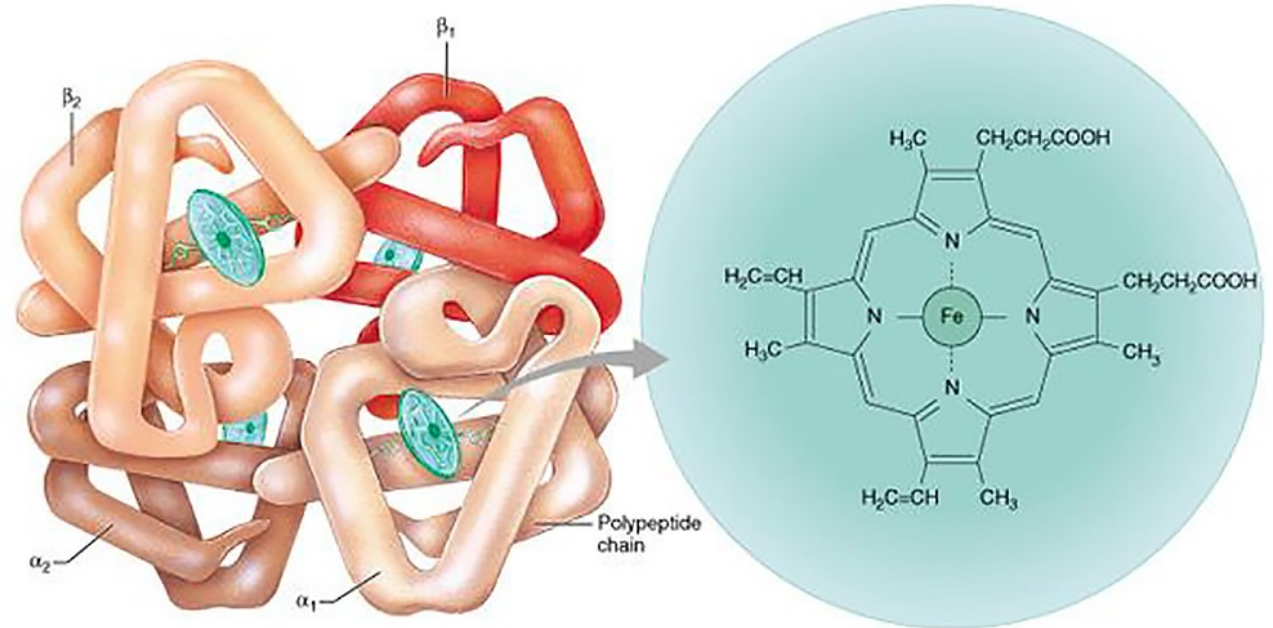
# Hemoglobin (Hb)

□ Embryo:  $\epsilon 4$  nebo  $\alpha 2 \epsilon 2$

□ Plod: Hb $\underline{F}$   $\alpha 2 \gamma 2$

□ Dospělý: Hb $\underline{A}$   $\alpha 2 \beta 2$

Hb $\underline{A}_2$   $\alpha 2 \delta 2$



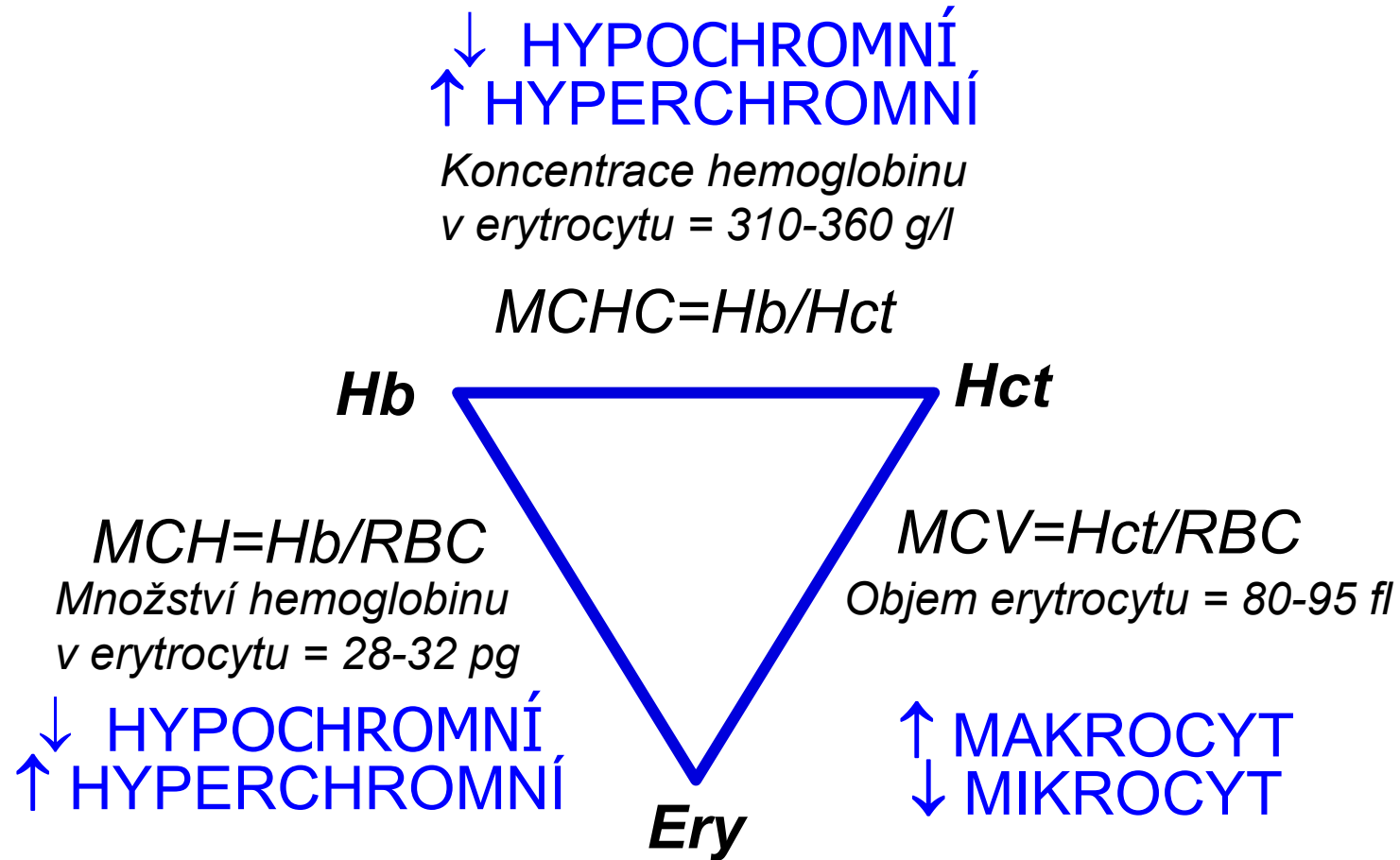
□ Oxyhemoglobin: vazba  $\text{O}_2$  na  $\text{Fe}^{2+}$  v hemu

□ Karbaminohemoglobin: vazba  $\text{CO}_2$  na  $\text{NH}_2$  konce bílkoviny

□ Karboxyhemoglobin: vazba  $\text{CO}$  na  $\text{Fe}^{2+}$  v hemu

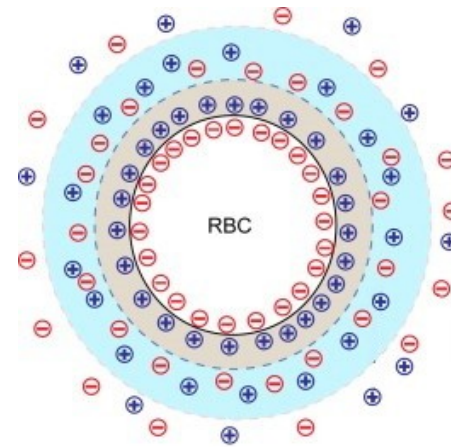
□ Methemoglobin: hem s  $\text{Fe}^{3+}$  - nemůže vázat  $\text{O}_2$

# Vypočítané hodnoty červené složky



# Sedimentace erytrocytů

- Rychlost poklesu krvinek v nesrážlivé krvi
- Helmholtzova elektrická dvojvrstva
- Sedimentační rychlost je nepřímo úměrná suspenzní stabilitě krve
- Fyziologické hodnoty
  - ♂: 2-8 mm/h
  - ♀: 7-12 mm/h
  - Novorozenci: 2 mm/h
  - Kojenci: 4-8 mm/h



# Sedimentace erytrocytů

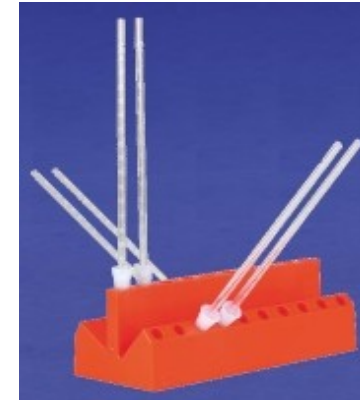
## □ Metody vyšetření sedimentační rychlosti:

### □ dle Fahraeus-Westergrena(FW, přímá metoda):

kapilára postavená kolmo  
odečítá se po 1 hodině

### □ dle Wintroba(šikmá sedimentace):

kapilára sešikmená pod úhlem 45°  
odečítá se po 15 minutách



## □ Faktory, ovlivňující sedimentaci:

□ Množství Ery

□ Rozměr Ery

□ Přítomnost bílkovin

□ pH

□ Tuky, cholesterol

Vliv na rychlost sedimentace	↑ hodnota	↓ hodnota
Erytrocyty		
Počet ery	zpomaluje	zrychluje
Velikost ery	zrychluje	zpomaluje
Plazma		
Albumin	zpomaluje	zrychluje
Imunoglobuliny	zrychluje	zpomaluje
Fibrinogen	zrychluje	zpomaluje
Tuk	zrychluje	zpomaluje

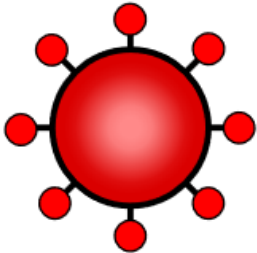
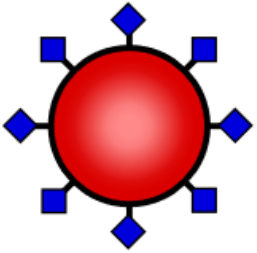
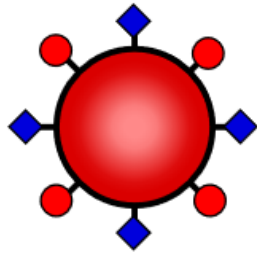
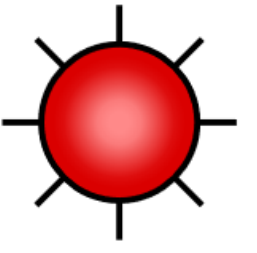








