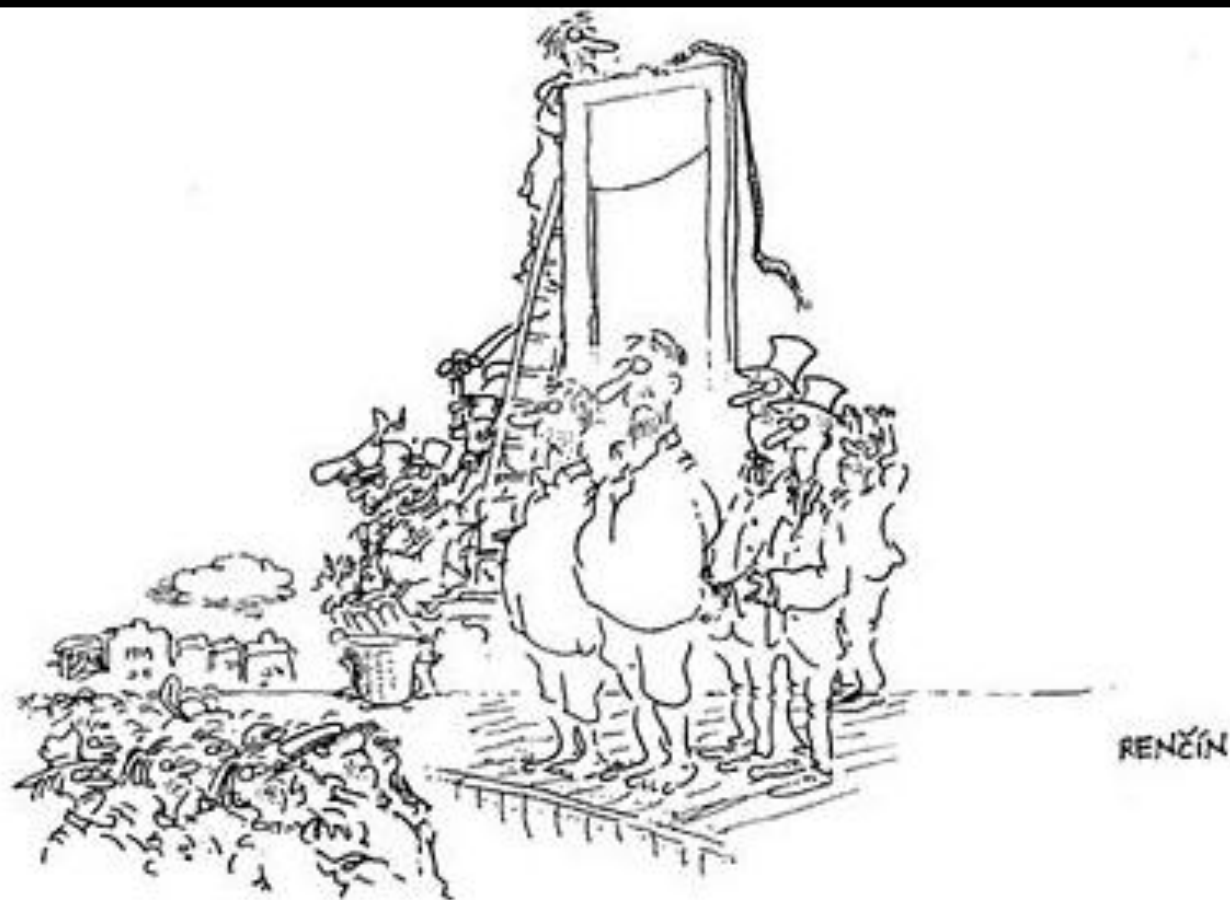


Ontogeneze mnohobuněčných organismů

Milan Bartoš

Přednáška Biologie 2024



NĚKDE JSEM ČETL, ŽE TATO ZEMĚ JE PLNÁ PRACOVITÝCH, SLUŠNÝCH
A ŠIKOVNÝCH LIDÍ. KDE JSOU, PROBOHA?!

Obsah přednášky

1. Univerzální mechanismy vývoje organismů
2. Základní procesy tvorby embrya
3. Řízení ontogenetického vývoje
4. Jak se studují vývojové procesy
5. Indukční signály
6. Homeotické geny
7. Využití vývojových procesů

Úvod

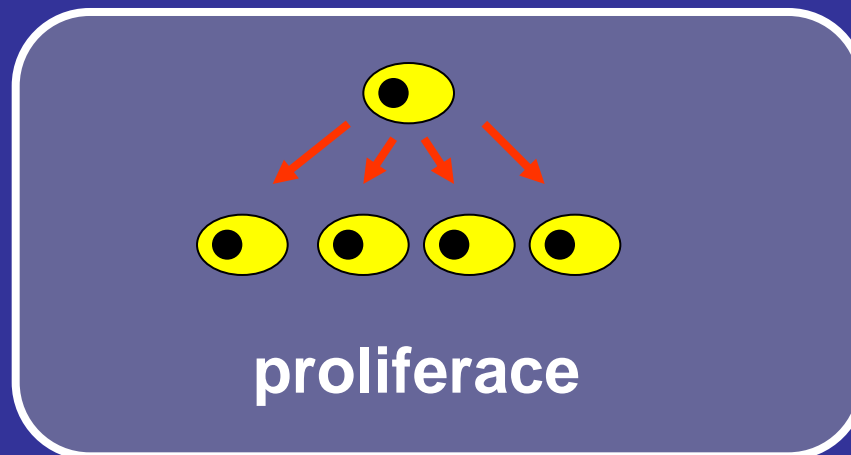
- Život organismů začíná jako jediná buňka – fertilizované vajíčko
- Během vývoje se tato buňka opakovaně dělí, vzniká mnoho různých buněk jejichž konečná podoba je velmi složitá a přesná
- Vývojové schéma je určeno geny
- Jak geny řídí ontogenezi je předmětem studia vývojové biologie

Geny, genová exprese, embryo

- **Principiálně každá buňka obsahuje kompletní genetickou informaci**
- **Buňky se neliší svou genetickou informací, ale tím, že exprimují odlišné sady genů**
- **Tato selektivní exprese genů kontroluje 4 základní procesy tvorby embrya**

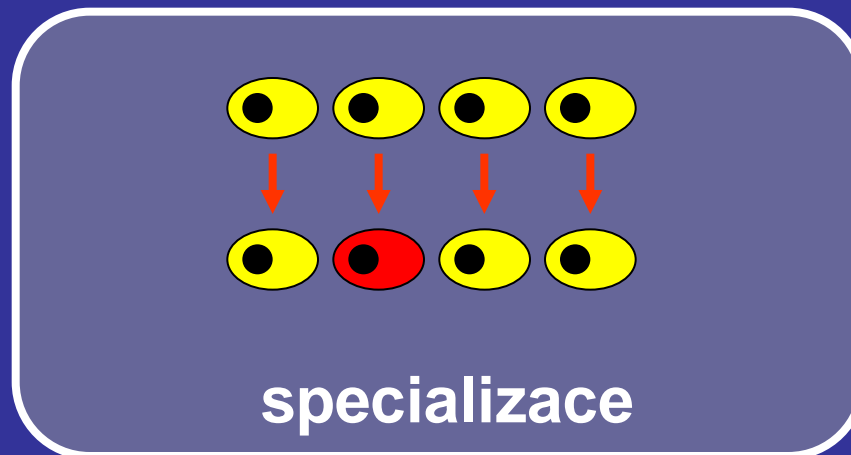
Čtyři základní procesy tvorby embrya

1) Buněčná proliferace = vznik jedné buňky z mnoha



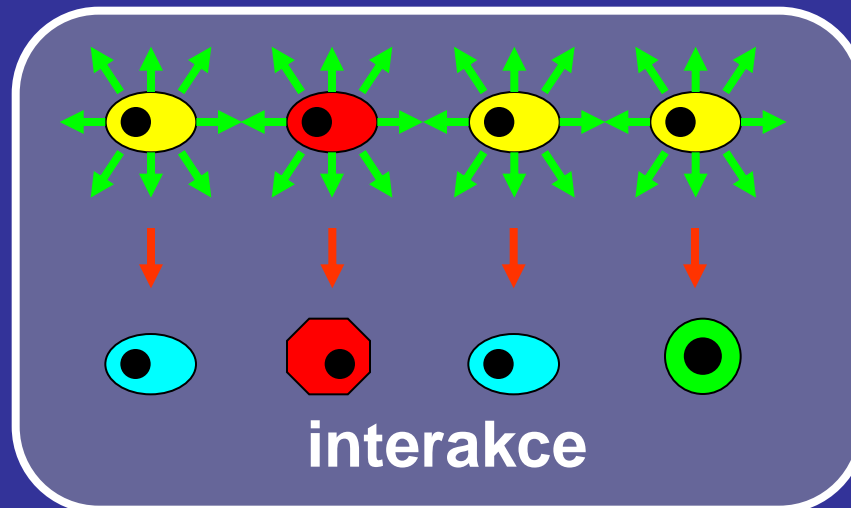
Čtyři základní procesy tvorby embrya

- 1) Buněčná proliferace = vznik jedné buňky z mnoha
- 2) Buněčná specializace = vytváření buněk s různými charakteristikami podle místa, kde se nacházejí



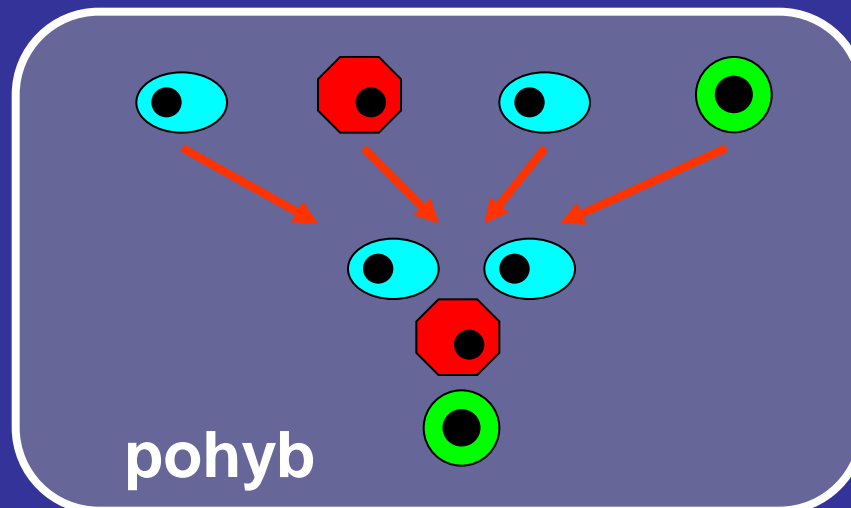
Čtyři základní procesy tvorby embrya

- 1) Buněčná proliferace = vznik jedné buňky z mnoha
- 2) Buněčná specializace = vytváření buněk s různými charakteristikami podle místa, kde se nacházejí
- 3) Buněčná interakce = koordinace vlastností buňky v závislosti na jejím okolí

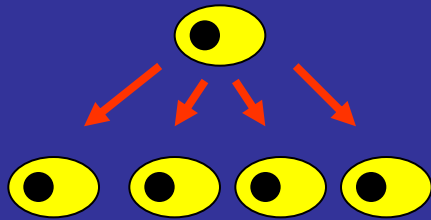


Čtyři základní procesy tvorby embrya

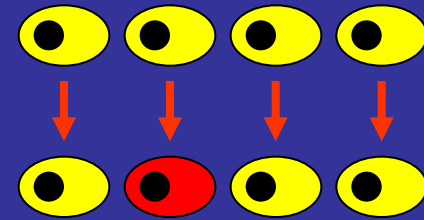
- 1) Buněčná proliferace = vznik jedné buňky z mnoha
- 2) Buněčná specializace = vytváření buněk s různými charakteristikami podle místa, kde se nacházejí
- 3) Buněčná interakce = koordinace vlastností buňky v závislosti na jejím okolí
- 4) Pohyb buňky = přeuspořádání buněk a tvorba strukturovaných tkání a orgánů



