

# VÝVOJ KRVETVORBY

Dr. Kissová Jarmila  
Oddělení klinické hematologie  
FN Brno

Krvetvorba představuje proces tvorby  
krvinek v krvetvorných orgánech

*Krvetvorba je nesmírně komplikovaný,  
komplexně řízený a dodnes ne zcela  
dobře prozkoumaný proces (Ketley a  
Newland, 1997)*

# KRVETVORBA ČLOVĚKA

## ◉ Prenatální (předporodní)

- *zárodečná* - embryonální (jsou položeny základy tkání a orgánů)
- *fetální*- plodová (pokračuje vývoj orgánů až do porodu)

## ◉ Postnatální (poporodní)

(liší se odlišnou krvetvorbou a místy tvorby krvinek)

# PRENATÁLNÍ KRVETVORBA

Krvetvorba začíná již v raném období těhotenství - kolem 16. dne gestace v žloutkovém vaku

Dělí se na 3 období:

- **mezoblastové**- tvorba krevních elementů ve žloutkovém vaku
- **hepatolienální**
- **medulární (dřeňové)**

# MEZOBLASTOVÉ OBDOBÍ KRVETVORBY

- ⊙ začátek mezi 14.-19. dnem nitroděložního života
- ⊙ v krevních ostrůvcích žloutkového vaku
- ⊙ síť primitivních buněk lemovaných endoteliálními buňkami (area vasculosa)
- ⊙ první krevní buňky
- ⊙ cévní systém i v embryu
- ⊙ ve 4. týdnu se oba cévní systémy propojují

# HEMOPOEZA VE ŽLOUTKOVÉM VAKU

- ◉ je prakticky jen *erytroidní povahy*
- ◉ pluripotentní kmenové buňky
- ◉ první - mateřské buňky červených krvinek (primitivní velké erytroblasty)
  - po vytvoření primitivního cévního systému v embryu přestupují do krevního oběhu
  - buněčné jádro zůstává v těchto buňkách až do jejich zániku
- ◉ primitivní normoblasty - větší, podobné megaloblastům, obs. Hb Gower I, Gower II a Portland I vedle HbF a HbA

# MEZOBLASTOVÉ OBDOBÍ KRVETVORBY

- ⦿ trvá od 3. do 10. týdne nitroděložního života
- ⦿ v 6. týdnu se tvoří základ brzlíku (thymu), který se rovněž osidluje kmenovými buňkami krvetvorby ...mateřské buňky lymfocytů

# HEPATOLIENÁLNÍ (JATERNÍ) OBDOBÍ

- po 6. týdnu se začínají tvořit křivetvorné buňky v mezenchymu mezi jaterními buňkami (mezenchym= pojivová tkáň)
- kromě *normoblastů* , které již vyzrávají v erytrocyty, se tvoří i mateřské buňky *bílých krvinek* a *krevních destiček*
- od 12. týdne- základy sleziny
- křivetvorná tkáň může představovat až 50% jaterního či slezinného parenchymu



# HEPATOLIENÁLNÍ OBDOBÍ KRVETVORBY

- ⊙ játra jsou hlavním místem krvetvorby až do poloviny zárodečného života
- ⊙ trvá až do porodu

# MEDULÁRNÍ (DŘEŇOVÉ) OBDOBÍ KRVETVORBY

- od 20. týdne nitroděložního období
- *všechny druhy krvinek včetně granulocytů*
- *erythropoéza*-charakter normoblastů, erytrocyty- až 90% HbF
- *lymfocyty*- již v 11. týdnu v kostní dřeni- odtud mateřské buňky lymfocytů do lymfatických uzlin, jater, sleziny, lymfatických tkání trávicího ústrojí, mandlí aj.
- *megakaryocyty* jsou přítomny všude tam, kde se nachází krvetvorná tkáň