# Hemolýza

- Rozpad červených krvinek
- Fyzikální
  - Mechanické poškození membrány, třepání, ultrazvuk, extrémní změny teplot, UV záření
- Osmotická
  - Ery v hypotonickém roztoku nasává vodu a praská
- Chemická
  - Chemická reakce lipidů v membráně s chemickou látkou –silné kyseliny a zásady, tuková rozpouštědla, povrchově aktivní látky (detergenty)
- Toxická
  - Bakteriální toxiny, jedy (rostlinné, hadí, hmyzí, pavoučí,...), paraziti (Plasmodium spp. -malárie)
- Imunologická
  - Transfúze nekompatibilní krve -imunitní systém hemolyzuje erythrocyty (komplementem)



# System AB0

- Antigen na povrchu erytrocytu (aglutinogen): A, B
- Protilátka v krvi (aglutinin): anti-A, anti-B (IgM)

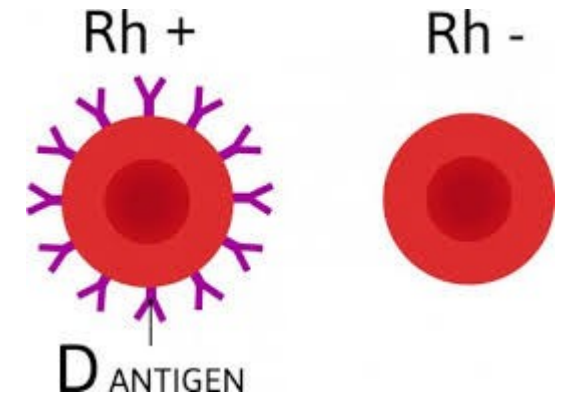
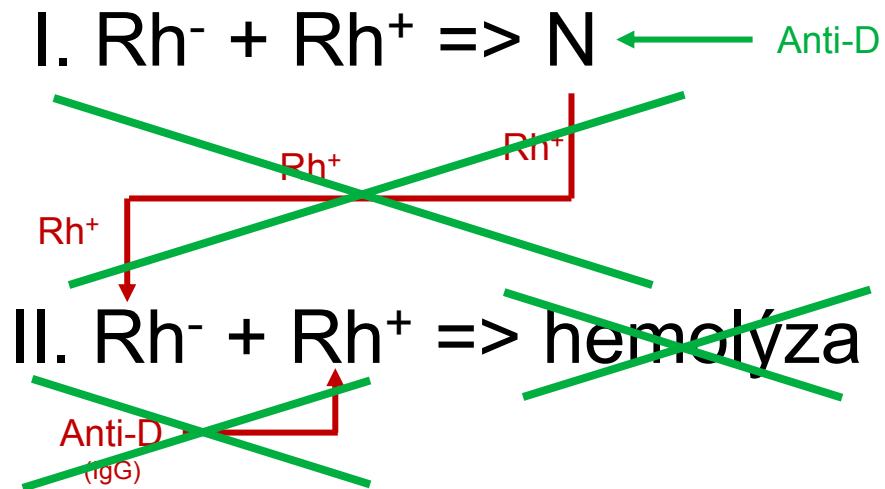
Krevní skupiny	Skupina A	Skupina B	Skupina AB	Skupina 0
Zastoupení v ČR	41%	18%	9%	32%
Erytrocyty				
Antigeny na erytrocytech	A 	B 	A a B  	žádné
Protilátky v krvi	anti-B 	anti-A 	žádné	anti-A a anti-B  

# System AB0

		0 (-, anti AB)	A (A, anti B)	B (B, anti A)	AB (AB,-)
ERY	0 (-)	V	V	V	V
	A (A)	-	V	-	V
	B (B)	-	-	V	V
	AB (AB)	-	-	-	V
Plazma	0(anti AB)	V	-	-	-
	A(anti B)	V	V	-	-
	B(anti A)	V	-	V	-
	AB(-)	V	V	V	V

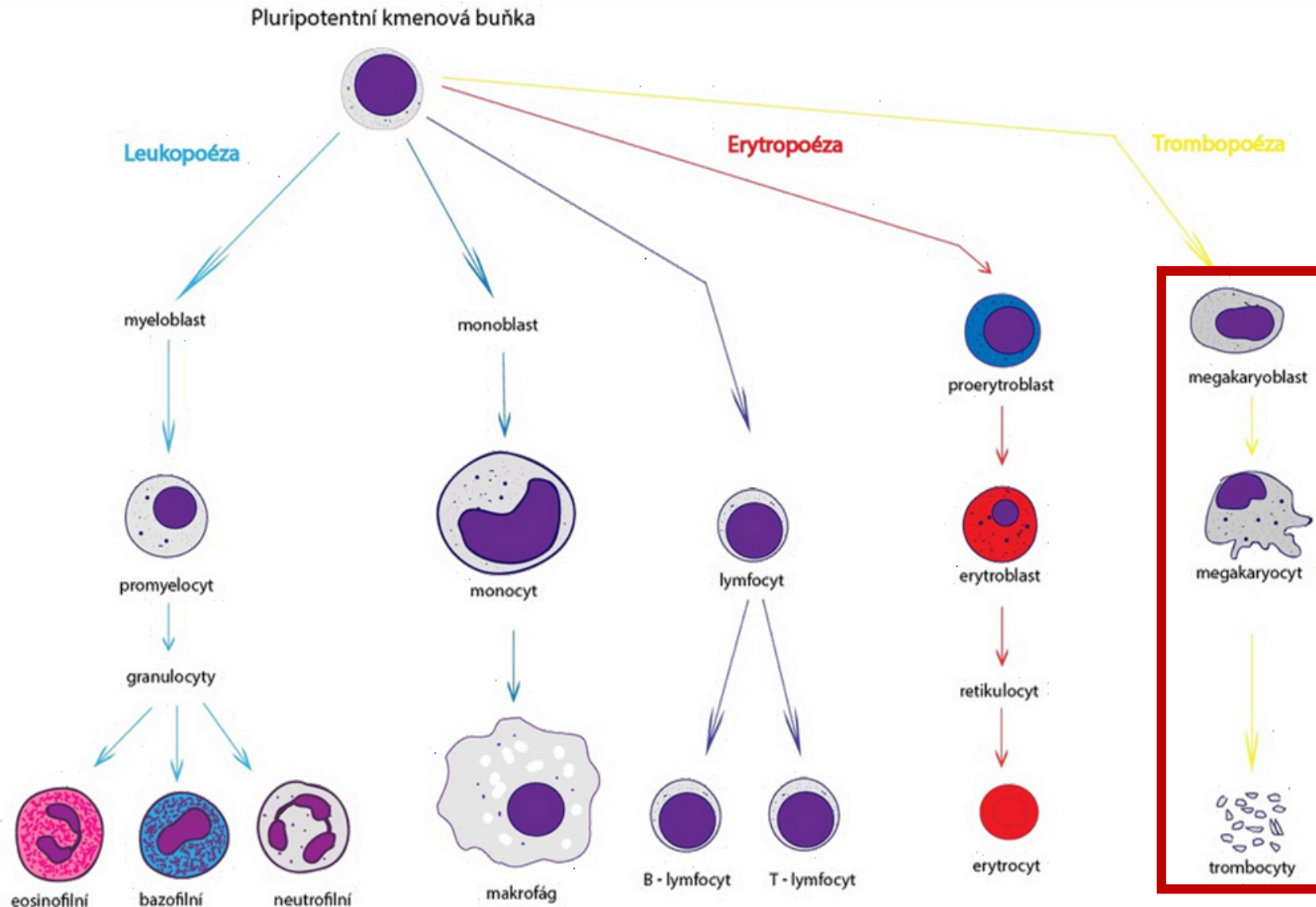
# System Rh

- Antigeny D, d (také C,c, E, e, které jsou slabší) - přítomné jen na erythrocytech → Rh<sup>+</sup> (83%)
- u Rh<sup>-</sup> krve vznikají protilátky (anti-D, IgG) až po imunizaci





# Hematopoéza



# Krevní destičky (trombocyty)

- Bezjaderné, bezbarvé, granulované, nejmenší formované elementy

krevní

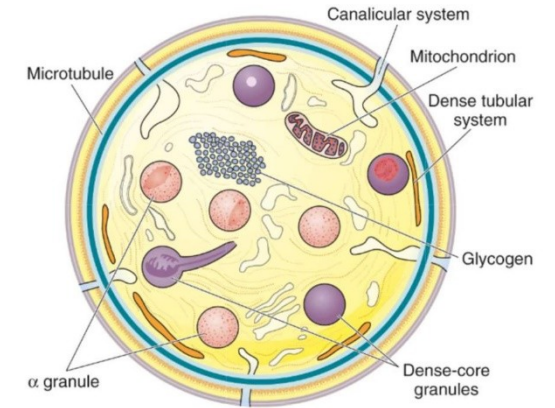
- Tvar:

- hladké, okrouhlé disky
- tvar udržován cytoskeletem
- membrána: obsahuje receptory pro přilnutí na vhodné povrchy
- cytoplasma: obsahuje aktin, myosin, glykogen, lysozomy a
- granula: *denzní granula* (neproteinové substance –serotonin, ADP, adenonukleotidy) a *αgranula* (proteinový obsah: faktory srážení, destičkový růstový faktor)

- Velikost: 2 –4 μm průměr, 0,5 –1 μm tloušťka

- Počet: 200 000 –500 000 v ml, z toho třetina ve slezině a dvě třetiny v cirkulaci

- Produkce vazokonstrikčních látek (serotonin, thromboxan A)



# Hemostáza (zástava krvácení)

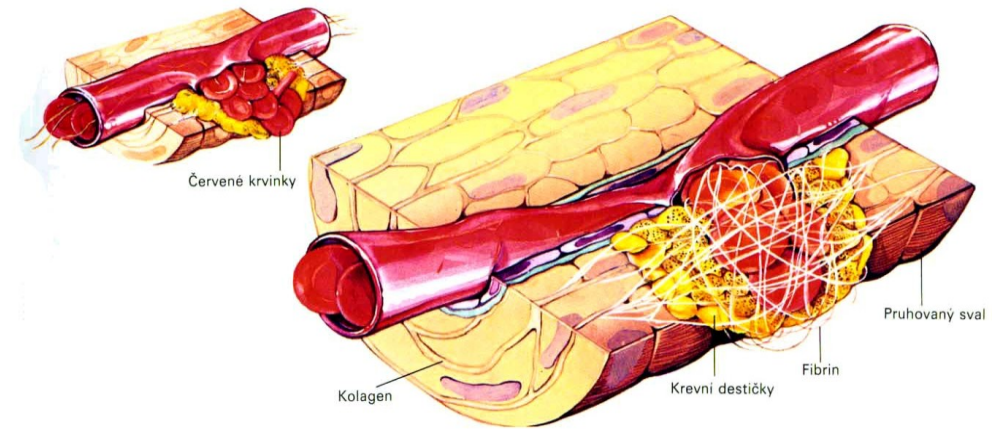
- Cévy – vazokonstrikce (zúžení) v místě poškození
- Trombocyty – dočasná zátka (bílý trombus), postupně zpevňován vlákniny fibrinu, pak se nalepují i erytrocyty
- Tvorba definitivního trombu (červený trombus)