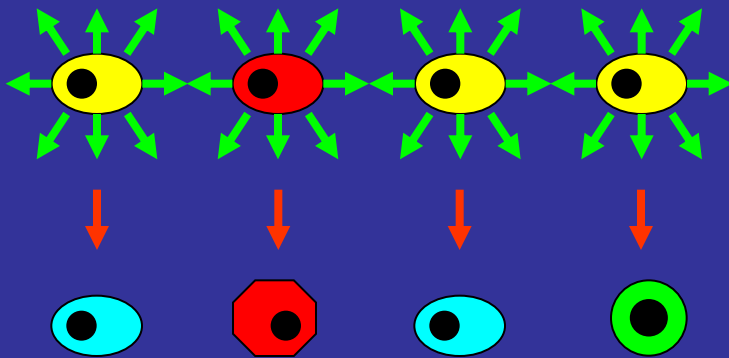
Embryo tedy vzniká čtyřmi základními procesy



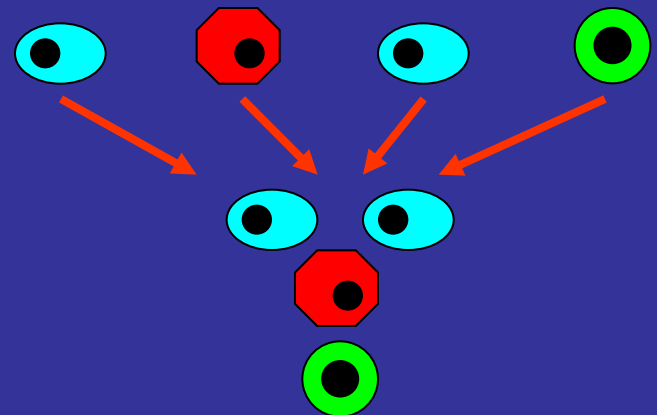
proliferace



specializace



interakce



pohyb

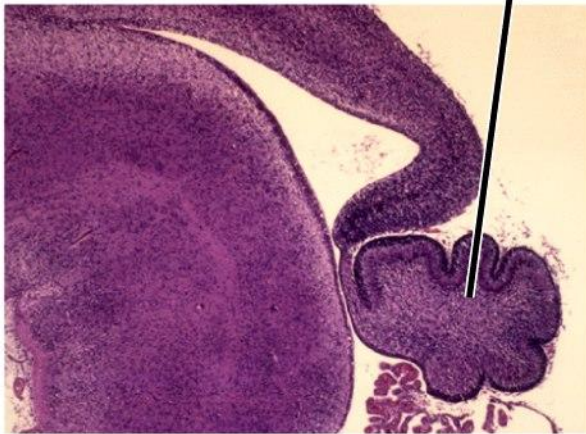
*Univerzální mechanismy
vývoje organismů*

Univerzální vývojové plány

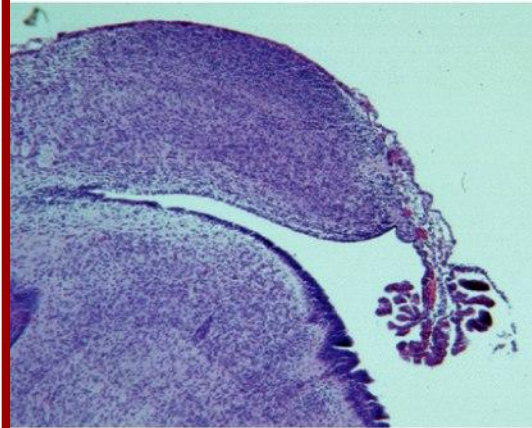
- Na zemi je více než 10 milionů druhů živočichů, které jsou nesmírně variabilní
- Červi, blechy, ptáci, gigantičtí kalmaři i lidé, ti všichni vznikají podle stejných vývojových plánů
- Na těchto plánech se podílí podobné, evolučně příbuzné proteiny
- Tyto proteiny (homologické proteiny) mohou fungovat napříč všemi druhy

Jak fungují homologické proteiny

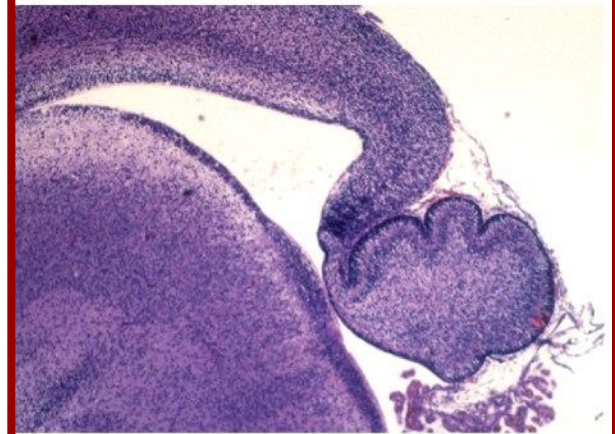
cerebellum



normal mouse



mouse lacking
Engrailed-1



mouse rescued by *Drosophila*
Engrailed

normální vývoj
mozku myši

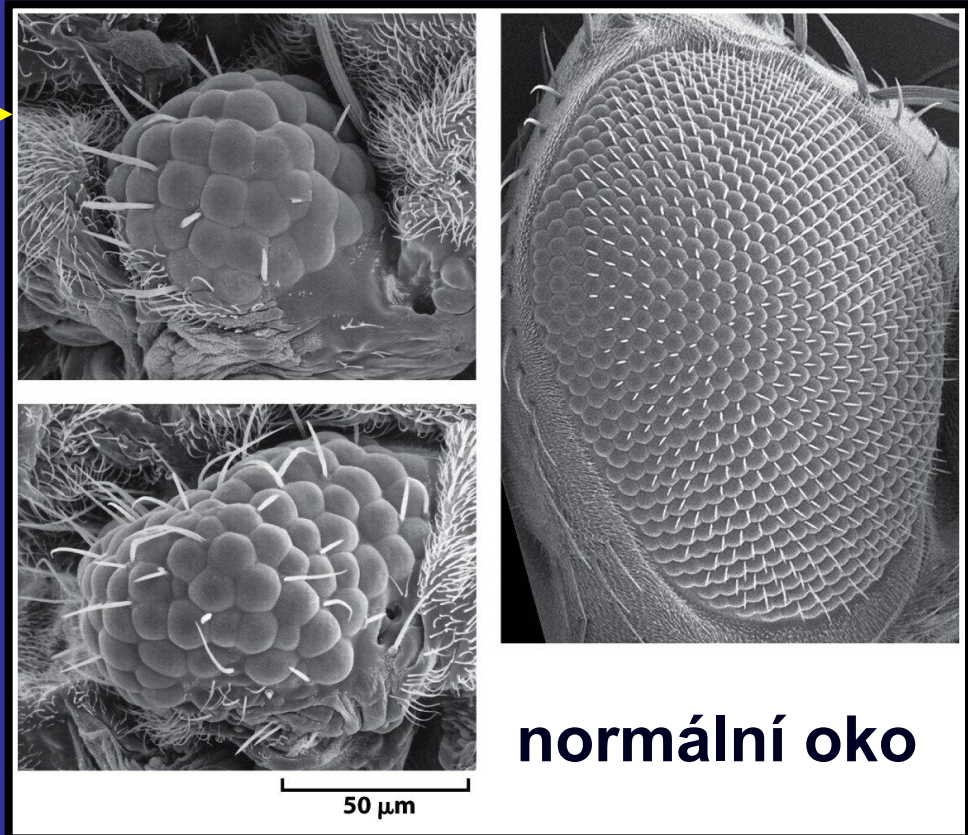
po ztrátě
regulačního
proteinu

po náhradě
homologických
regulačním
proteinem

Jak fungují homologické proteiny

- Protein Eyeless kontroluje vývoj u *Drosophila*
- Ektopická exprese může způsobit vývoj oka např. místo nohy

exprese
homologického Pax6
z chobotnice



Jak je tomu u rostlin?

- U rostlin vznikla mnohobuněčnost nezávisle na živočišné říši
- Mají jednotný vývojový rámeček, ale odlišný od živočichů



Živočichové mají některé společné anatomické rysy

Podobnosti v genech kontrolujících ontogenetický vývoj svědčí o existenci společného předka, který tyto geny už měl

Tento společný předek měl pravděpodobně

- epidermální buňky = ochranná vnější vrstva
- buňky trávicího traktu = příjem potravy
- svalové buňky = pohyb
- neurony a senzory = kontrola pohybu

Společný předek měl také

Tělo organizované do těchto struktur

- **Kůže** pokrývající povrch těla a oddělující ho od okolí
- **Ústa** určená k příjmu potravy
- **Trávicí trubice** určená ke zpracování potravy
- **Svaly, nervy a další tkáně** uložené v prostoru mezi vnější kůží a vnitřní trávicí trubicí

**Tyto základní struktury
označujeme?**

- **ektoderm**
- **entoderm**
- **mezoderm**



Ektoderm

Prekurzor epidermis a nervového systému

Říká se mu také vnější zárodečný list

Vzniká z něj

- většina epitelů, pokožka a její deriváty (vlasy, nehty)
- výstelka začátku a konce zažívací trubice
- dále například čichové buňky, mozeček, tyčinky a čípky a dřeň nadledvinek
- specifickým typem ektodermu je neuroektoderm, z něhož vzniká nervová soustava a neurální lišta

Entoderm

**Prekurzor trávicí trubice a jejích „přívěsků“ –
slinivka břišní, játra, plíce**

Říká se mu také vnitřní zárodečný list

Vzniká z něj

- **epitel trávicí soustavy (vyjma části úst, hltanu a řiti)**
- **buňky lemující všechny žlázy, které jsou otevřeny do trávicí soustavy (játra, slinivka břišní)**
- **epitel Eustachovy trubice, část středního ucha**
- **epitel průdušnice, průdušky a plicních alveol**
- **povrch močového měchýře a části močové trubice**

Mezoderm

Vyplňuje prostor mezi ektodermem a entodermem

Vzniká většinou z entodermu

Prekurzor svalů, pojivových tkání a řady dalších orgánů a tkání

Říká se mu také střední zárodečný list

Z mezodermu vzniká u člověka

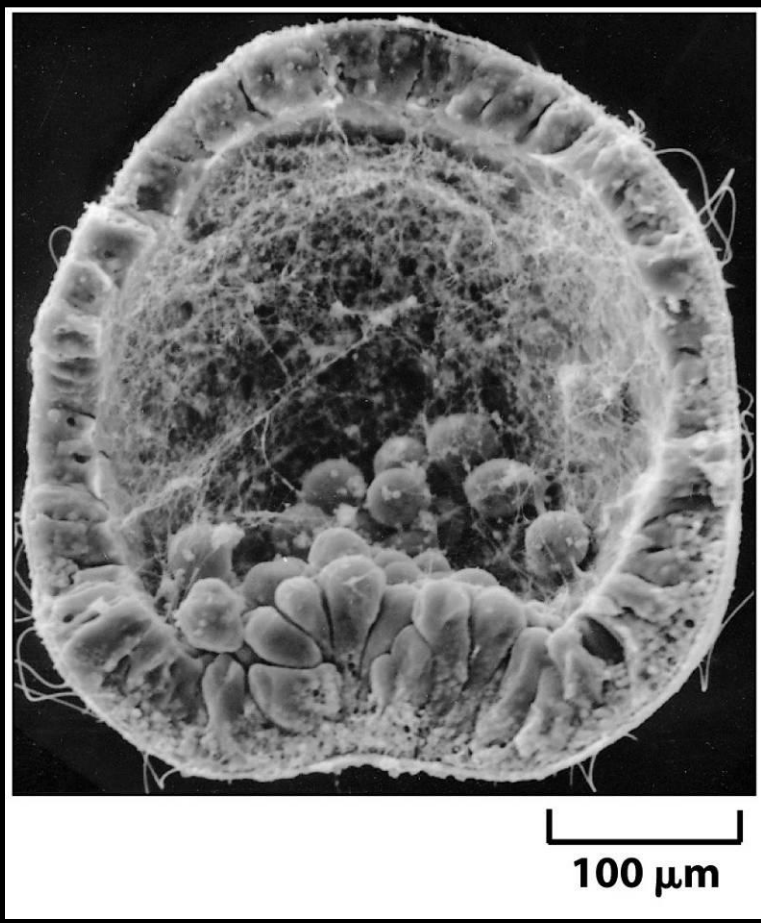
- svaly, kostra, oběhová soustava, vylučovací soustava, pohlavní soustava
- v podstatě však také orgány vzniklé ze stěn tzv. coelomu (dutina v mezodermu) - např. část cévní soustavy a dále struna hřbetní