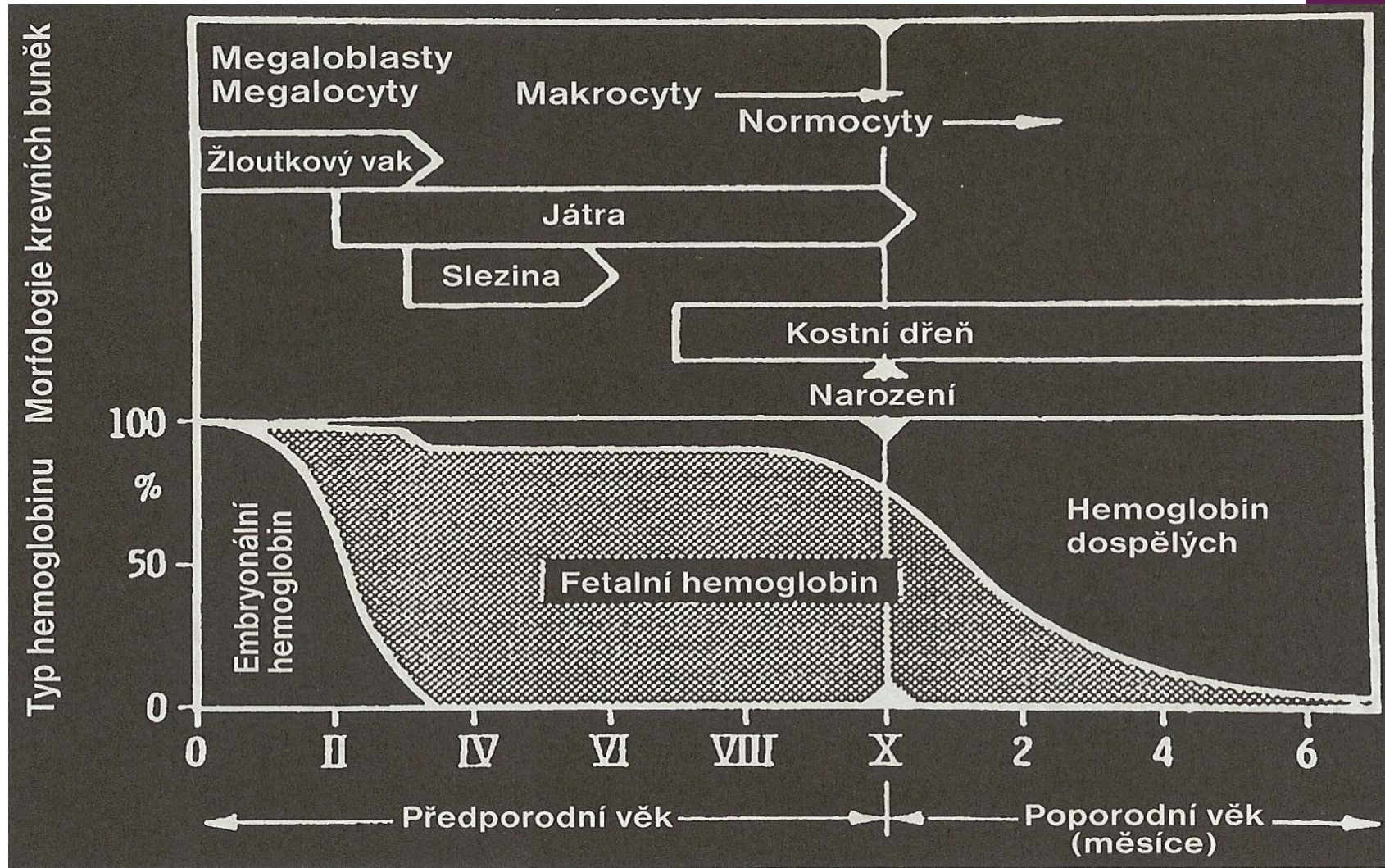
# MEDULÁRNÍ OBDOBÍ KRVETVORBY

- ⦿ se vzestupem dřeňové krvetvorby postupně zaniká mimodřeňová (extramedulární ) krvetvorba
- ⦿ extramedulární krvetvorba se přestane projevovat ve 2.-3. týdnu po narození

# POSTNATÁLNÍ KRVETVORBA

- za norm. okolností probíhá jen v kostní dřeni
- kostní dřeň je zdrojem všech druhů krvinek v cirkulující krvi (normálně produkuje přibližně 200 bilionů ery, 100 bilionů trombocytů a 60 bilionů neutrofilů každý den)
- část lymfocytů se tvoří i po narození nadále v lymfatické tkáni, monocyty a makrofágy i v jiných tkáních organismu

# TVORBA BUNĚK A HEMOGLOBINU V RŮZNÝCH OBDOBÍCH VÝVOJE KRVETVORBY



# MÍSTA KRVETVORBY- SOUHRN

- ◉ **Fetus**- 0 - 2. měsíc- žloutkový vak  
2.- 7. měsíc - játra, slezina  
5.- 9. měsíc - kostní dřeň
- ◉ **Dítě** - kostní dřeň (prakticky všechny kosti)
- ◉ **Dospělý** - obratle, žebra, hrudní kost, kost křížová, pánev, konce kosti stehenní

# MÍSTA TVORBY KREVNÍCH BUNĚK V DOSPĚLOSTI

- ◉ **Lymfocyty** - lymfatické uzliny
  - jiné orgány s lymfatickou tkání (slezina, brzlík)
  - kostní dřeň
- ◉ **Monocyty** - kostní dřeň
  - lymfoidní tkáň
- ◉ **Trombocyty** - kostní dřeň
  - plíce (malá část)
- ◉ **Granulocyty** - kostní dřeň

# EXTRAMEDULÁRNÍ KRVETVORBA

- ◉ krvetvorba v jiných orgánech než v kostní dřeni (slezina, játra)
- ◉ při zvýšených nárocích na kostní dřeň (krváčení, nadměrný rozpad krvinek a nemoci krvetvorby)



# KOSTNÍ DŘEŇ

- ◉ jeden z největších orgánů v lidském těle
- ◉ tvoří 3,4-5,6% tělesné hmotnosti člověka (u dospělého jedince se jedná o 1600 -3700 g)
- ◉ po narození- *aktivní červená kostní dřeň* ve všech kostech
- ◉ po 4. roce se část krvetvorné tkáně nahrazuje tukovou tkání- *inaktivní tuková kostní dřeň*