# Srážení krve - hemokoagulace

- Složitý řetězec enzymových reakcí, na kterých se podílí látky uvolňující se z krevní plazmy, z trombocytů a cévní stěny
- Sérum - plazma bez faktorů, které se spotřebovaly při srážení krve
- Látky důležité pro koagulaci:
  - Vitamín K
  - $\text{Ca}^{2+}$
- Důležité látky bránící koagulaci:
  - Tělu vlastní – plazmin, heparin
  - Tělu cizí - látky blokující funkci vitamínu K (Warfarin)  
- látky vyvazující  $\text{Ca}^{2+}$  (pouze ve zkumavce)

# Hemokoagulace

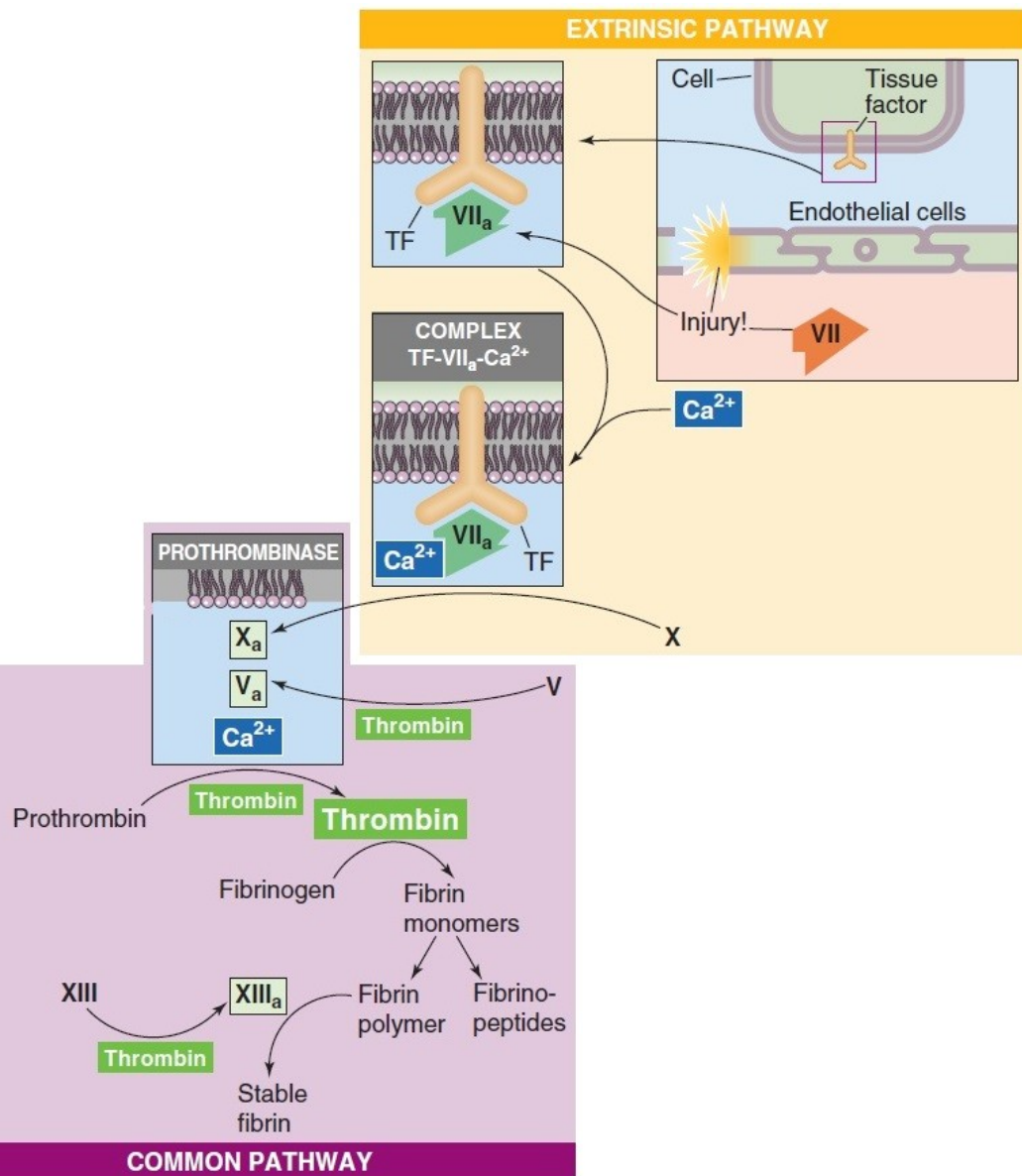
- navazuje na primární hemostázu
- účastní se jí faktory krevního srážení
- dnes dva náhledy:
  - bílkovinný model
  - buněčný model
- výsledek je vznik fibrinu a následně definitivního trombu



# Prokoagulační faktory

- **I**: fibrinogen
- **II**: protrombin
- **III**: tromboplastin, trombokináza
- **IV**: ionty vápníku
- **V**: proakcelerin
- **VII**: prokonvertin
- **VIII**: antihemofilní faktor A
- **IX**: antihemofilní faktor B
- **X**: Stuart – Prower faktor
- **XI**: antihemofilní faktor C
- **XII**: Hageman faktor
- **XIII**: faktor stabilizující fibrin
- **HMW-K**: Fitzgerald faktor
- **Pre-K**: prekallikrein
- **Ka**: kallikrein
- **PL**: destičkové fosfolipidy

# Koagulační kaskáda



## Vnější cesta

- Zahájena faktory mimo cévní systém
- Exprese tkáňového faktoru mimo cévy
- Ten je receptorem pro faktor **VII**
- Aktivace – vznik **VII<sub>a</sub>**
- Spolu s vápenatými ionty vznik trimolekulárního komplexu, který se podobá tenáze
- Proteolytická aktivace faktoru **X**