Mezoderm vytváří objemově největší část těla

Gastrulace

Univerzální proces vývoje živočichů, kterým je obrovská oplodněná vaječná buňka přeměňována sérií štěpení na malé buňky až ke vzniku struktury s trávicí trubicí

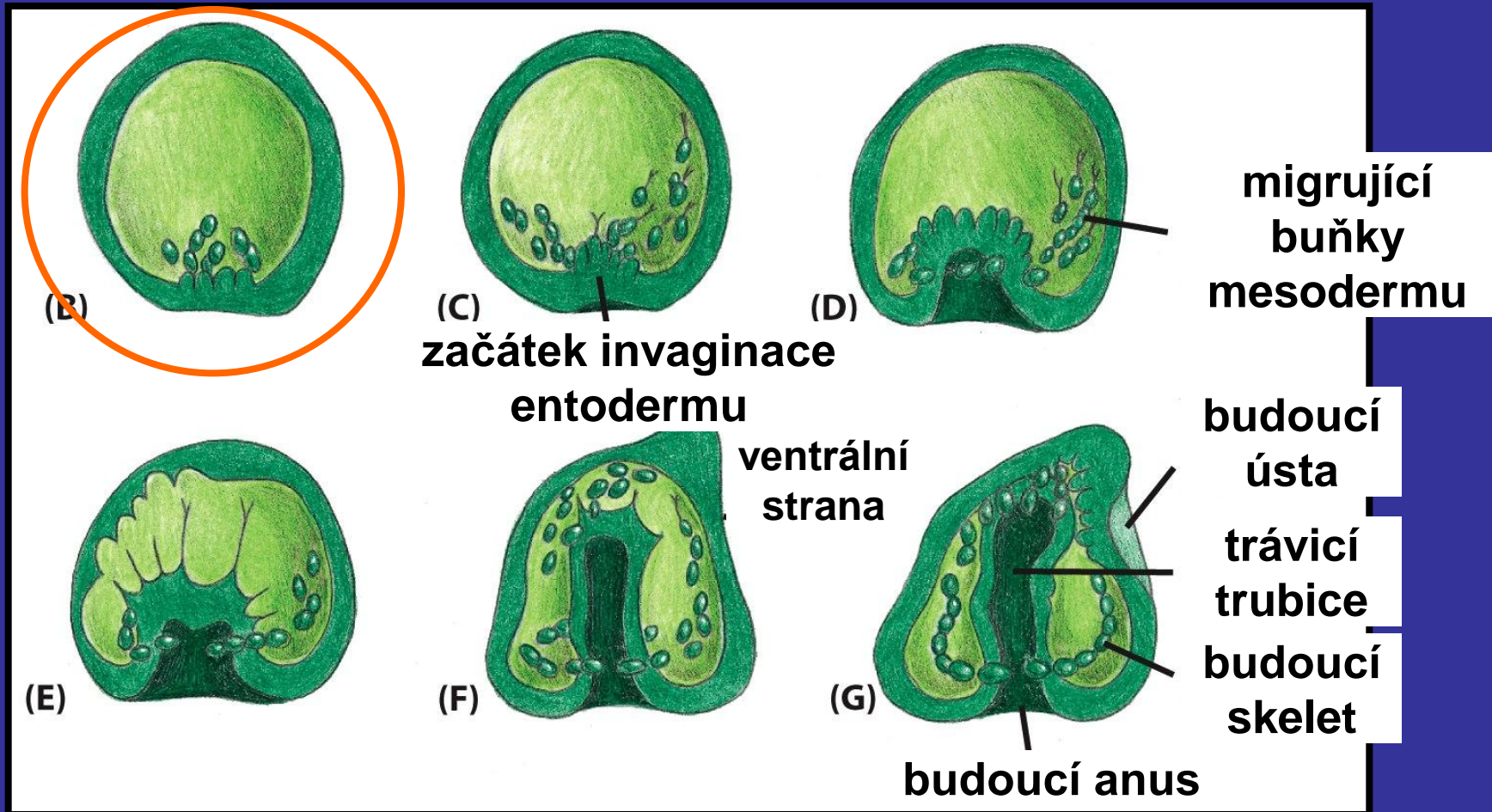
Gastrulaci předchází vznik blastuly = dutá koule epiteliálních buněk uzavírající dutinu



Gastrulace začíná, když se buňky začínají uvolňovat do dutiny, kde vytvoří střevo a další vnitřní tkáně