# KOSTNÍ DŘEŇ

- ⊙ u dospělého zdravého člověka je **krvetvorná tkáň rozložena v kostech osového skeletu**: v tělech obratlů, pánvi, lebce, žebrech, sternu, klíčcích, lopatkách, proximální 1/4-1/3 humerů a femurů
- ⊙ množství aktivní (červené) KD v dlouhých kostech ubývá s pokračujícím věkem a je nahrazeno tkání tukovou
- ⊙ inaktivní (tuková dřeň) při zvýšených nárocích se může částečně aktivovat

# METODY POUŽÍVANÉ K VYŠETŘENÍ FUNKČNOSTI A STAVU KOSTNÍ DŘENĚ

- Vyšetření periferního krevního obrazu
- Cytologické vyšetření punktátu KD
- Histologické vyšetření KD získané trepanobiopsií

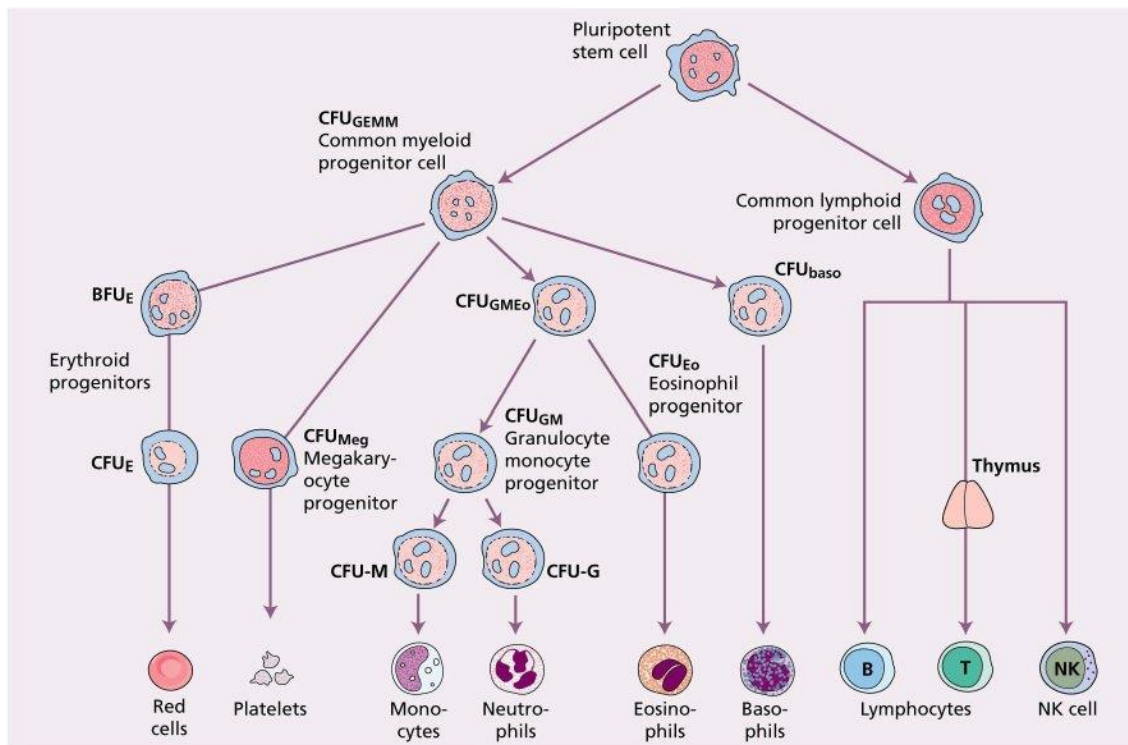
# KOSTNÍ DŘEŇ

- ◉ Krvetvorná tkáň
- ◉ Podpůrná tkáň: vazivové buňky (fibroblasty) a vlákna tvořená fibroblasty
- ◉ Cévy
- ◉ Nervová vlákna
- ◉ Lymfatická a tuková tkáň

# KRVETVORNÁ TKÁŇ

- ◉ *kmenové buňky* - schopnost sebeobnovy  
- schopnost diferencovat  
(multipotentní = totipotentní kmenová buňka, společná kmenová buňka= pluripotentní kmenová buňka)  
*lat. plus-více, potens- schopný*
- ◉ *mateřské (progenitorové) buňky* jednotlivých řad (myeloidní a lymfoidní)
  - nemá schopnost sebeobnovy
  - citlivá na růstové faktory
- ◉ *prekurzory jednotlivých řad* (červené, bílé, destičkové řady)
- ◉ *zralé krvinky* (plynule přechází do obvodové krve)

# Diferenciace krevních buněk pod vlivem růstových faktorů



From: *Essential Haematology*, 6th Edn. © A. V. Hoffbrand & P. A. H. Moss.  
Published 2011 by Blackwell Publishing Ltd.