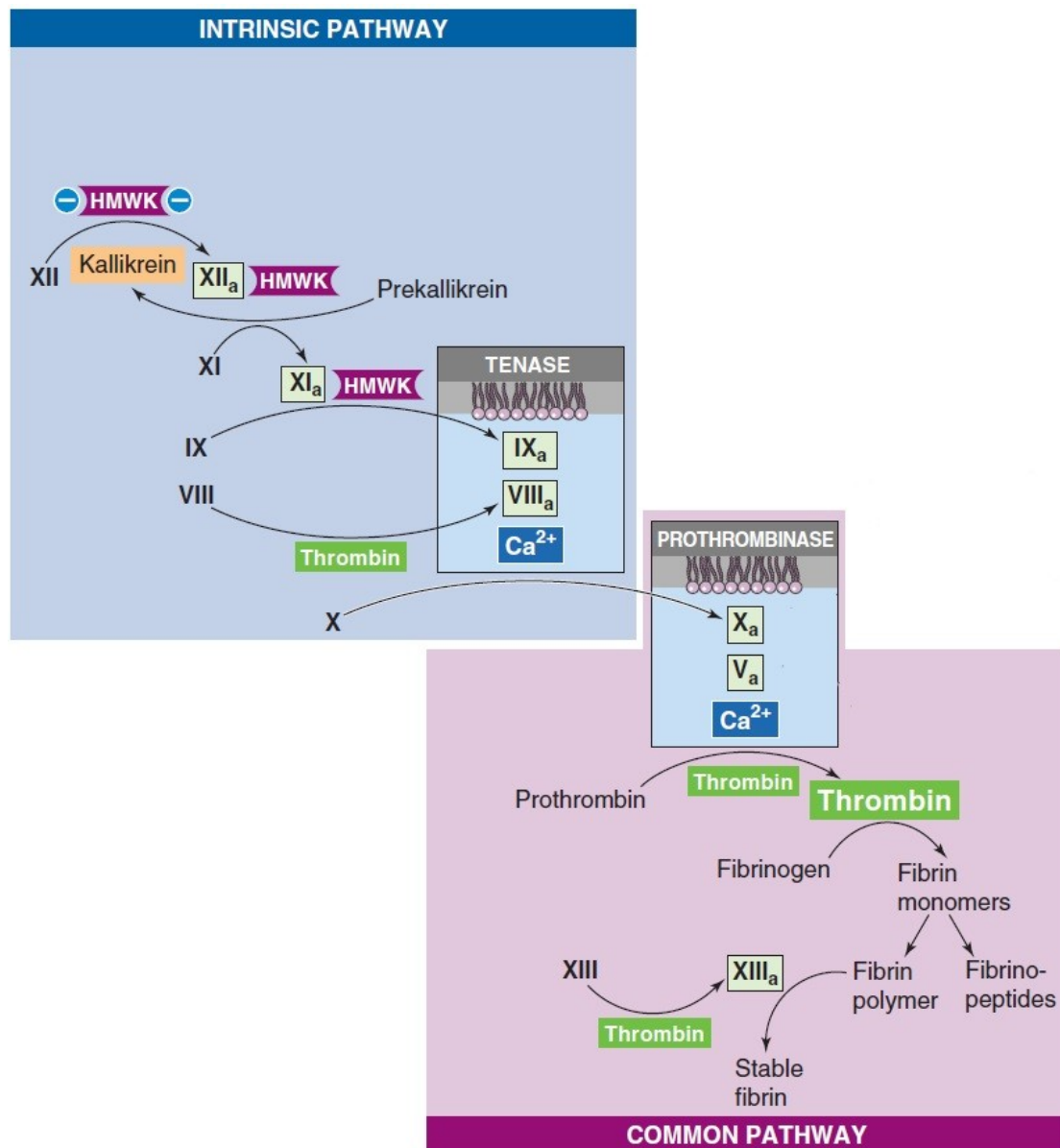


# Koagulační kaskáda

## Vnitřní cesta

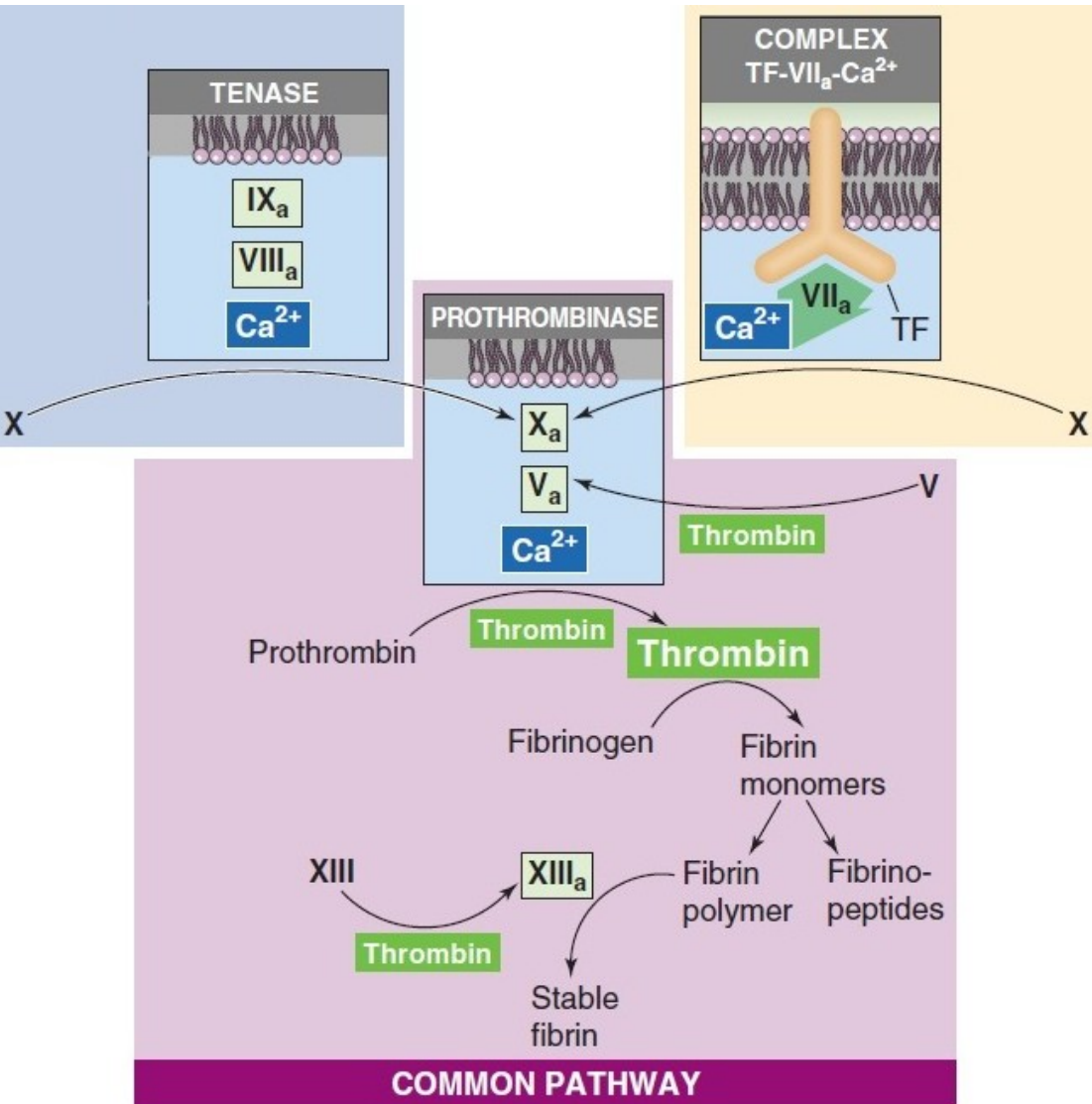
- Faktory **IXa**, **Xa** a **trombin** proteolyticky štěpí faktor **VIII** za vzniku **VIIIa**, který je kofaktorem další reakce
- **VIIIa** spolu s **IXa**, vápenatými ionty (z destiček) a negativně nabitými fosfolipidy vytváří trimolekulární komplex tenázu
- Tenáza konvertuje faktor **X** na **Xa**

*\*Faktor XIIa konvertuje prekallikrein na kallikrein, který zpětně katalyzuje a urychluje konverzi neaktivního faktoru XII na XIIa—příklad pozitivní zpětné vazby.*





# Koagulační kaskáda



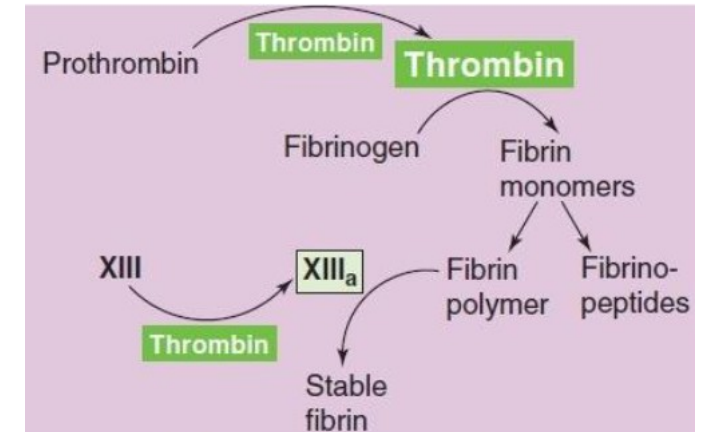
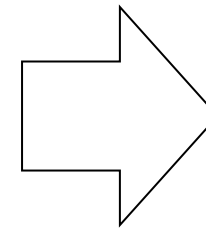
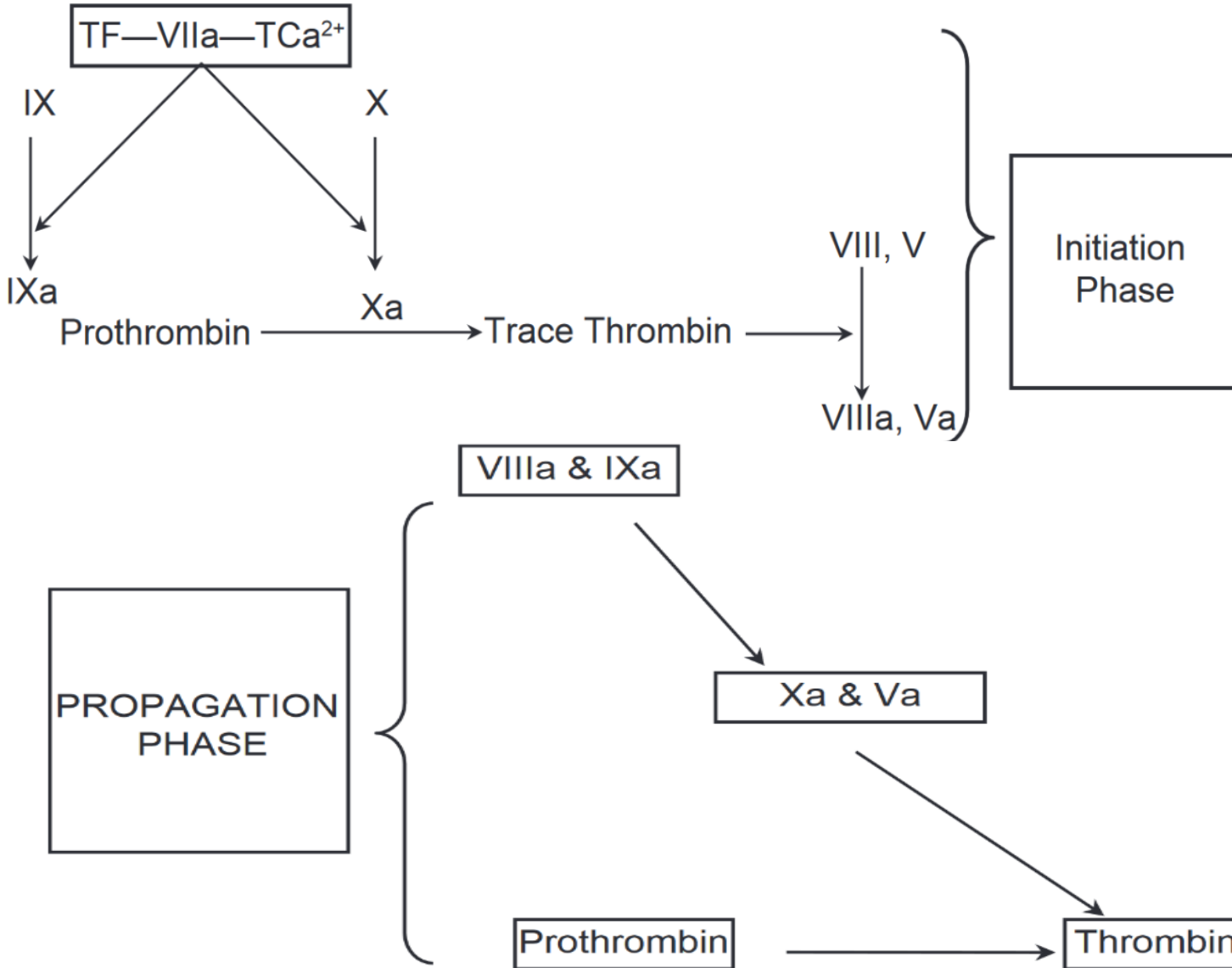
## Společná cesta

- Zahájena faktorem **Xa**
- Následná aktivace faktoru **Va**
- Tvorba trimolekulárního komplexu (**Xa**, **Va**, vápenaté ionty spolu s **PL**) = protrombináza
- Konverze **protrombinu** na **trombin**
- Konverze **fibrinogenu** na **fibrin**

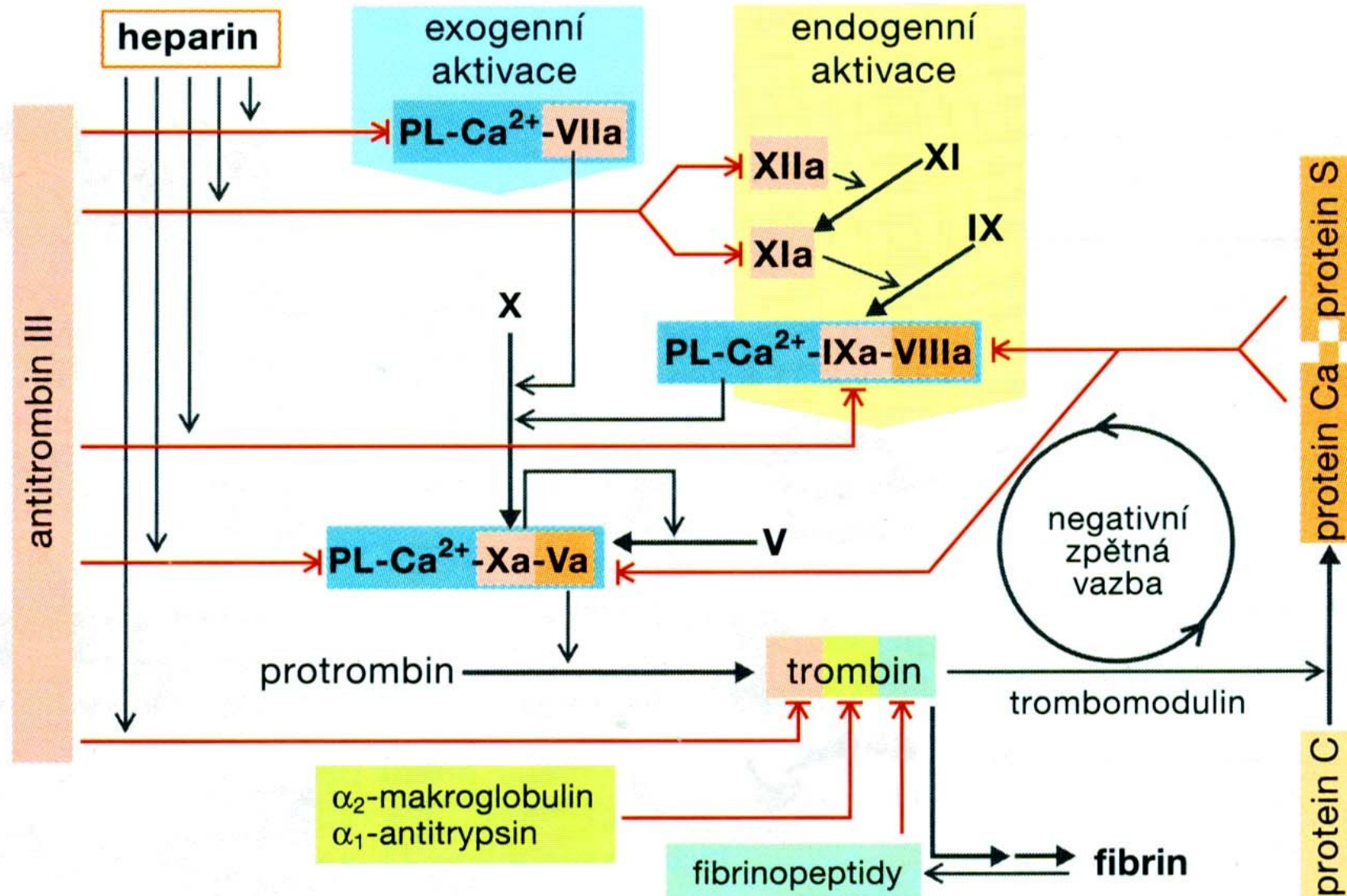
# Koagulační kaskáda. Moderní pojetí.