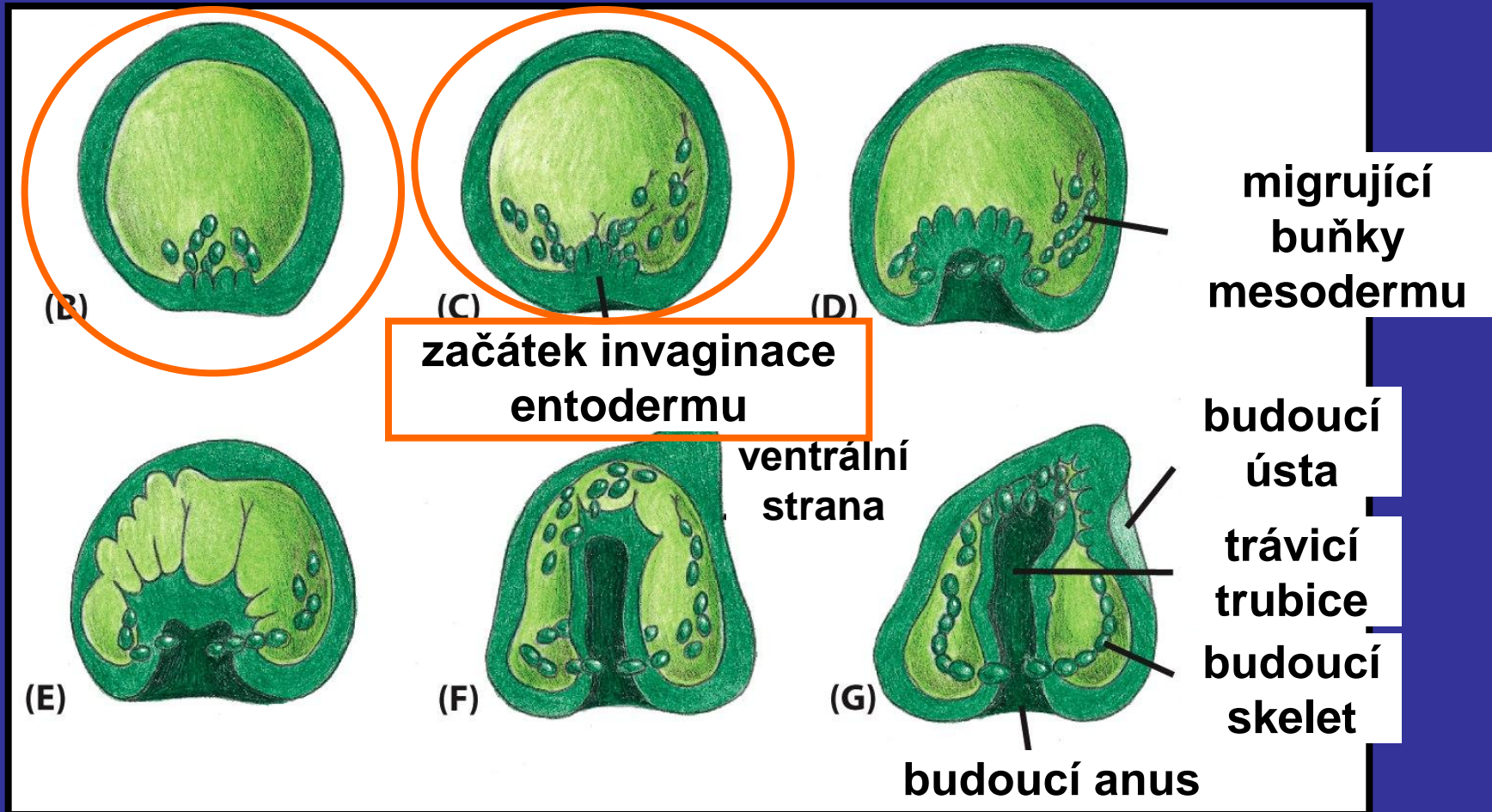
Průběh gastrulace

- Skupina buněk putuje z epitelu do dutiny a mění se v mezoderm



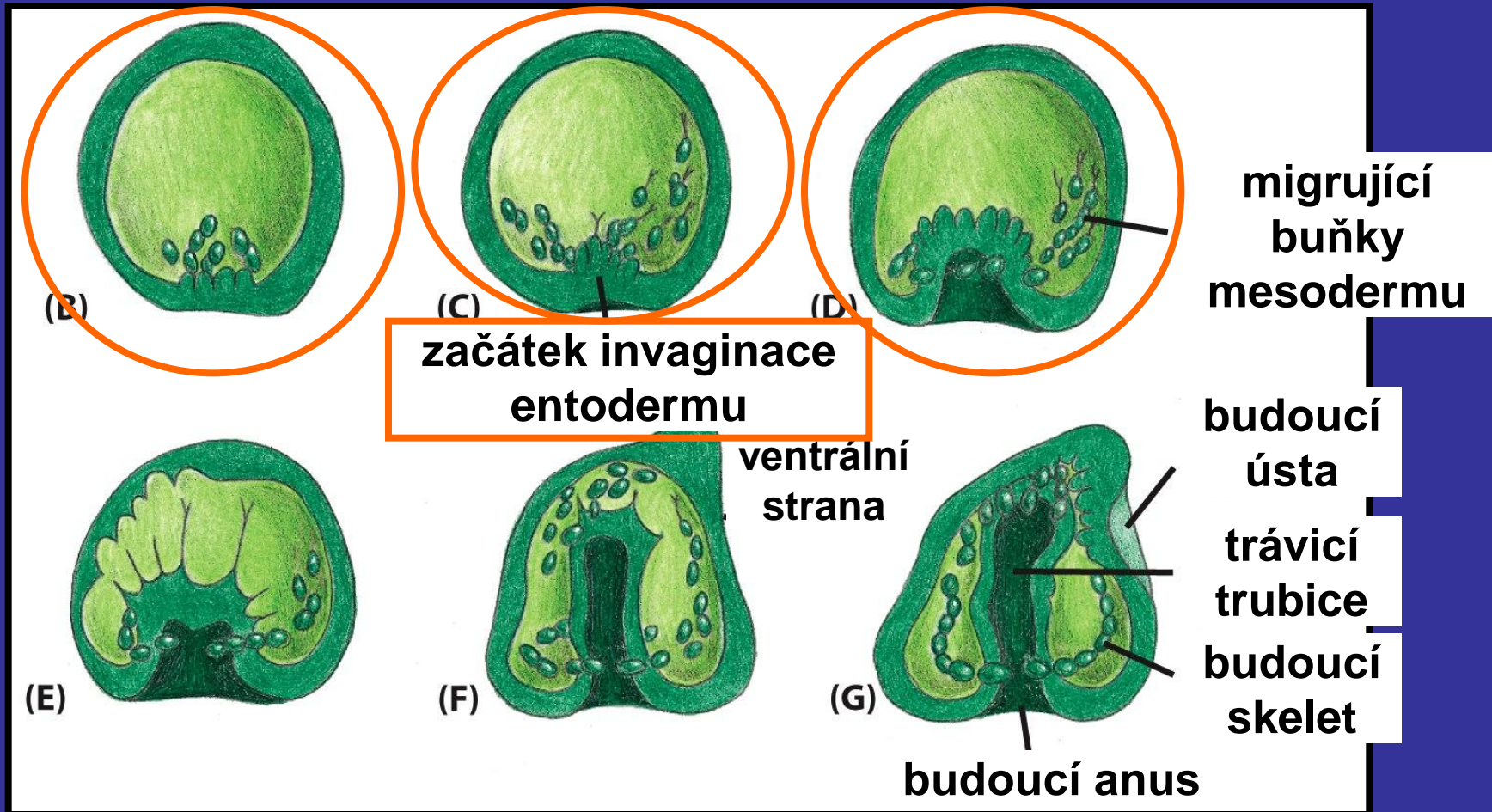
Průběh gastrulace

- Tyto buňky se pak plazivým pohybem přemísťují po vnitřní stěně blastuly



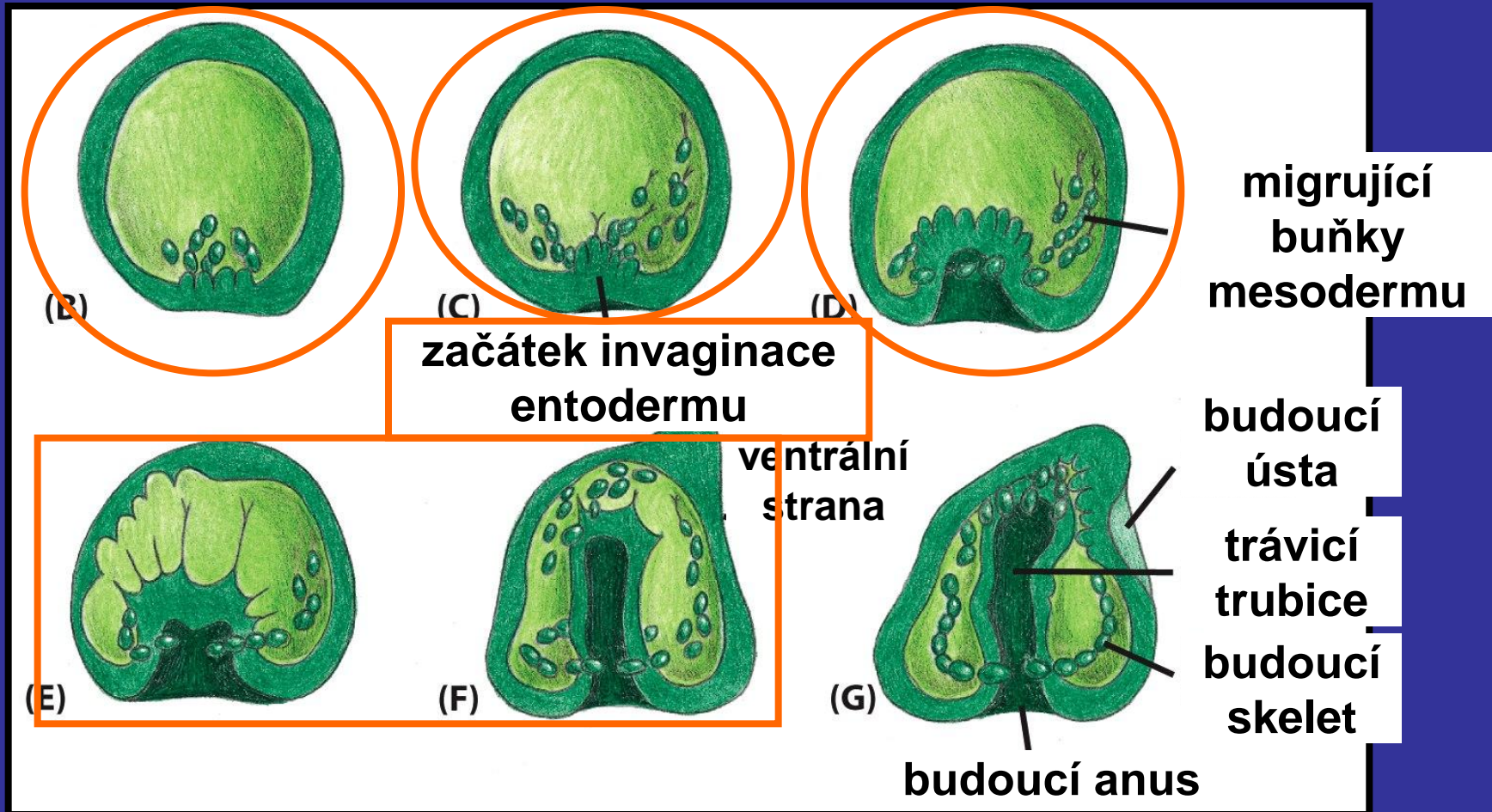
Průběh gastrulace

- Mezitím pokračuje zastrkování ektodermu dovnitř blastuly a z ektodermu vzniká entoderm



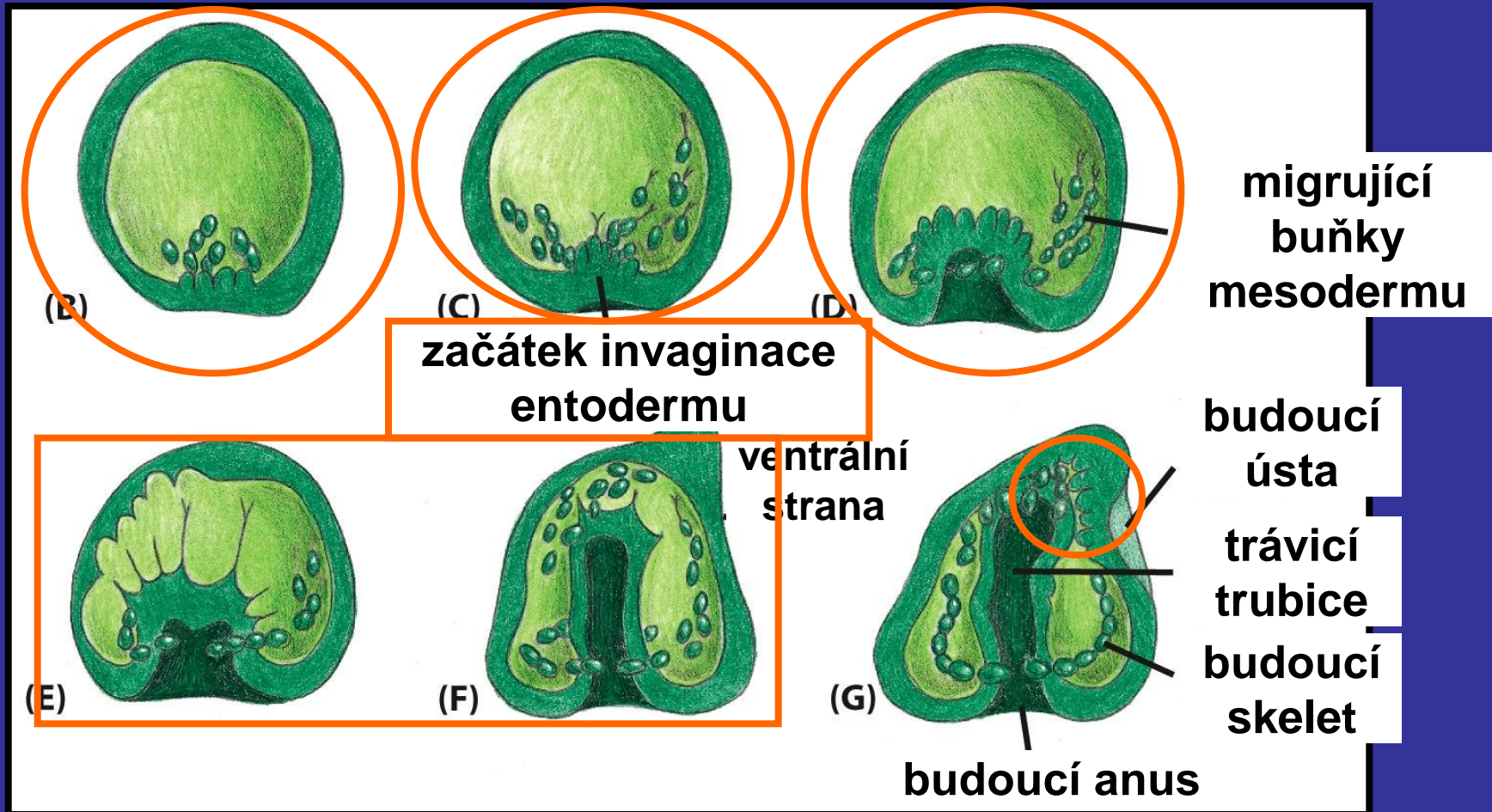
Průběh gastrulace

- Invaginace entodermu pokračuje a vytváří se dlouhá střevní trubice



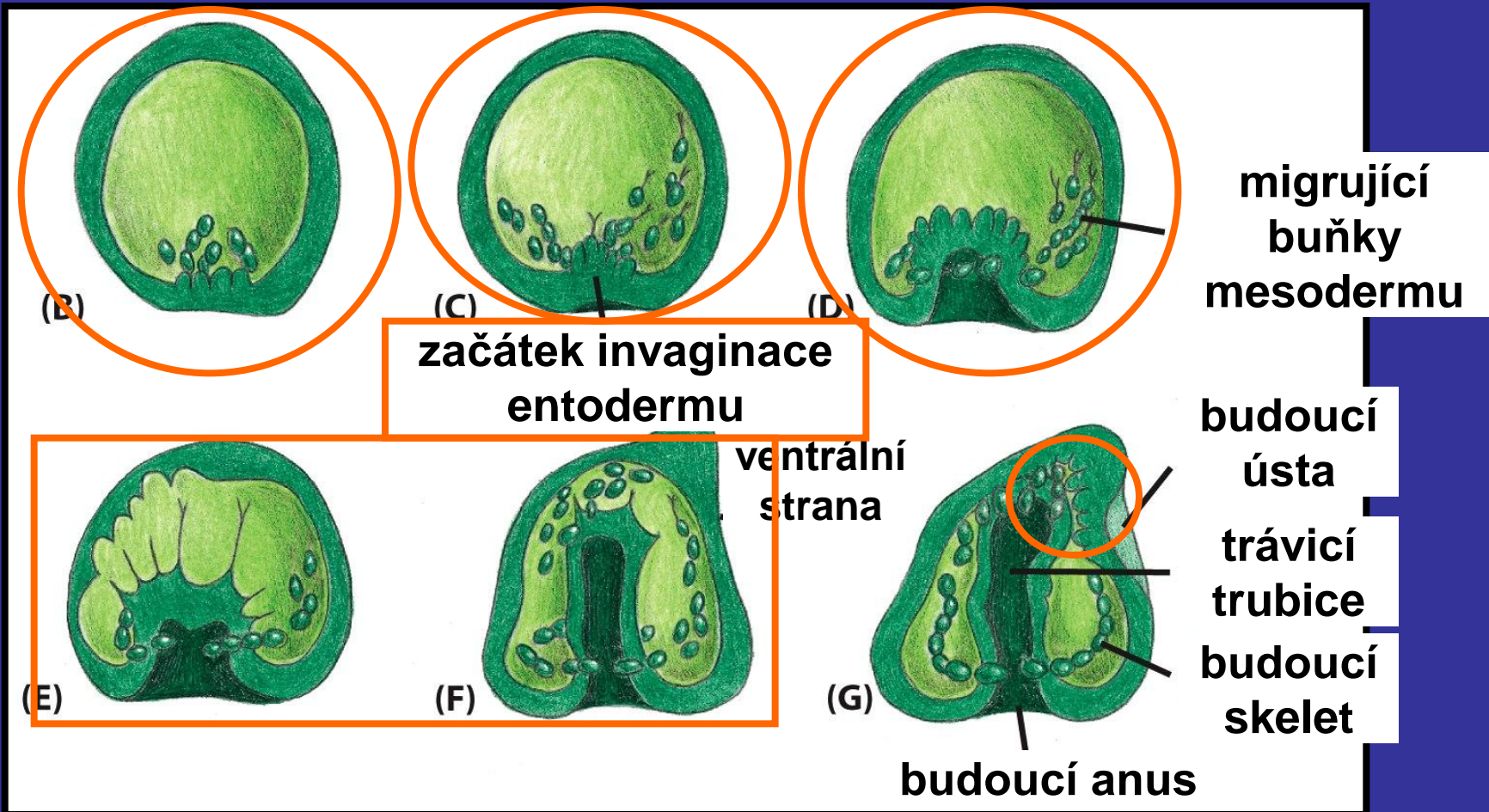
Průběh gastrulace

- Konec střevní trubice se dotkne stěny blastuly v místě, kde se později otevřou ústa