**Figure 1.2** Diagrammatic representation of the bone marrow pluripotent stem cell and the cell lines that arise from it. Various progenitor cells can be identified by culture in semi-solid medium by the type of colony they form. It is possible that an erythroid/megakaryocytic progenitor may be formed before the common lymphoid progenitor diverges from the mixed granulocytic/monocyte/eosinophil myeloid progenitor. Baso, basophil; BFU, burst-forming unit; CFU, colony-forming unit; E, erythroid; Eo, eosinophil; GEMM, granulocyte, erythroid, monocyte and megakaryocyte; GM, granulocyte, monocyte; Meg, megakaryocyte; NK, natural killer.

# VÝVOJ KREVNÍCH BUNĚK

- probíhá v kostní dřeni od kmenových buněk přes buňky progenitorové, až po velmi diferencované buňky, které se účastní:
  - transportu kyslíku (erytrocyty)
  - procesu srážení krve (trombocyty)
  - obranyschopnosti organismu (lymfocyty, monocyty, granulocyty)

# HEMOPOEZA

= produkce krevních buněk

- ⊙ proliferace buněk v hemopoetických orgánech
- ⊙ dodávání zralých buněk do periferie
- ⊙ z mateřských buněk vznikají dělením (proliferací) a zráním (maturací) nové krvetvorné buňky odlišné od mateřských
- ⊙ krvinky vznikají z kmenových a mateřských buněk dělením- mitózou



# HEMOPOEZA

- myelopoeza (granulomonocytová, červená a megakaryocytová řada)
- lymfopoeza

# HEMATOPOEZA

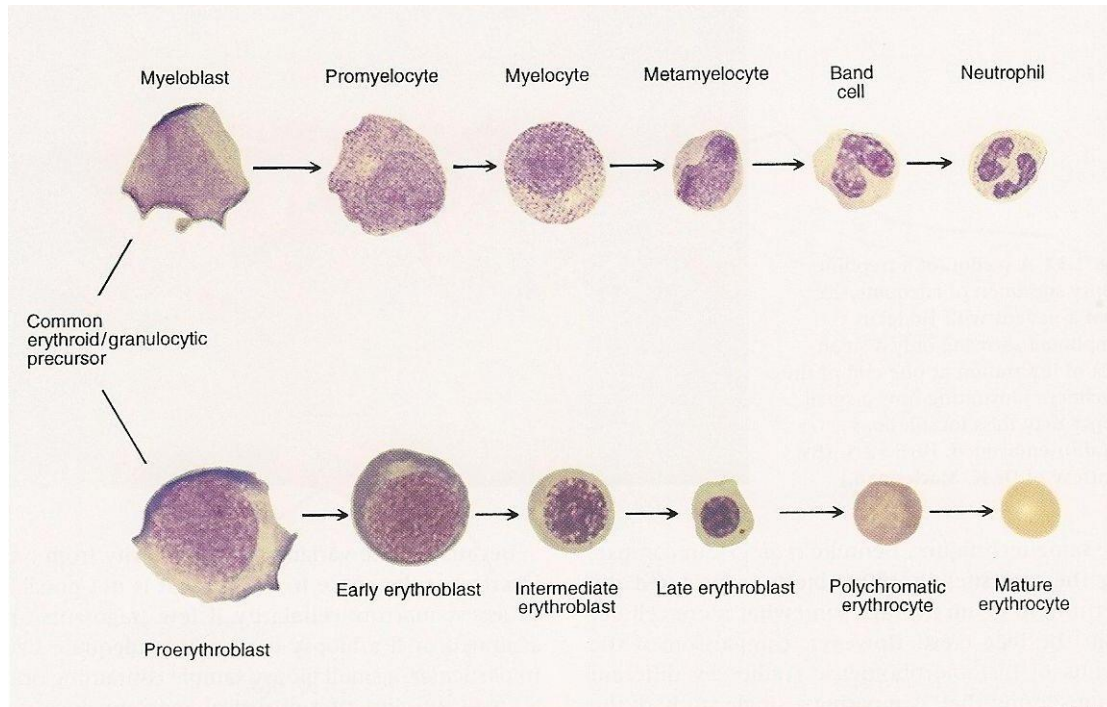
- ◉ Vývoj granulocytů 10 dní, přežívání v periferní krvi 6-8 hodin,
- ◉ Monocyty přežívají déle- 12-24 hod
- ◉ Lymfocyty přežívají dle typu- od 3-4 dnů do 10 let i déle
- ◉ Vývoj megakaryocytů 4-5 dnů, přežívání asi 7-11 dní
- ◉ Vývoj erythropoezy 3 dny do stádia retikulocytu, přežívání erytrocytů 120 dní