- Iniclace
- Amplifikace
- Propagace
- Stabilizace trombu

# Koagulační kaskáda. Moderní pojetí.



# Inhibice srážení



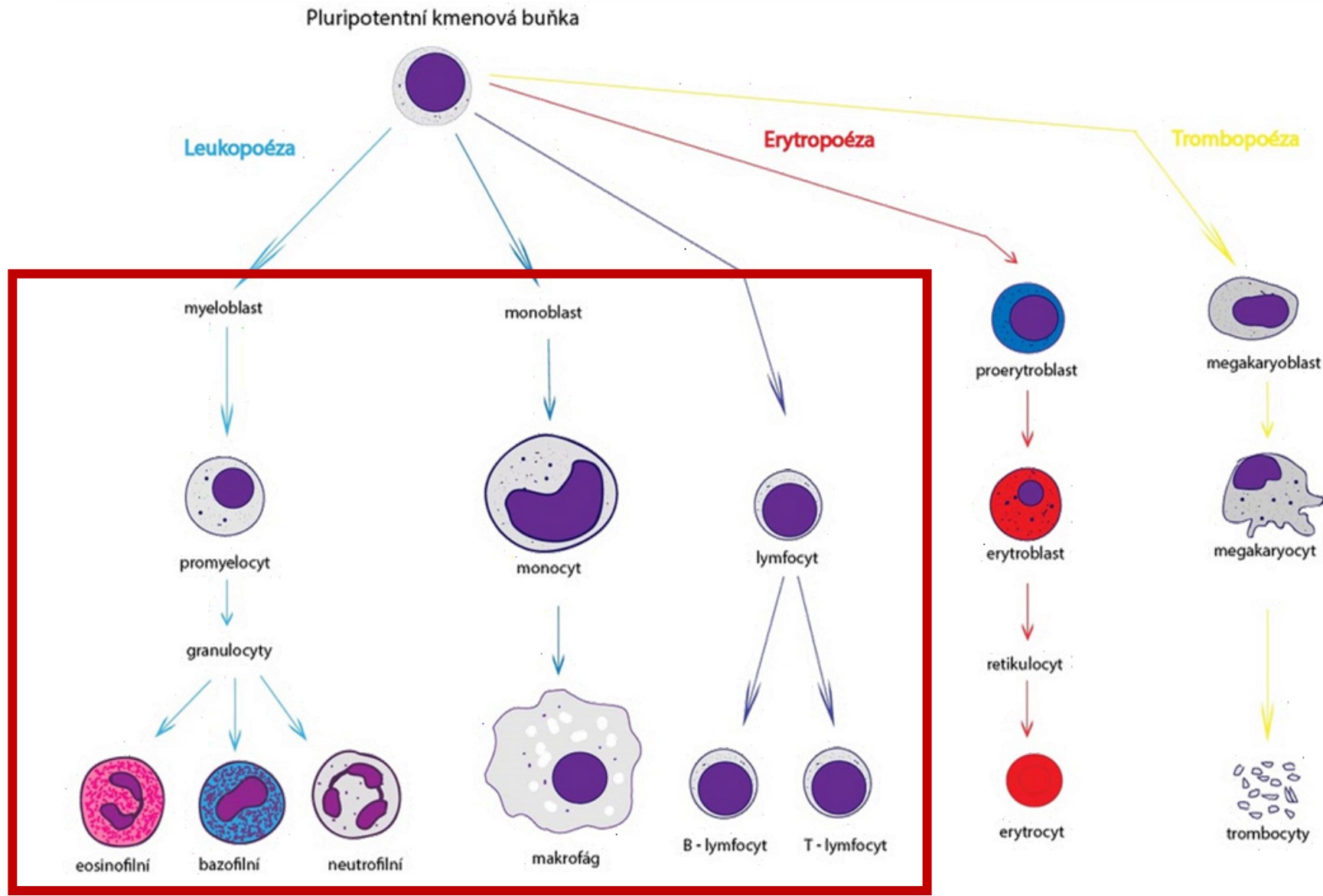
# Inhibice srážení krve

- **Antitrombin III:** IIa, IXa, Xa, XIa, XIIa
- **Trombomodulin** (na membráně nepoškozeného endotelu):
  - komplex trombomodulin-trombin působí na protein C → protein Ca
  - protein Ca+protein S → komplex „protein Ca – protein S“
  - komplex pak inhibuje faktory Va a VIIIa
  - syntéza proteinu C a S je závislá na vitamínu K
- **Inhibitor tkáňového tromboplastinu (III)**
- **Kumarinové preparáty** (antivitamin K; např. Warfarin)

# Poruchy hemostázy

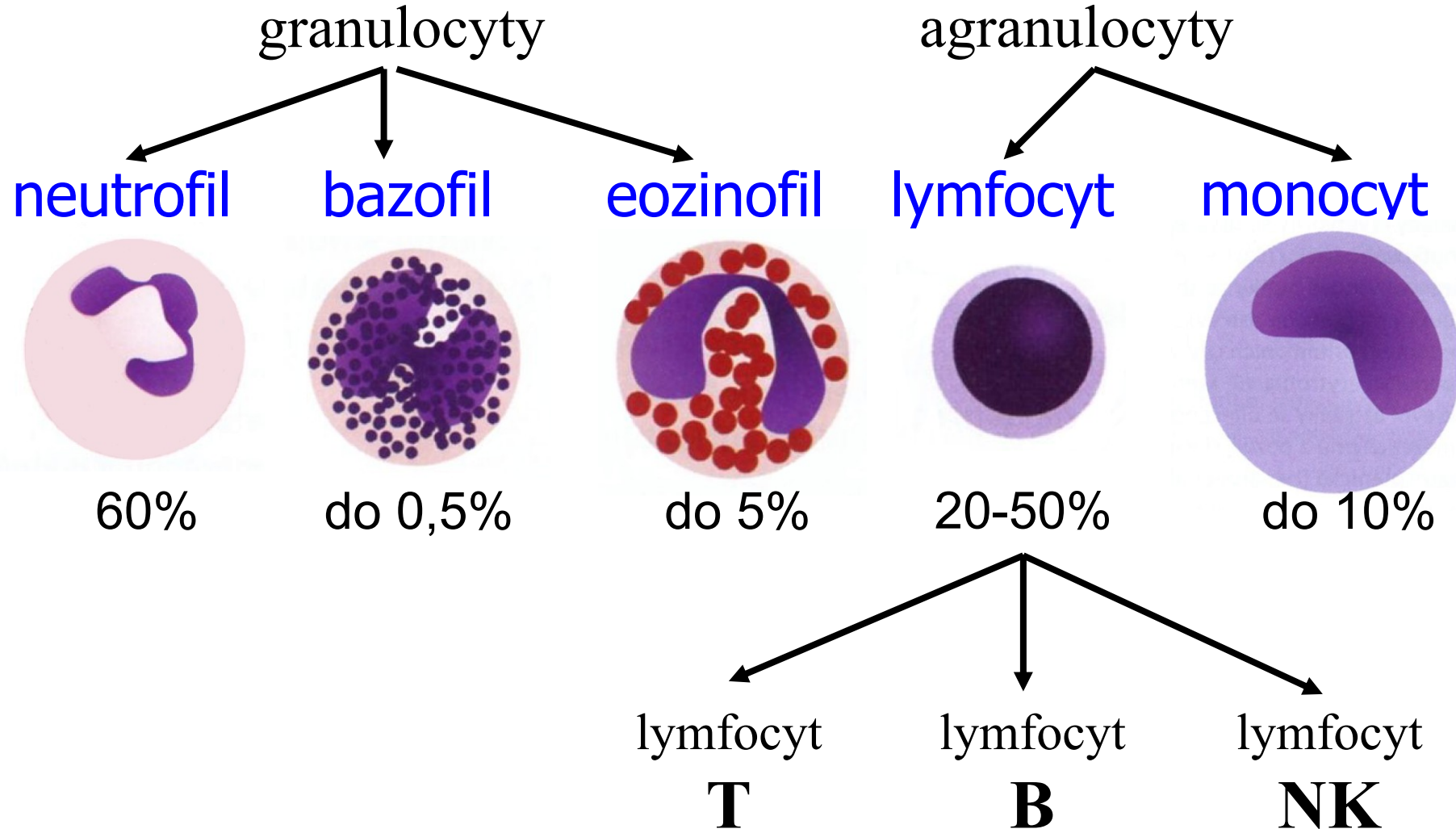
- Krvácivé stavy = chorobné stavy, u kterých vznikají krvácivé projevy buď spontánně nebo po neúměrně malém podnětu
- Vasogenní poruchy krevního srážení
- Trombocytární krvácení:
  - 1) trombocytopenie
  - 2) trombocytopatie
- Koagulopatie – chybění nebo nedostatek plazmatických koagulačních faktorů:
  - Poruchy syntézy: dědičné (hemofilie), získané (karence vitamínu K, terapie deriváty kumarinu)
  - Poruchy přeměny: konsumpční koagulopatie a hyperfibrinolýza, mnohočetné transfuze, imunokoagulopatie, terapie heparinem

# Hematopoéza





# Bílé krvinky (leukocyty)





# Granulocyty

## Neutrofilní granulocyty

- Tvoří 60–70 % leukocytů periferní krve
- Obrana proti extracelulárním bakteriím
- Hlavní funkcí neutrofilů je fagocytóza
- Odumřelé neutrofilny vytvářejí hnis

## Eozinofilní granulocyty

- Tvoří 1–5 % leukocytů periferní krve
- Hrají důležitou roli při alergických reakcích (fagocytují komplex alergen-protilátka) a při ochraně proti parazitárním onemocněním (ze svých granul vypouštějí látky, které poškozují parazity)

## Bazofilní granulocyty (bazofily)

- Tvoří 0,5 % leukocytů periferní krve
- Mají granula v cytoplazmě, která obsahují heparin a histamin
- Uplatňují se při vzniku alergické reakce a dále se podílejí na likvidaci parazitárních onemocnění

# Agranulocyty

## □ Lymfocyt:

- Tvoří 20–50 % z celkového počtu všech bílých krvinek

- **B-lymfocyty:**

  - Základní buňky protilátkové imunity

  - Vznikají v kostní dřeni, kde i dozrávají

  - Konečným diferenciačním stadiem jsou plazmatické buňky produkující protilátky proti bílkovinným a glykoproteinovým antigenům a toxinům

- **T-lymfocyt:**

  - Jsou podstatou specifické (získané) buněčné imunity

  - Vznikají v kostní dřeni a migrují do brzlíku, ve kterém dozrávají

  - Vylučují do krve cytokiny

  - Nesou CD3, CD8 nebo CD4 znaky

- **Natural killers, NK:**

  - Hlavní část cytotoxické buněčné imunity.