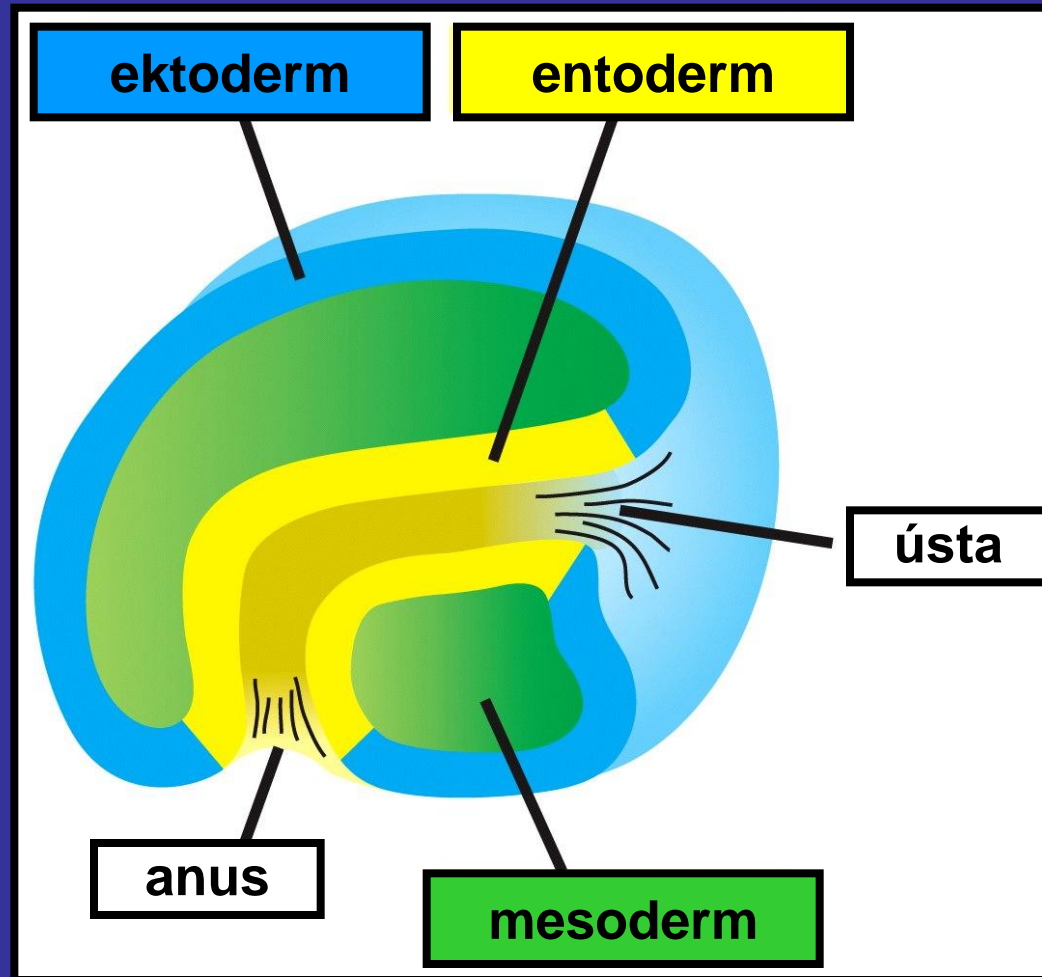


Průběh gastrulace

- Ústa vznikají v místě styku ektodermu a entodermu



Základní plán stavby těla živočichů



*Ontogenetický vývoj
mnohobuněčného organismu
je řízen vzájemnými
interakcemi mezi buňkami a
regulací genové exprese*

**Živočichové mají
podobné geny, přesto
jsou jejich těla tak
odlišná – jak je to
možné?**



Regulační geny a ontogeneze

- na proteom můžeme pohlížet jako na kostky dětské stavebnice
- z těchto kostek lze postavit různé struktury
- některé komponenty je možno kombinovat jen s některými
- instrukce o tom, které komponenty pospojovat jsou nesené geny



!!! A TO GENY REGULAČNÍMI !!!

Postupné zapínání regulačních genů

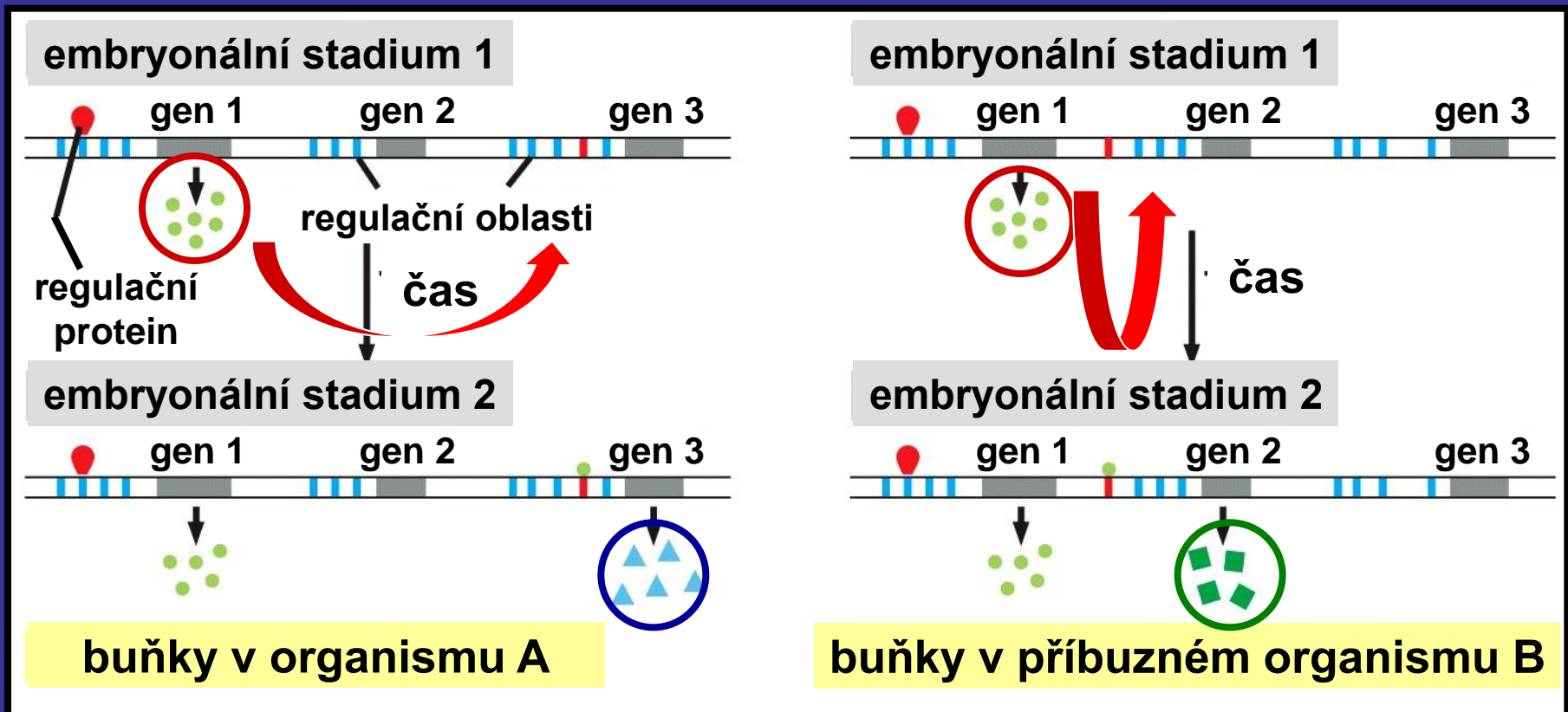
Regulační geny jsou zapínány sekvenčním způsobem – zapnutí/vypnutí genů závisí na přijímání signálů zvenčí i z vnitřního prostředí buněk

Program buněčného vývoje jsou

- pravidla přechodu z jednoho stadia do druhého podle toho, jak buňky proliferují a rozpoznávají svoji pozici v embryu s ohledem na okolí
- zapínání nových sad genů podle aktivit proteinů, které již obsahují z předchozí vývojové fáze

Co způsobí různé regulační geny?

- stejné proteiny exprimované v prvním stadiu
- různé proteiny exprimované ve druhém stadiu



Strukturní nebo regulační geny?

**Rozdíly mezi druhy jsou samozřejmě dány
variacemi jednotlivých proteinů (kódovány
strukturními geny)**

!!! ALE !!!

**Stačí nám znalost strukturních genů k odhadu, co z těch
sekvencí vznikne?**

**I když budeme mít stejnou sadu strukturních
genů, způsobí jejich časově a prostorově
oddělená exprese vznik odlišných tkání a tělních
struktur (za to můžou regulační geny)**

Jak se studují vývojové procesy?



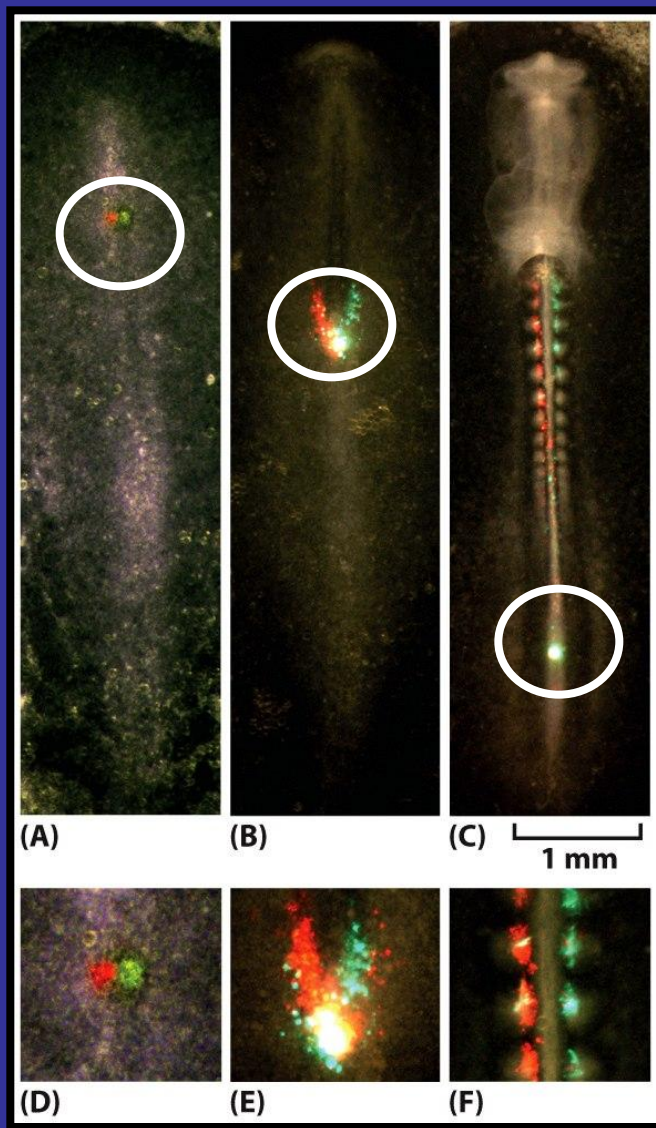
Deskriptivní embryologie

Studuje buněčné dělení, růst a pohyb buněk při přeměně oplozeného vajíčka do mnohobuněčného organismu

- Základy této disciplíny byly položeny už v 19. století
- Experimentální embryologie = analyzuje vývoj v termínech interakce buněk a tkání
- Vývojová genetika = popisuje vývoj jako interakci genů

Moderní embryologie spojuje oba přístupy

Náhled do vývoje kuřecího embrya



A, D = barvení 20 hod. po inkubaci (bezstrukturní hmota), vyznačen nodus

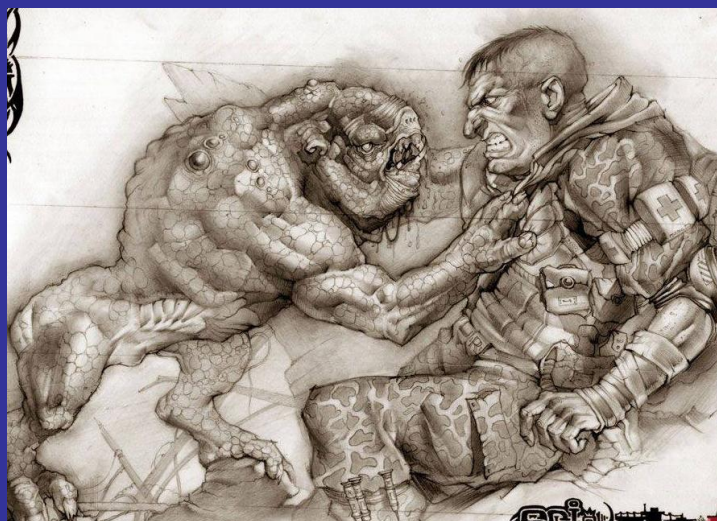
B, E = po dalších 6 hod. nastává pohyb buněk, nodus se posunuje dozadu