# MYELOPOEZA

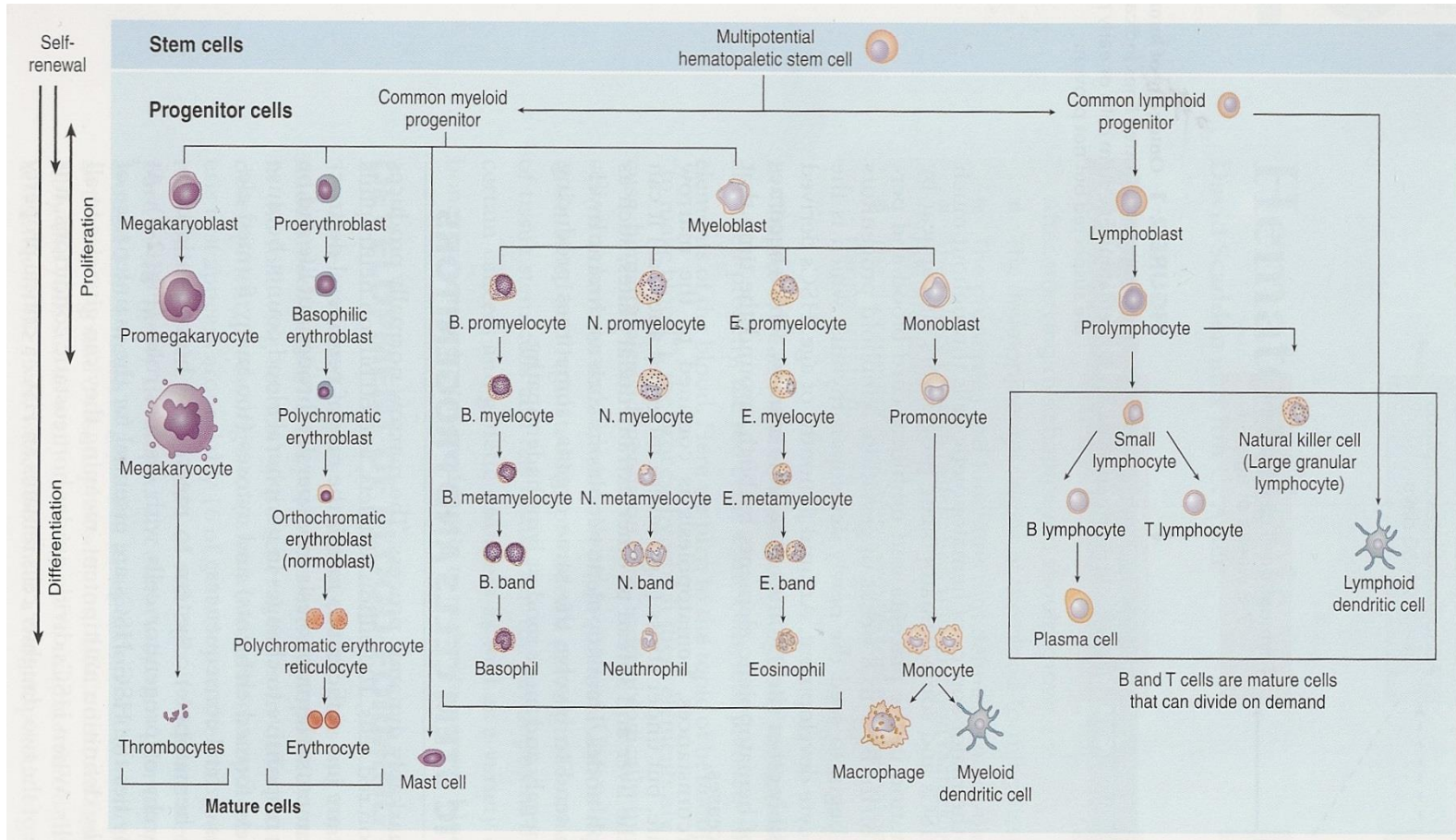
- ◉ Krevní elementy (erythrocyty, granulocyty a trombocyty) mají svůj původ v pluripotentní kmenové buňce a ve vlastní mateřské buňce
- ◉ Zrání (diferenciace) buněk myelopoezy:
  - změny v plazmě
    - ztráta bazofilie cytoplazmy
    - v plazmě myeloidních buněk specifická granula (neutrofilní, eozinofilní, bazofilní)
  - změny v jádře
    - červené složky je jádro vypuzeno
    - u složky myeloidní se jádro zahušťuje, chromatin ztrácí jemné uspořádání
    - původní kulatý nebo oválný tvar se mění postupně na členěný

# REPREZENTACE GRANULOPOEZY A ERYTROPOEZY

(BAIN, B. ET AL. BONE MARROW PATHOLOGY. 2010)