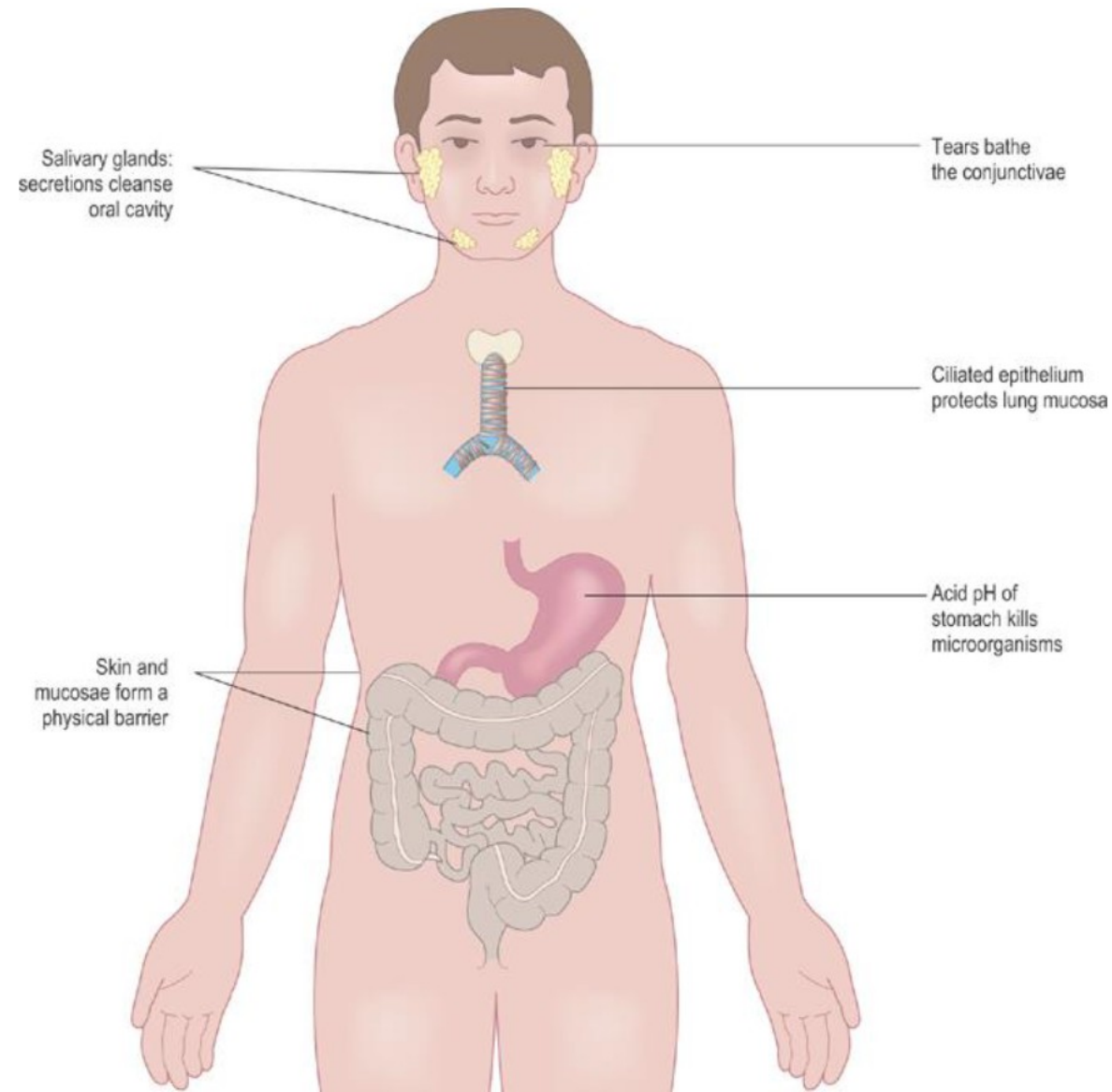
  - Jsou schopni ničit i bez předchozího setkání s antigenem (to se uplatňuje u novorozenců)

  - Nenesou CD-3 znak

# Imunita

- **OBRANYSCHOPNOST** - ochrana před vnějšími škodlivinami, patogenními mikroorganismy a jejich produkty
- **AUTOTOLERANCE** – rozpoznává co je tělu vlastní
- **IMUNITNÍ DOHLED** – odstranění vnitřních škodlivin, starých, poškozených a zmutovaných buněk

# Nespecifické ochranné bariéry lidského těla



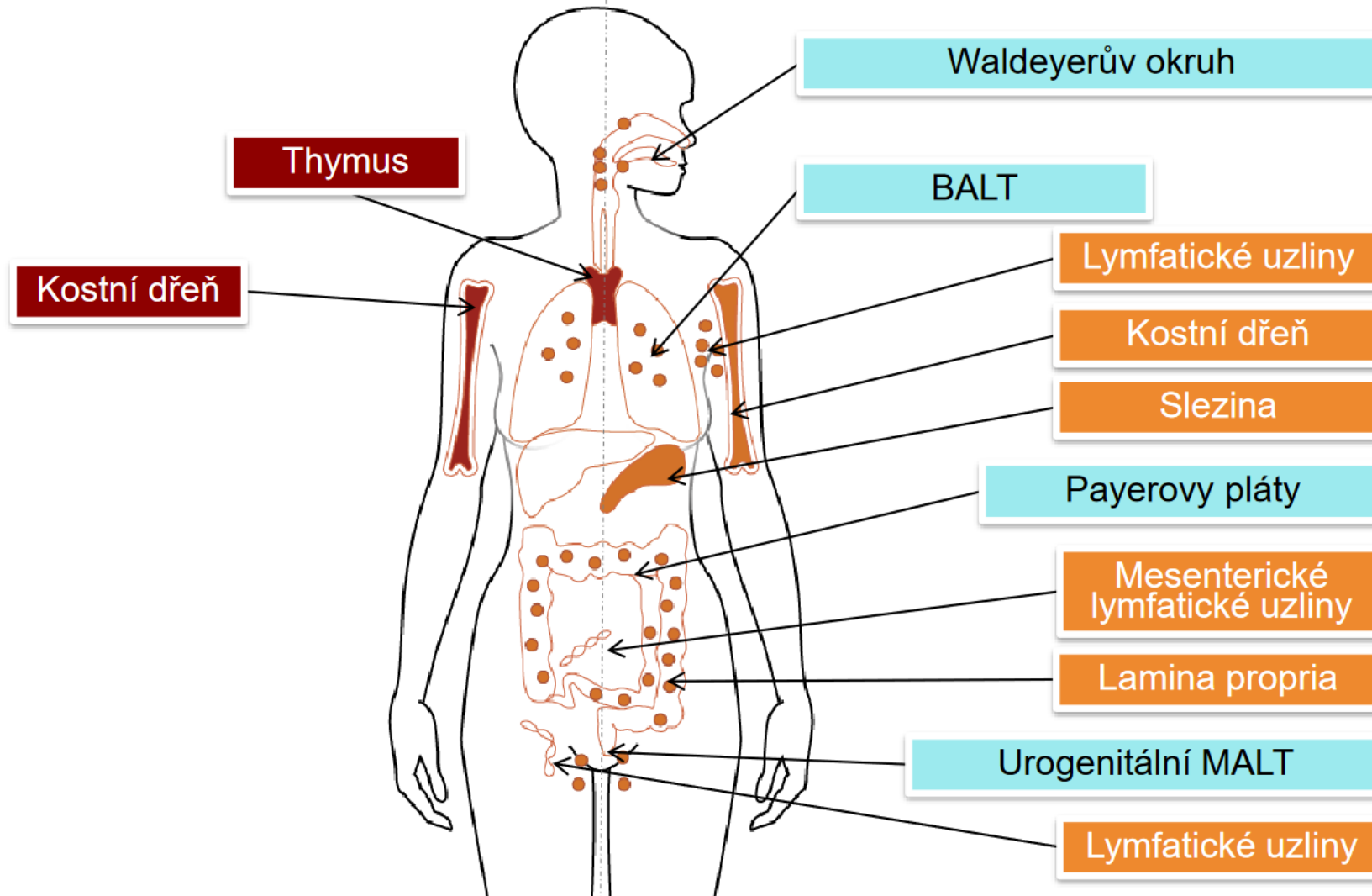
## Epitelové buňky – první linie imunity

- Mechanická a chemická bariéra
- Pohyb řasinek
- Hlen – muciny
- Lysozym, fosfolipáza A,
- Defensiny (a,b)
- Surfaktantové proteiny (A,D)

# Orgány imunitního systému

Primární lymfatické orgány

Sekundární lymfatické orgány



# Pojmy

□ **IMUNOGEN** - molekulární nebo nadmolekulární struktura, která může u příjemce vyvolat imunitní odpověď

□ **ANTIGEN** - schopnost molekuly reagovat s produkty získané imunity - s protilátkami,

*sloučeniny mohou reagovat s protilátkami, ale nemusí vyvolat imunitní odpověď*

*všechny imunogeny jsou antigeny, ale ne všechny antigeny jsou imunogeny*

# Imunita

## VROZENÁ (nespecifická)

Už se s ní rodíme – obranné reakce jsou stále stejné, zasahují stejnou rychlostí, stejným způsobem

## BUNĚČNÁ HUMORÁLNÍ

VS.