C, F = po dalších 8 hod. je vidět tělní plán, nodus se dále posunuje dozadu

Metody experimentální embryologie

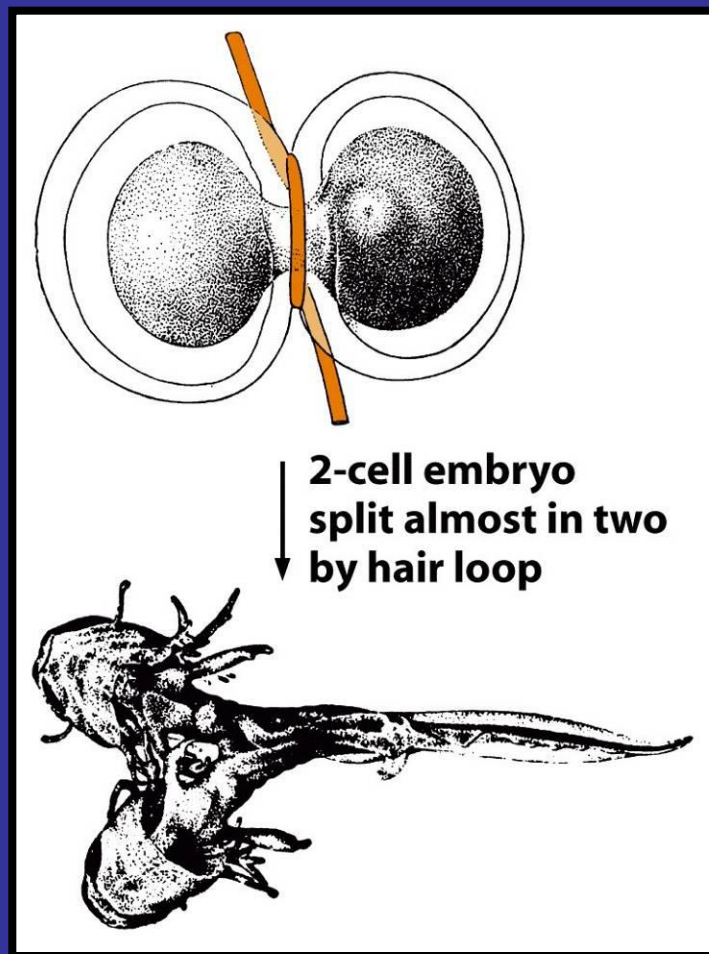
Buňky a tkáně jsou z embrya

- odstraňovány
- přemísťovány
- transplantovány
- rostou izolovaně



Cílem je zjistit, jak jedna buňka či tkáň ovlivňují druhou

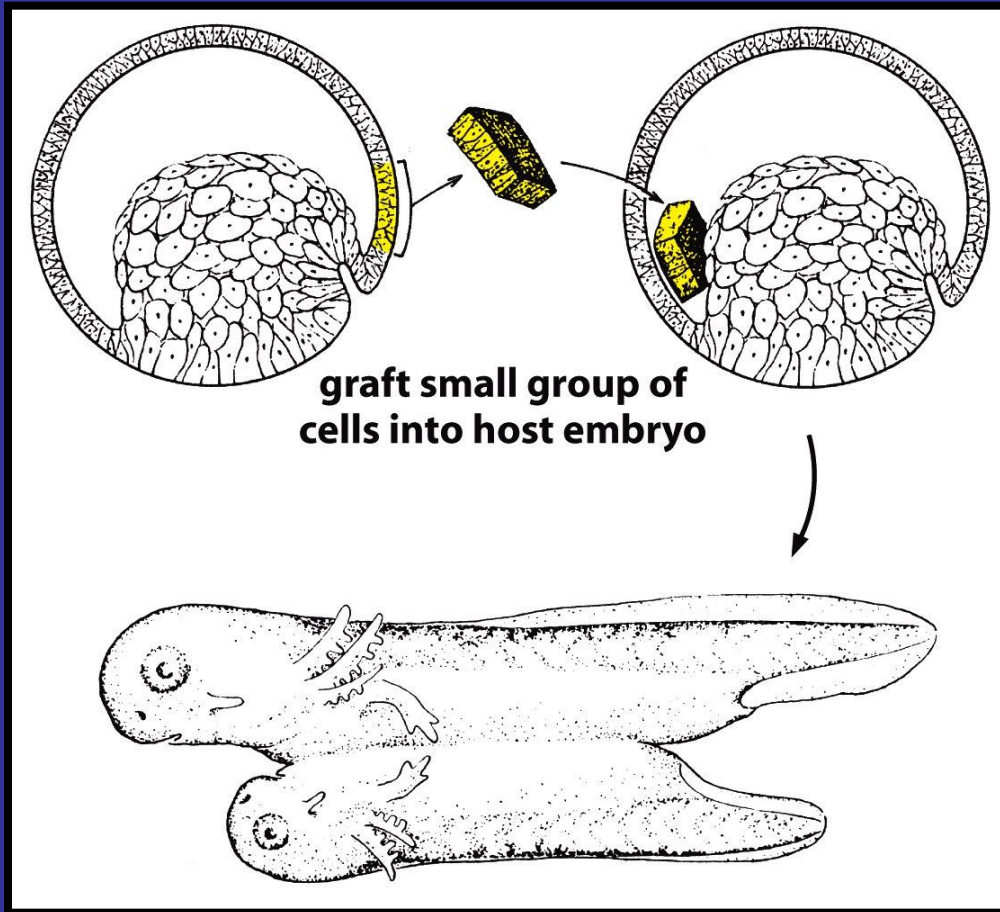
Dělení embrya



Když je časné embryo rozděleno na dvě, ještě z něj mohou diferencovat dva plnohodnotné organismy

Neúplné rozdělení vede ke vzniku siamského dvojčete

Transplantace tkání



Malý kus tkáně transplantovaný do nového místa může reorganizovat celou strukturu vyvíjejícího se těla

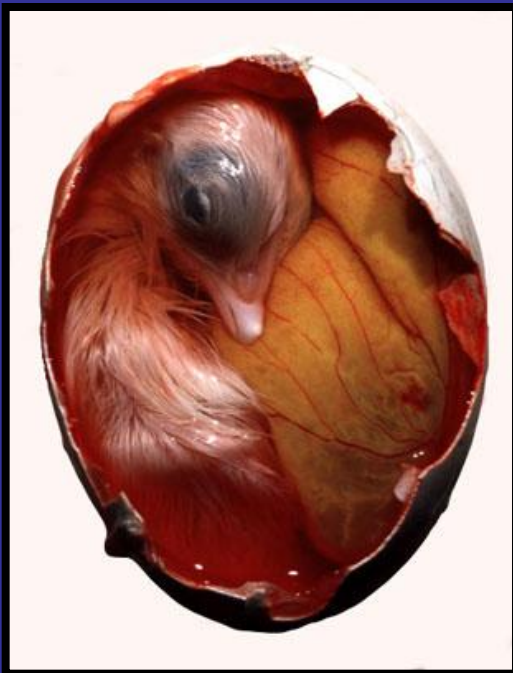
Vzniká siamské dvojče

Modely experimentální embryologie

Experimentální embryolog využívá organismů s velkými vajíčky

Ptáci

kuřecí embrya



Obojživelníci

Xenopus laevis



Vývojová genetika

Využívá mutanty, kteří se vyvíjejí abnormálně

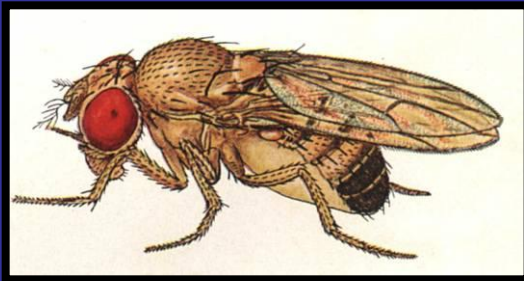
- Rodiče jsou ovlivněni chemickými mutageny nebo ionizujícím zářením – mutace v zárodečných buňkách
- Geny z vývojových abnormalit se klonují a sekvenují



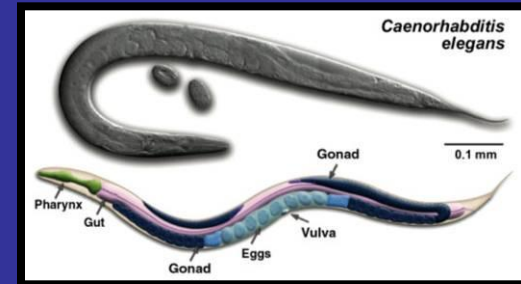
Modely pro vývojovou genetiku

Vhodné jsou malé organismy s krátkou generační dobou

Drosophila melanogaster



Caenorhabditis elegans



Danio rerio



Mus musculus



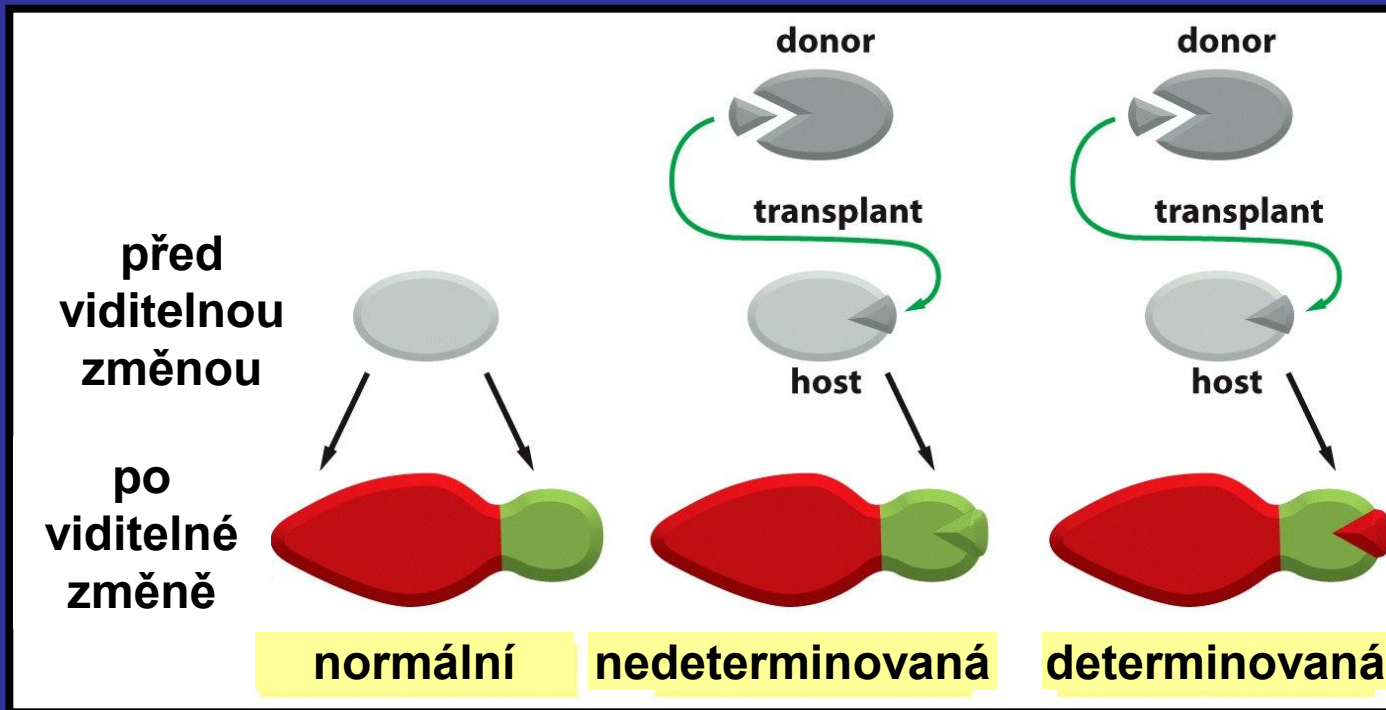
Determinace vývojových změn

... je daná „dávno“ předtím, než jsou viditelné nějaké změny = buňka má svůj osud?