# HEMATOPOEZA



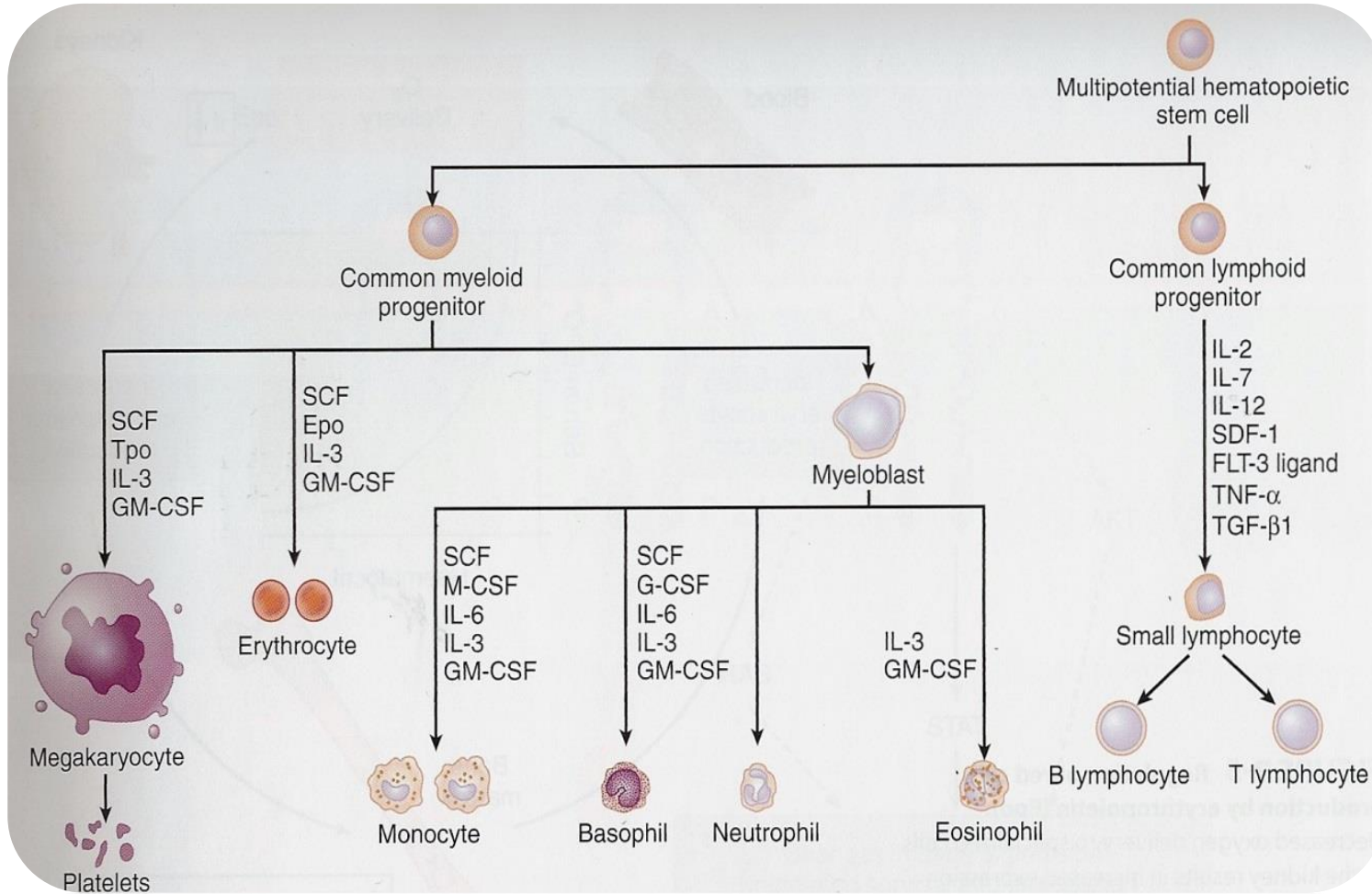
# SYSTÉMY ŘÍZENÍ KRVETVORBY

- ◉ povaha a metabolický stav buňky (specifické receptory, fáze buněčného cyklu)
- ◉ vlivy prostředí
- ◉ mikroprostředí kostní dřeně ( makrofágy, fibroblasty, retikulum, tukové buňky a endotel)

# ŘÍZENÍ KRVETVORBY

- ❑ *Hemopoetické růstové faktory (cytokiny)*
  - působící na stromální buňky: IL-1, TNF
  - pluripotentní buňky: SCF (stem cell factor)
  - časně multipotentní buňky: IL-3, 4,6, GM-CSF (CSF- Colony Stimulating Factor)
  - progenitorové buňky: G-CSF, M-CSF, IL-5 (eozinofilní CSF), EPO (erythropoetin), TPO (trombopoetin)
- ❑ *Nervové a humorální vlivy*
- ❑ *Přívod látek nezbytných pro hemopoézu*