## ZÍSKANÁ (specifická)

Vybudováváme si ji při setkávání se s různými antigeny; poprvé reaguje systém pomalu, ale při dalším setkání již rychleji a efektivněji

## BUNĚČNÁ HUMORÁLNÍ

# Vrozená (přirozená, nespecifická) imunita

- Přetrvává ve fylogeneze
- Dokonale odlišuje vlastní od cizího
- Reakce na cizorodý materiál je bezprostřední
- Nevzniká (klasická) imunitní paměť
- Propojení s adaptivní imunitou
- První linie obrany proti patogenům
- Účast v normálních fyziologických procesech

## „Trained immunity“

některé mechanismy nespecifické imunity mají schopnost po opakované stimulaci nespecifickými podněty reagovat intenzivněji, efektivněji





# Signály nebezpečí

- **Exogenní** (PAMPs - Pathogen-associated molecular patterns):  
molekulární motivy (vzory) asociované s patogenitou
- **Endogenní** (DAMPs - Damage (Danger) associated molecular patterns):  
molekulární vzory asociované s postižením buněk těla
- PRRs (Pattern recognition receptors):  
receptory na buňkách hostitele, rozeznávající PAMPs, DAMPs

# Buněčná nespecifická imunita

- Fagocyty – neutrofilý, monocytý, makrofágy, eozinofily
- Fagocytóza – pohlcení antigenu buňkou
  - Migrace - fagocyty cestují směrem k částicím, které mají být pohlceny. Při cestě z cév přilnou k endotelu (**adherují**) a protáhnou se mezi jednotlivými endotelovými buňkami (**diapedéza**).
  - Fagocytóza - fágy sérií postupných kroků rozpoznají cizorodou částici, přilnou (**adherují**) a pohltní ji (**ingesce**). Následně uvolní obsah granul do fagocytárních vakuol (**degranulace**) a zintenzivní svůj oxidativní metabolismus (respirační vzplanutí).
  - Fagocytóza může být usnadněna navázáním „ochucovadel“ - **OPSONINŮ** (protilátky nebo komplement)

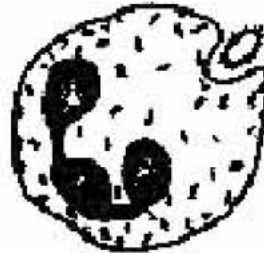
*migrace*



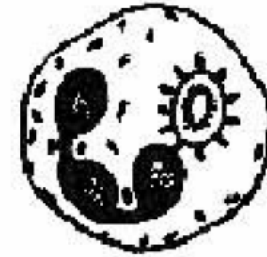
*adheze*



*ingesce*



*degradace*



# Funkce fagocytů

- Eliminace mikroorganismů (antigenů)
  - enzymy
  - reaktivní radikály
- Sekrece cytokinů – aktivace buněk, rozvoj imunitní odpovědi
- Prezentace antigenů – (MHC II. třídy) stimulace specifické imunity

# NK buňky

- „Přirození zabíječi“ – cytotoxické
- Morfologicky se jedná o velké granulované lymfocyty
- Zabíjí pozmeněné buňky (napadené viry, rakovinné buňky)
- Nemají antigenní specifitu, nemají imunologickou paměť
- Snadno zabíjí buňky „ochuceny“ protilátkou

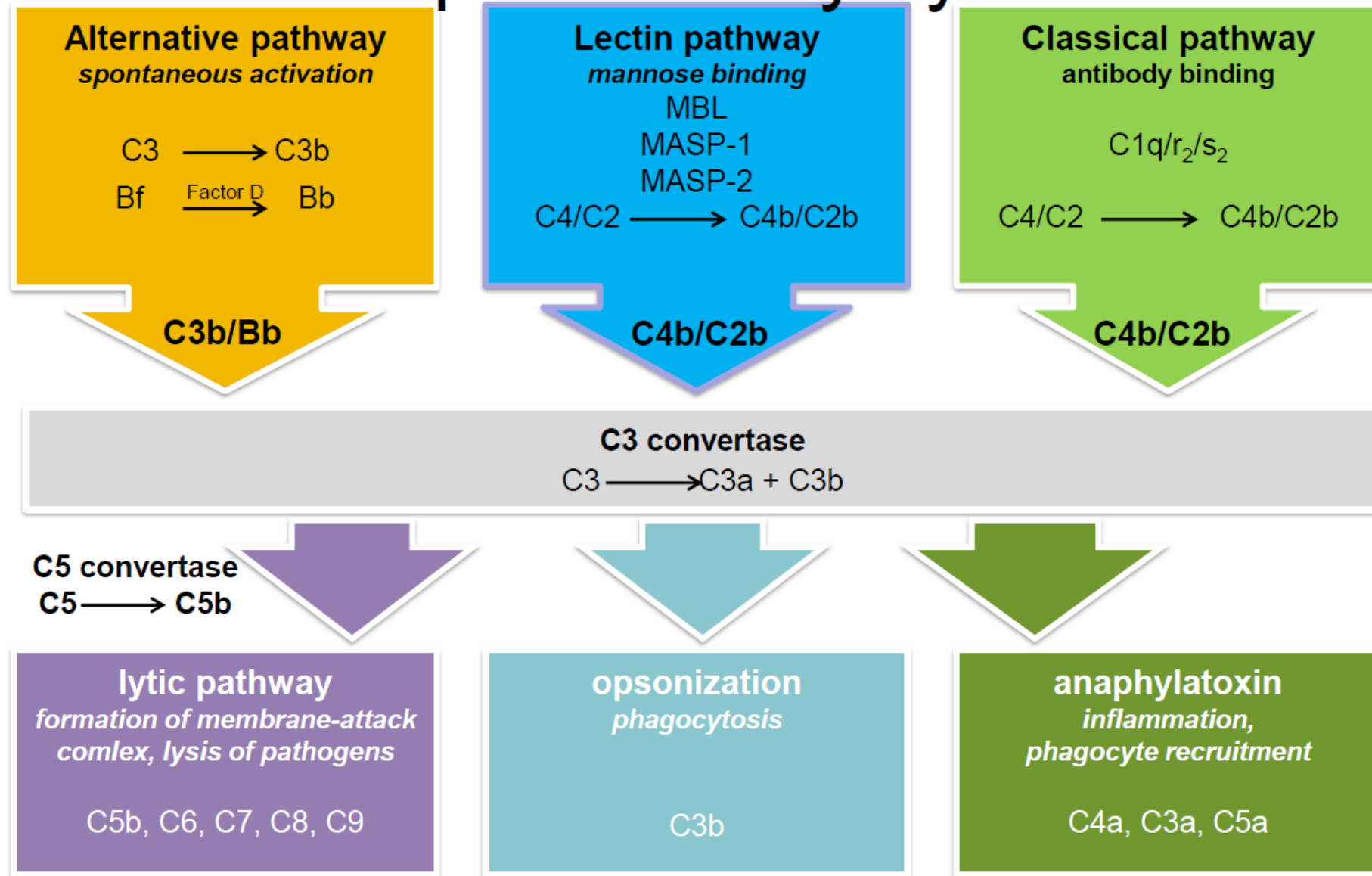
# Nespecifická humorální imunita

- Bazické polypeptidy – spermin, defenziny – které se vážou na mukopolysacharidy ve stěně bakterií – narušují jejich strukturu, tím nespecificky zabíjejí mikroba
- Kyselá látky – laktát, HCl v žaludku apod. – mohou navodit takové prostředí v našem organismu pro patogenní bakterie, které způsobí zpomalení jejich růstu až zánik
- Lysozym – enzym ve slinách, na sliznicích, v slzách – nám neublíží – štěpí peptidoglykan, který najdeme ve stěně bakterií
- Cytokiny – látky zajišťující komunikaci mezi buňkami

# Komplementový systém

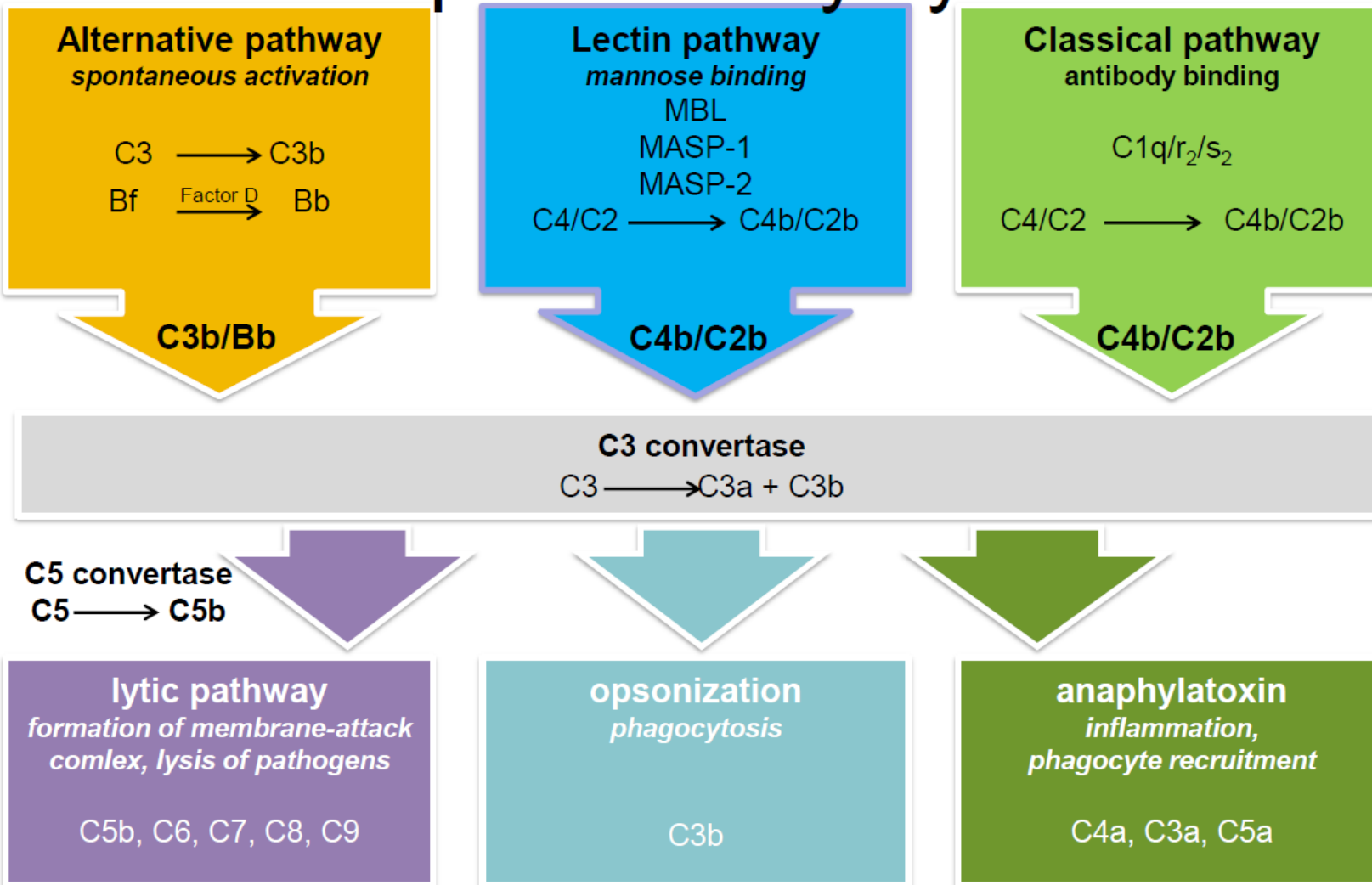
- Skupina bílkovin v krevním séru (C1-C9) aktivovaných na určitý podnět kaskádovitým způsobem, za normálních okolností neaktivní
- Komplement po vazbě na antigen v povrchu buněk vede k nezvratnému poškození buňky - cytolýze