- buňka, která se vyvine do daného typu bez ohledu na změnu vnějších signálů se označuje jako determinovaná, hovoříme též o buněčné paměti
- na druhou stranu buňky nedeterminované, biochemicky totožné, se vyvíjejí jiným směrem, v závislosti na pozici v tělesné struktuře

Test stavu buňky

Provádí se transplantací buňky do jiných vnějších podmínek

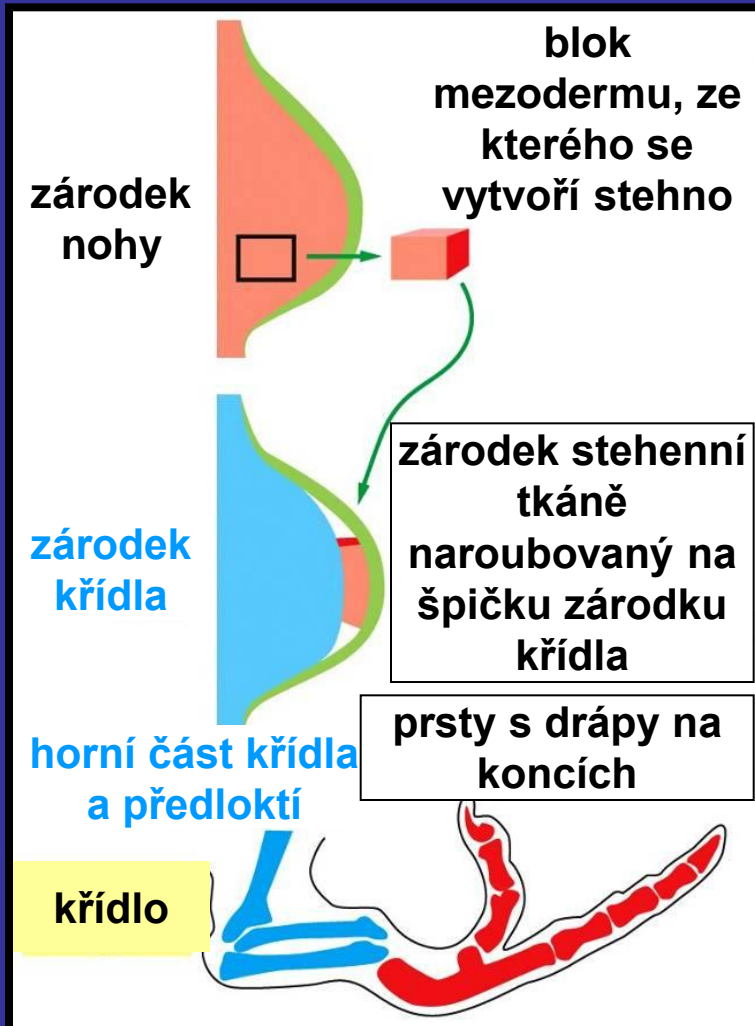


**Existuje však široké
spektrum mezistavů mezi
oběma popsányi
extrémy – je možný
vývojový zvrát**



Buňky si pamatují svoji pozici

Buňky jsou prostorově determinovány – udržují si znalost pozice, kde se nacházely před transplantací



- nohy i křídla se skládají z masa, kostí, kůže, ...
- rozdíly nejsou v typu tkáně, ale ve způsobu, jakým jsou uspořádány

Poziční efekt



**Čím je dána buněčná
paměť?**

**Co způsobuje poziční
efekt?**



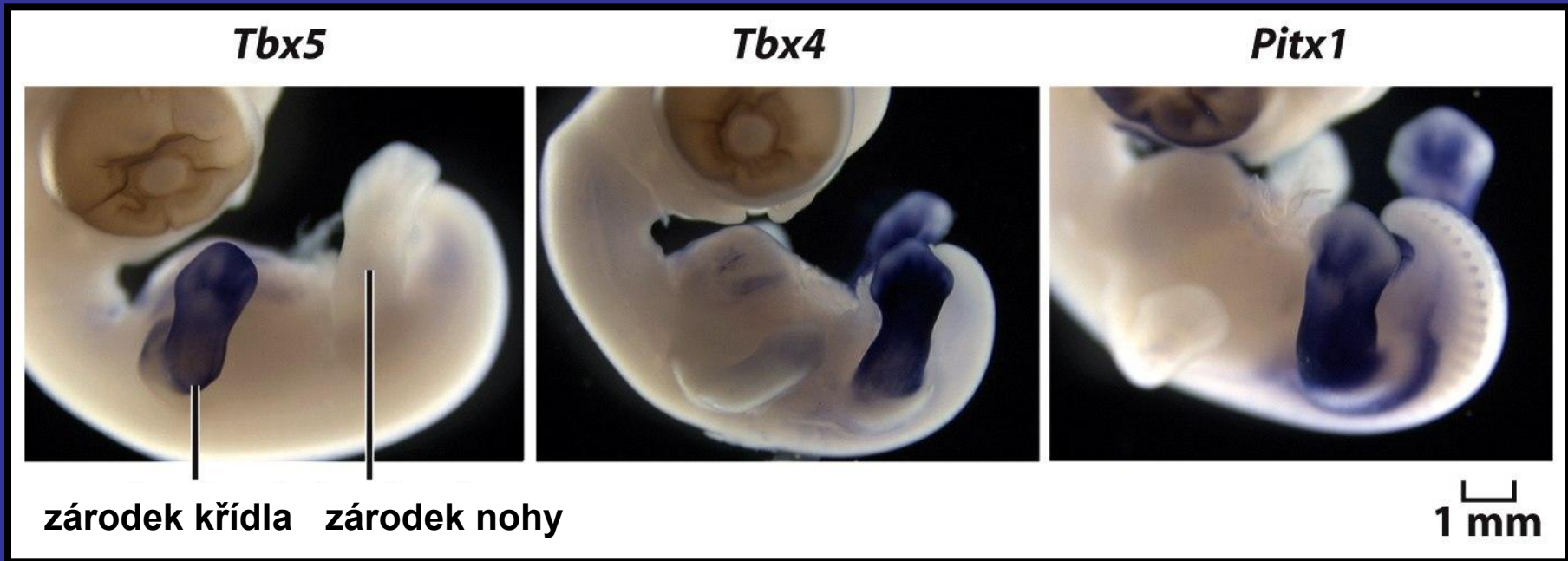


Může za to exprese
genů, respektive
regulační proteiny
a interferující
RNAi



Studium genové exprese

Genovou expresi lze sledovat hybridizací *in situ*



Příklad exprese genů Tbx5, Tbx4 a Pitx1 u kuřecího embrya

Buněčná vývojová dráha

- V každém stádiu vývoje má buňka omezený počet možností, kam se vyvíjet
- Ty možnosti záleží na stavu, jakého v daném okamžiku buňka dosáhla
- Buňka se tedy v klíčových krocích vývoje musí rozhodnout, kam se bude vyvíjet
- Toto rozhodování dělá buňka několikrát, podél vývojové diferenciacní dráhy tak vzniká řada různých buněčných typů

Co rozhoduje o tom, jakým směrem se buňka v daném kroku vydá?

Indukční signály

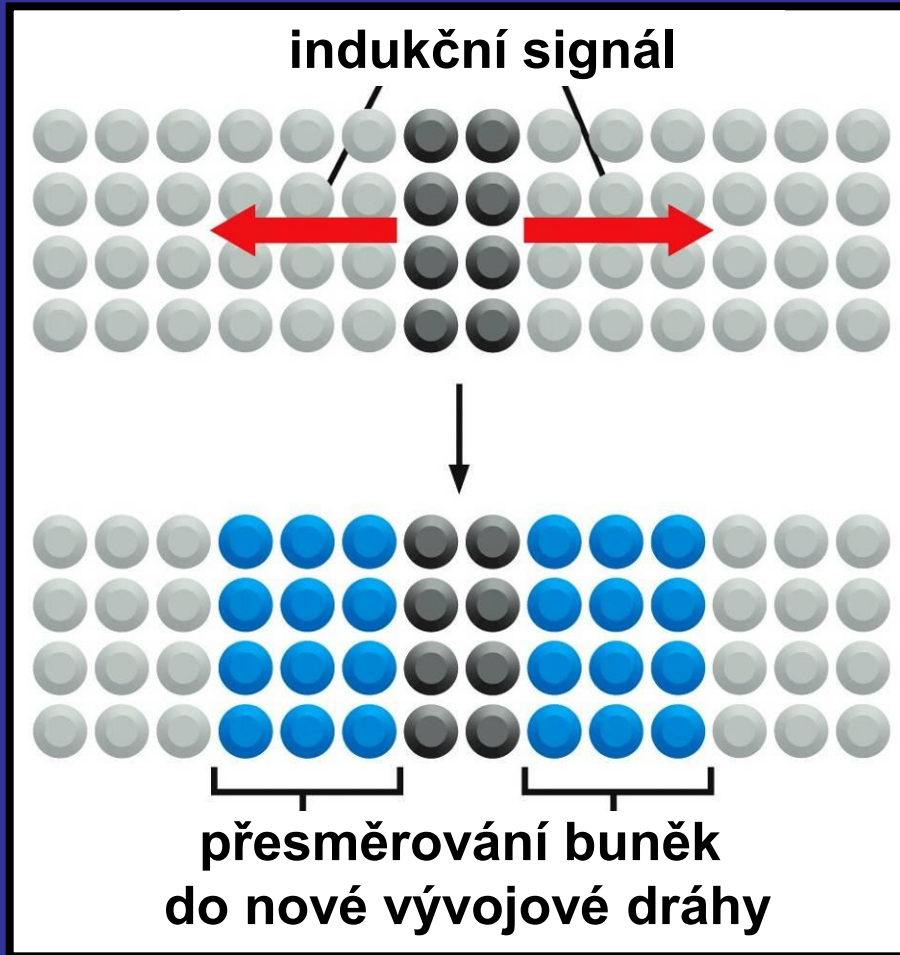
Rozhodují o směru buněčné diferenciaci

- signály z vnějšího prostředí
- signály ze sousedících buněk



Indukční interakce

Indukční signály

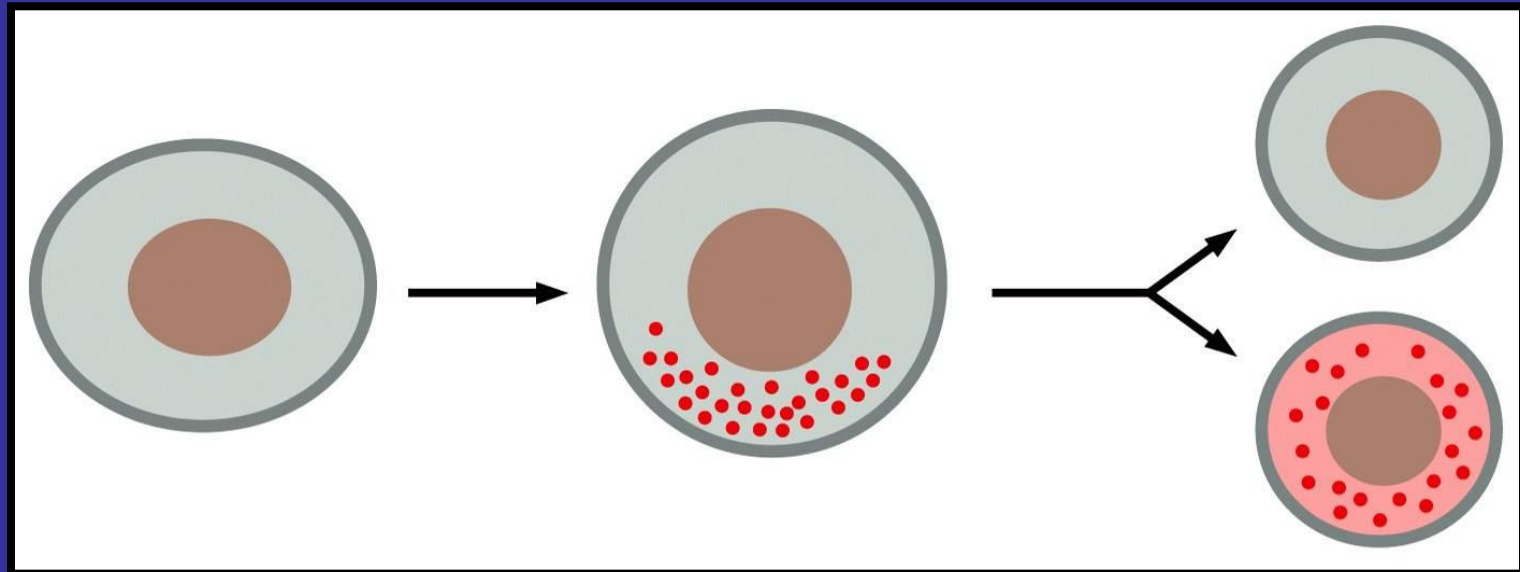


Působící na krátkou vzdálenost (přenášené mezibuněčnými kontakty)