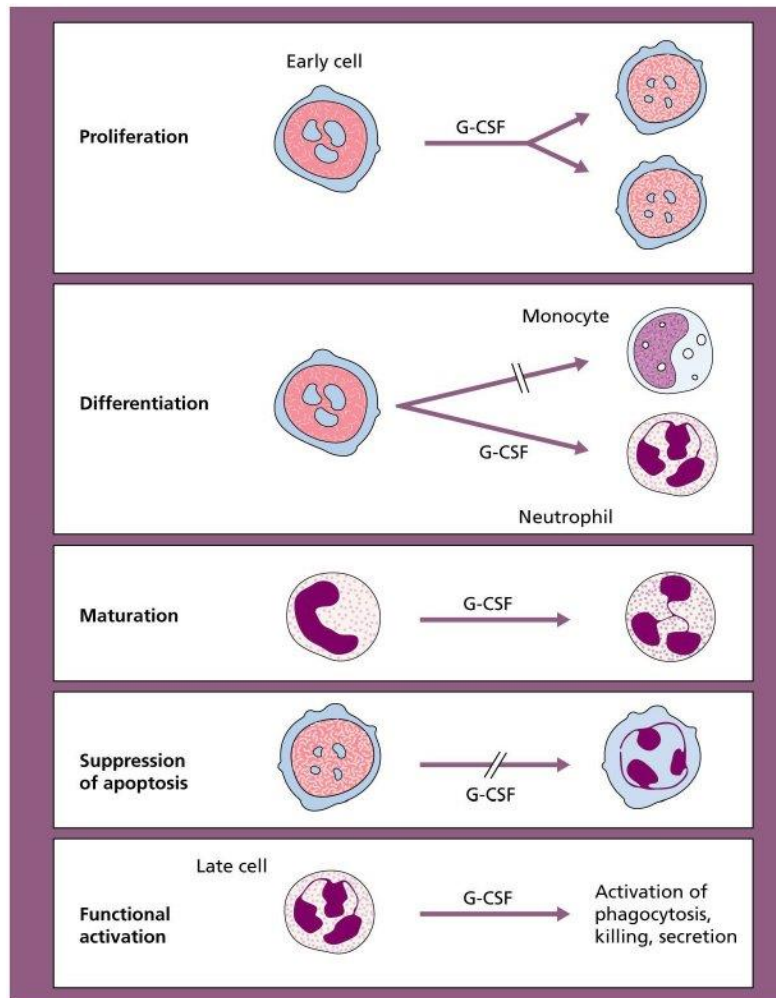
# HEMATOPOETICKÉ RŮSTOVÉ FAKTORY



SCF stem cell factor (c-KIT ligand), SDF-1 stromal cell-derived factor-1, FLT-3 Fms-like tyrosine kinase-3, TNF-tumor necrosis factor, TGF transforming growth factor



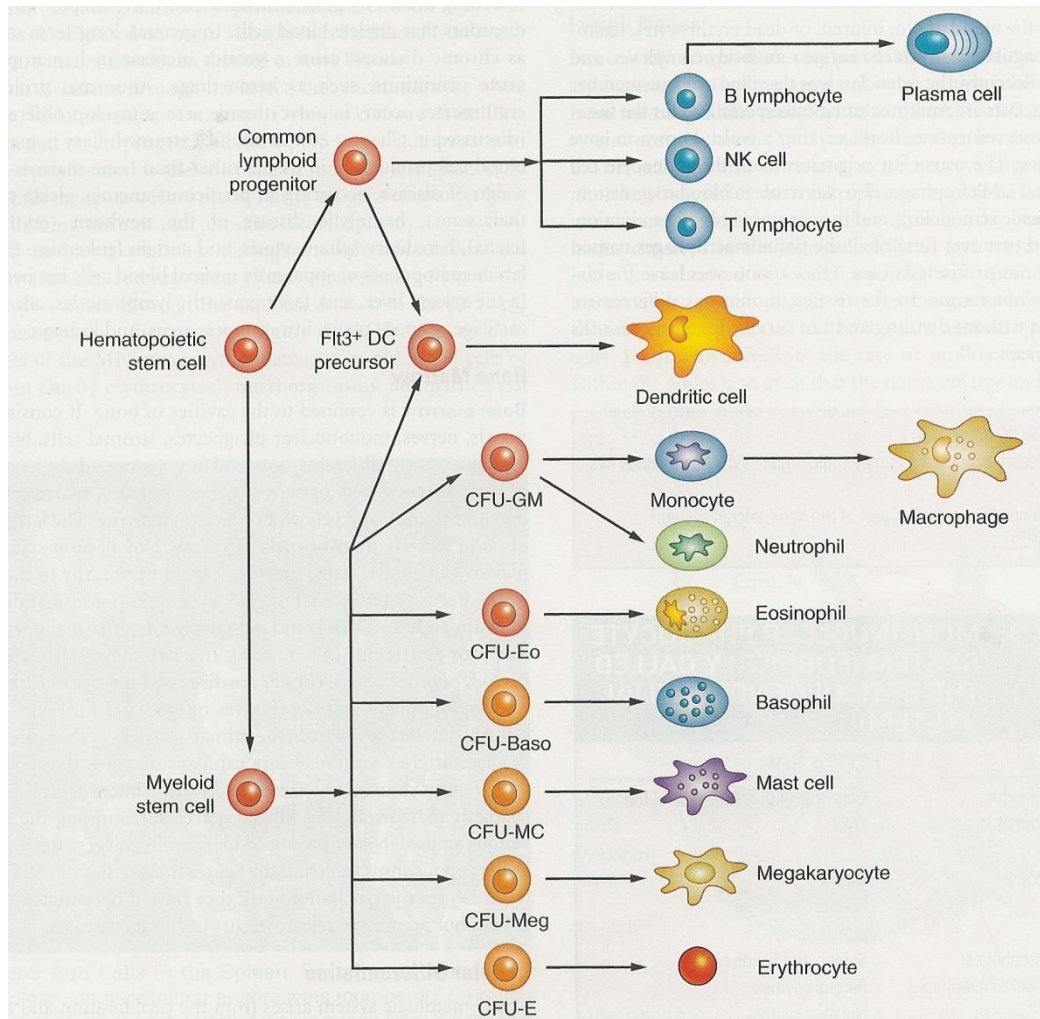
Růstové faktory mohou stimulovat proliferaci časných dřevňových buněk, řídí diferenciaci, stimulují buněčné zrání, potlačují apoptózu nebo zasahují do funkce zralých nedělících se buněk.