# Komplementový systém





# Komplementový systém



## □ Klasická cesta :

- Komplexy IgG antigen, IgM antigen,
- C - reaktivní protein

## □ Alternativní cesta

- Lipopolysacharid bakterií
- Buněčná stěna některých bakterií
- Buněčná stěna kvasinek







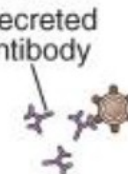
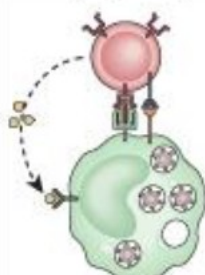

## □ Lektinová cesta

- Manóza a další sacharidy

## □ Základní 3 funkce komplementu:

- Oponizace (označení „toto je cizí“ + zchutnění)
- Chemotaxe (nalákání ostatních buněk)
- Osmotická lýza mikroba

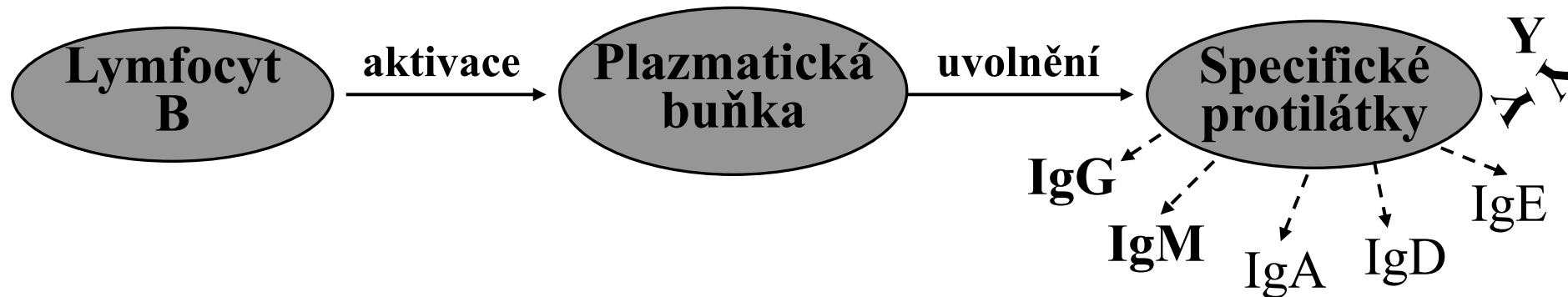
# Získaná (specifická) imunita

	Humoral immunity	Cell-mediated immunity	
Microbe	 <p>Extracellular microbes</p>	 <p>Phagocytosed microbes in macrophage</p>	 <p>Intracellular microbes (e.g., viruses) replicating within infected cell</p>
Responding lymphocytes	 <p>B lymphocyte</p>	 <p>Helper T lymphocyte</p>	 <p>Cytolytic T lymphocyte</p>
Effector mechanism	 <p>Secreted antibody</p>		
Functions	<p><b>Block infections and eliminate extracellular microbes</b></p>	<p><b>Activate macrophages to kill phagocytosed microbes</b></p>	<p><b>Kill infected cells and eliminate reservoirs of infection</b></p>

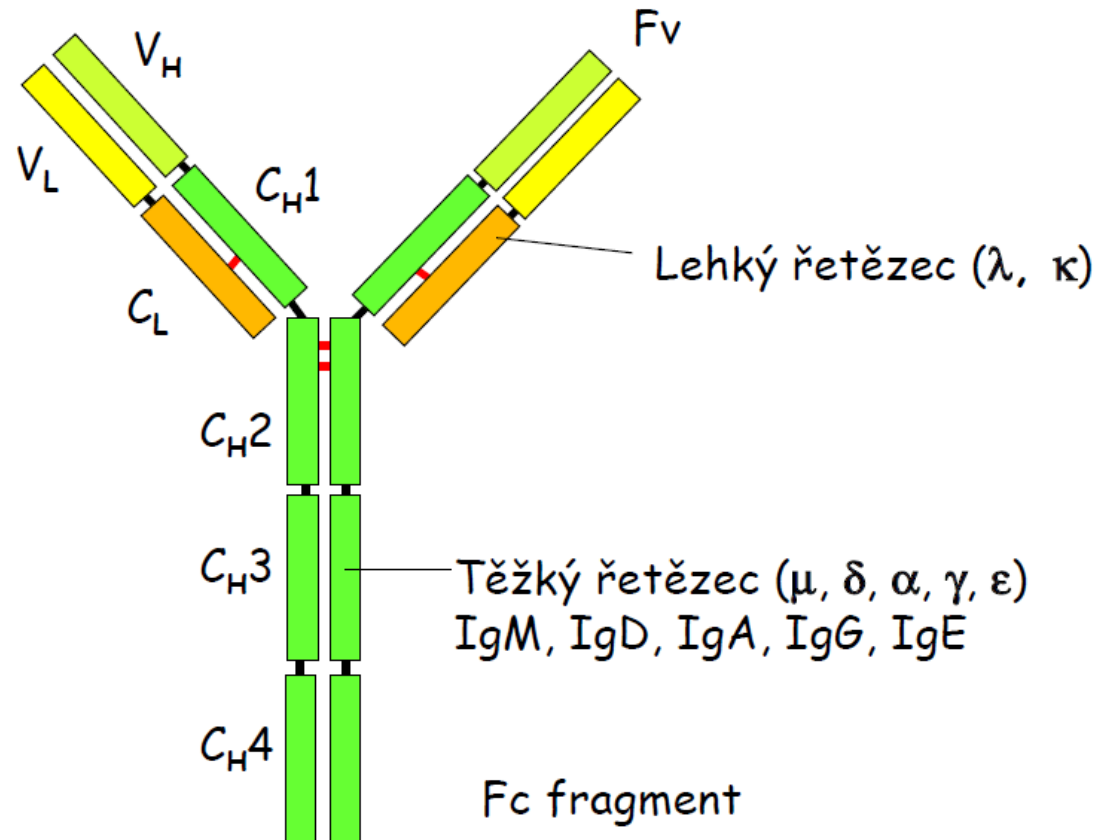
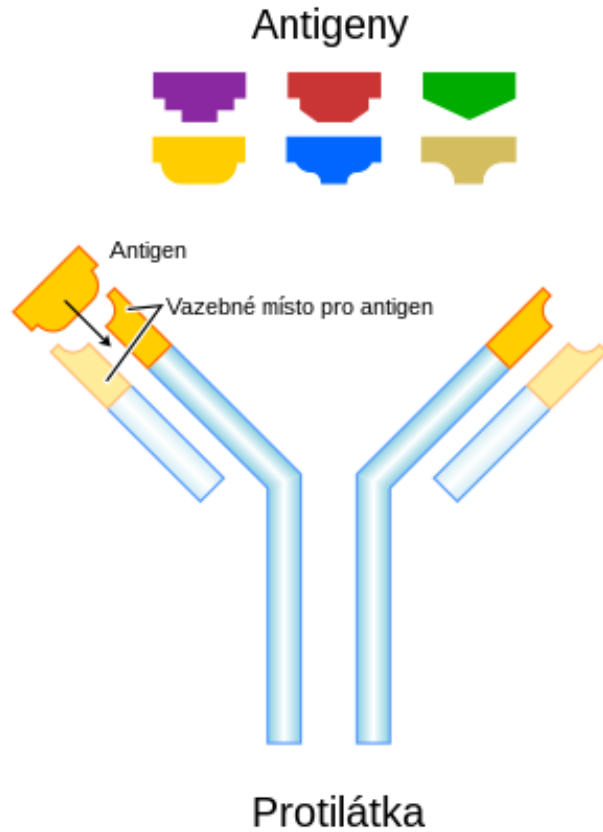
- Charakteristika lymfocytů pomocí povrchových antigenů
- CD antigeny – jedná se o antigeny exprimované na povrchu leukocytů
  - CD3+ – všechny T-lymfocyty
  - CD3+ CD4+ – pomocné a většina regulačních T-lymfocytů
  - CD3+ CD8+ – především cytotoxické T-lymfocyty
  - CD19+ – B-lymfocyty
  - CD16+/CD56+ – NK buňky

# Získaná (specifická) imunita

- HUMORÁLNÍ – zprostředkována B lymfocyty



# Imunoglobuliny



# Imunoglobuliny

- IgG (75% z celkového množství) - prochází placentou a zajišťuje obranu novorozence v prvních měsících života
  - fixují komplement (aktivace klasické cesty)
  - OPSONIN - usnadňují pohlcení bakterie fágem
- IgA (15%) - dominantní třída slizničního imunitního systému
- IgM (10%) - prvá protilátka časné imunitní odpovědi
- IgD (0,2%) - nejasný význam
- IgE (0,004%) - obrana proti parazitárním baktériím
  - vazba na žírné buňky způsobuje uvolnění histaminu (alergie)

# Imunizace

## Pasivní imunizace

- podání specifických protilátek (IgG)
- okamžitá reakce s antigenem, omezená délka ochrany
- neaktivuje se vlastní imunitní systém
- nevznikají paměťové buňky

## Aktivní imunizace

- podání antigenního materiálu (mrtvé/oslabené viry, bakterie, toxiny)
- nutnost podání dlouho před stykem s antigenem
- aktivace vlastního imunitního systému
- vznikají paměťové buňky – dlouhodobá imunita

# Hlavní histokompatibilní komplex (MHC)

## I. třída

- přítomný na všech jaderných buňkách
- předkládá „cizí“ molekulu (virovou, nádorovou) cytotoxickým T lymfocytům
- buňky specifické imunity se na HLA I. tř napojí a zkontrolují, zda protein(antigen) vystavený patří našemu organismu

## II. Třída

- na povrchu antigen prezentujících buněk
- lymfocyty B, makrofágy; po aktivaci buňky T, buňky štítné žlázy, endotelové buňky
- předkládá cizí molekuly pomocným buňkám T



<https://www.youtube.com/watch?v=k9QAYp3bYmc>

<https://www.youtube.com/watch?v=d6qFPegEYV0>

NinjaNerd