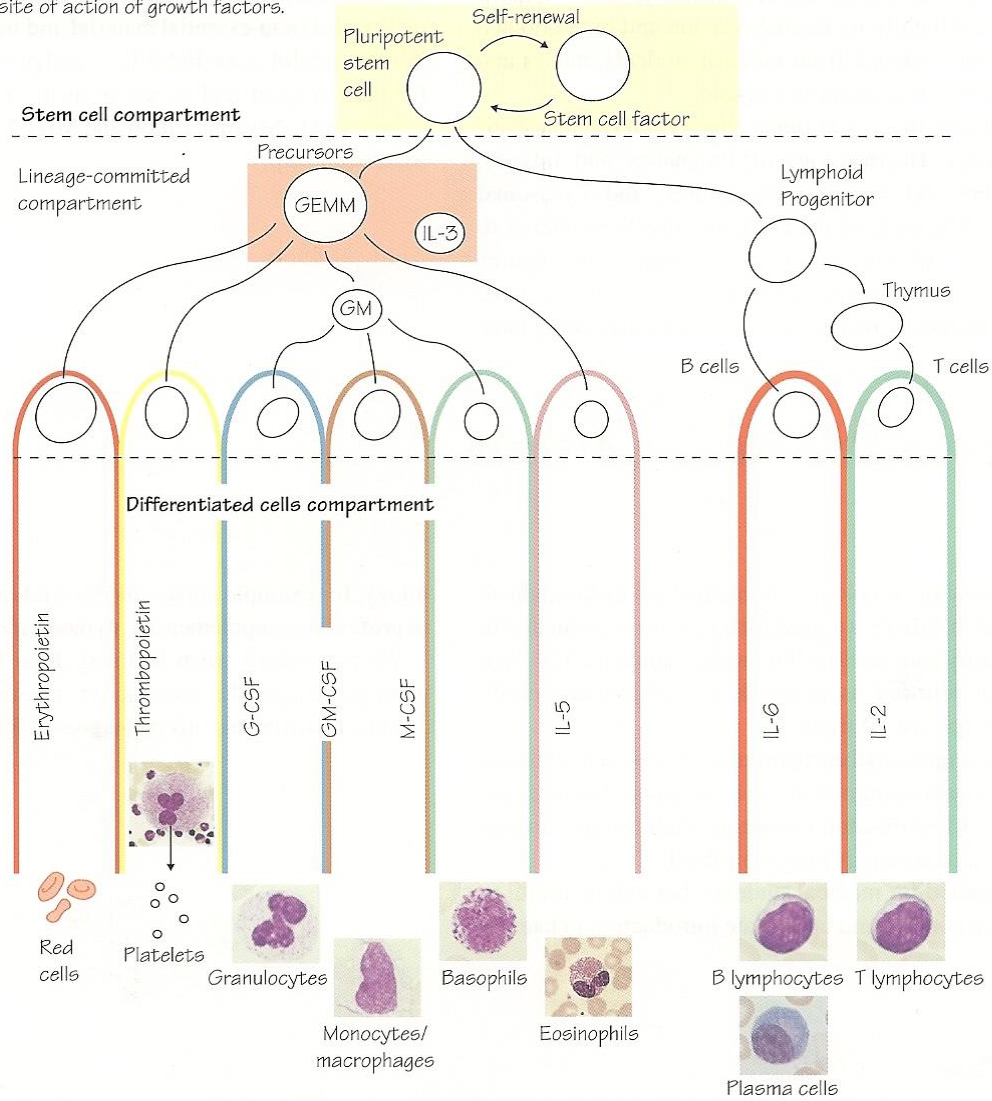
From: *Essential Haematology*, 6th Edn. © A. V. Hoffbrand & P. A. H. Moss.  
Published 2011 by Blackwell Publishing Ltd.

**Figure 1.6** Growth factors may stimulate proliferation of early bone marrow cells, direct differentiation to one or other cell type, stimulate cell maturation, suppress apoptosis or affect the function of mature non-dividing cells, as illustrated here for granulocyte colony-stimulating factor (G-CSF) for an early myeloid progenitor and a neutrophil.

# DIFERENCIACE KREVNÍCH BUNĚK POD VLIVEM RŮSTOVÝCH FAKTORŮ



(a) Haemopoiesis. Showing site of action of growth factors.



DĚKUJI ZA POZORNOST