Působící na dlouhou vzdálenost (přenášené molekulami, které prostupují extracelulární matrix)

Asymetrické dělení buňky

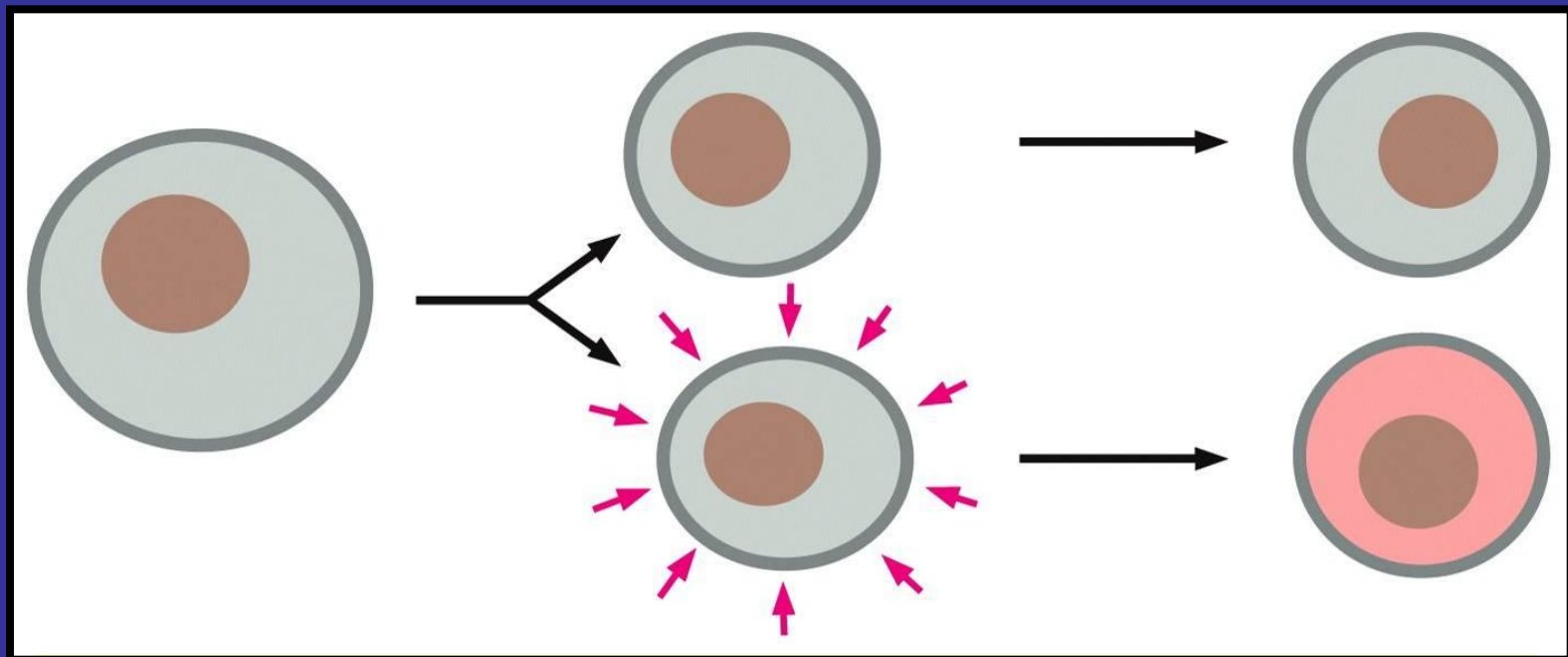
Další způsob buněčné diferenciace



- Sada významných molekul se během cytokineze rozdělí nerovnoměrně
- Rozdílný obsah těchto molekul pak svede dceřiné buňky na odlišné vývojové trajektorie

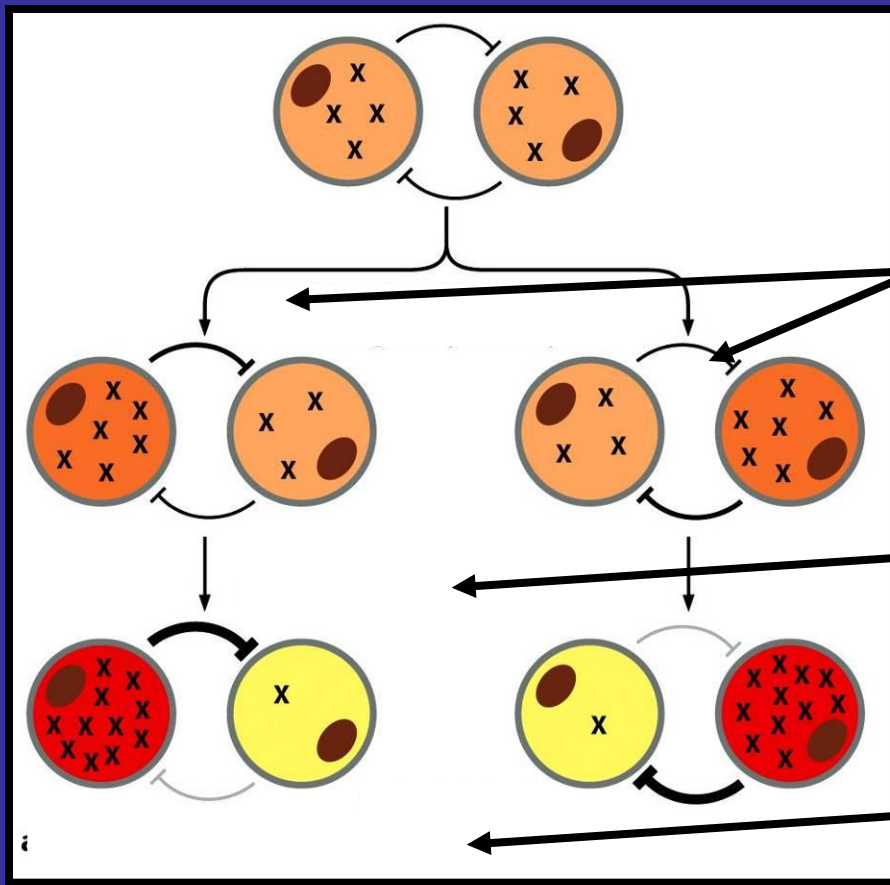
Symetrické dělení a diferenciaci

I po symetrickém dělení se mohou dceřiné buňky vyvíjet odlišně díky odlišným indukčním signálům



Zpětná vazba při diferenciaci

Využívá se, když je primární diferenciaci vyvolaná indukčními signály nebo asymetrickým dělením slabá



Látka X inhibuje produkci dalších molekul X v sousedních buňkách

Buněčné dělení - nahodilý rozdíl vyvolá malou asymetrii

Pozitivní zpětná vazba rozdíl zesiluje

Fáze tzv. bistability zajistí diferencovaný vývoj buněk

Signální dráhy v embryogenezi

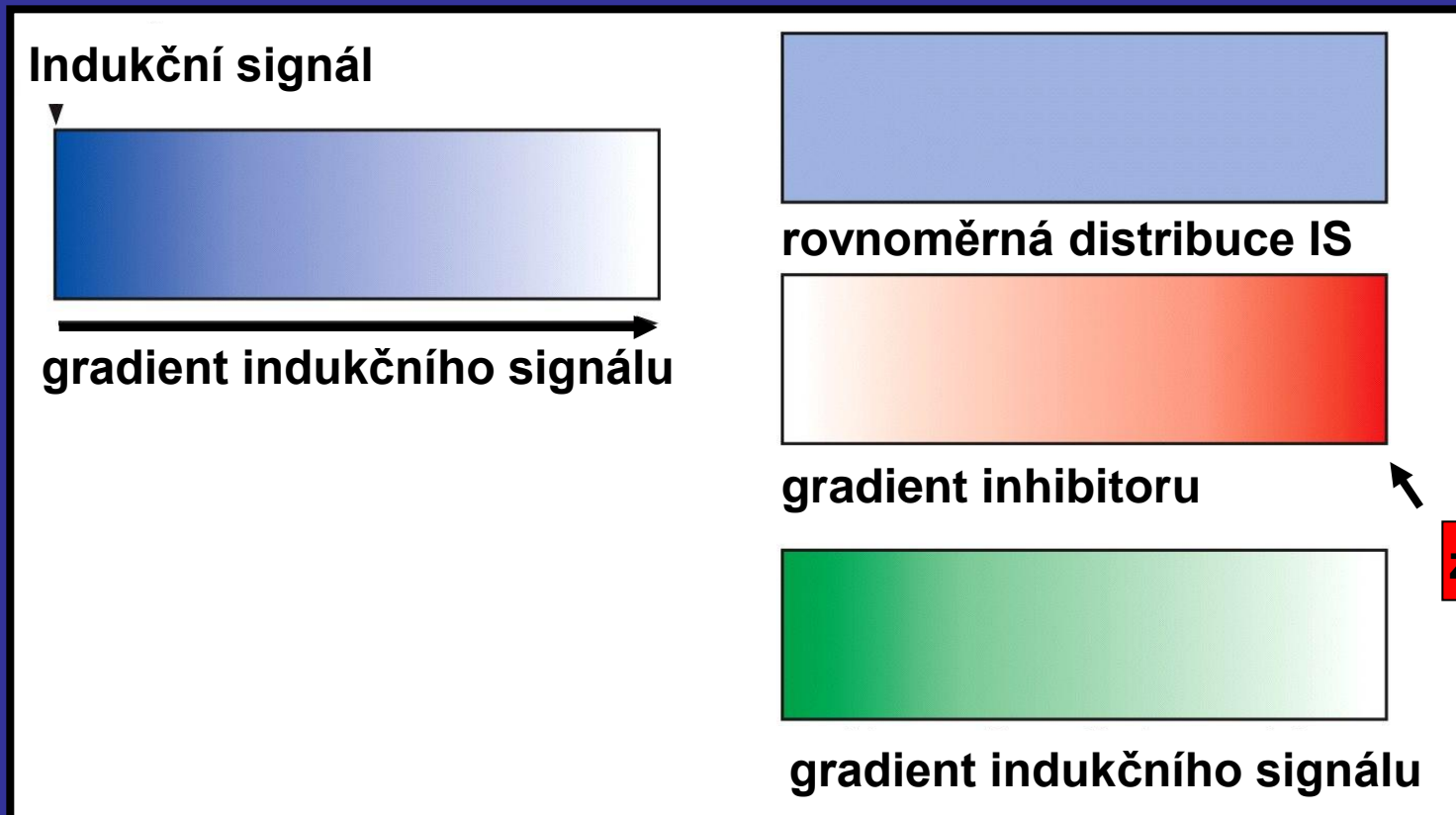
Relativně malý počet konzervativních rodin proteinů působí opakovaně v různých souvislostech

SIGNALING PATHWAY	LIGAND FAMILY	RECEPTOR FAMILY	EXTRACELLULAR INHIBITORS/MODULATORS
Receptor tyrosine kinase (RTK)	EGF	EGF receptors	Argos
	FGF (Branchless)	FGF receptors (Breathless)	
	Ephrins	Eph receptors	
TGF β superfamily	TGF β	TGF β receptors	chordin (Sog), noggin
	BMP (Dpp)	BMP receptors	
	Nodal		
	Wnt	Wnt (Wingless)	
Hedgehog	Hedgehog	Patched, Smoothened	Dickkopf, Cerberus
Notch	Delta	Notch	Fringe

- Regulují genovou expresi na úrovni transkripce
- Různé typy buněk reagují na stejný signál různě
- Stejně buňky na různý signál reagují různě v různých časech

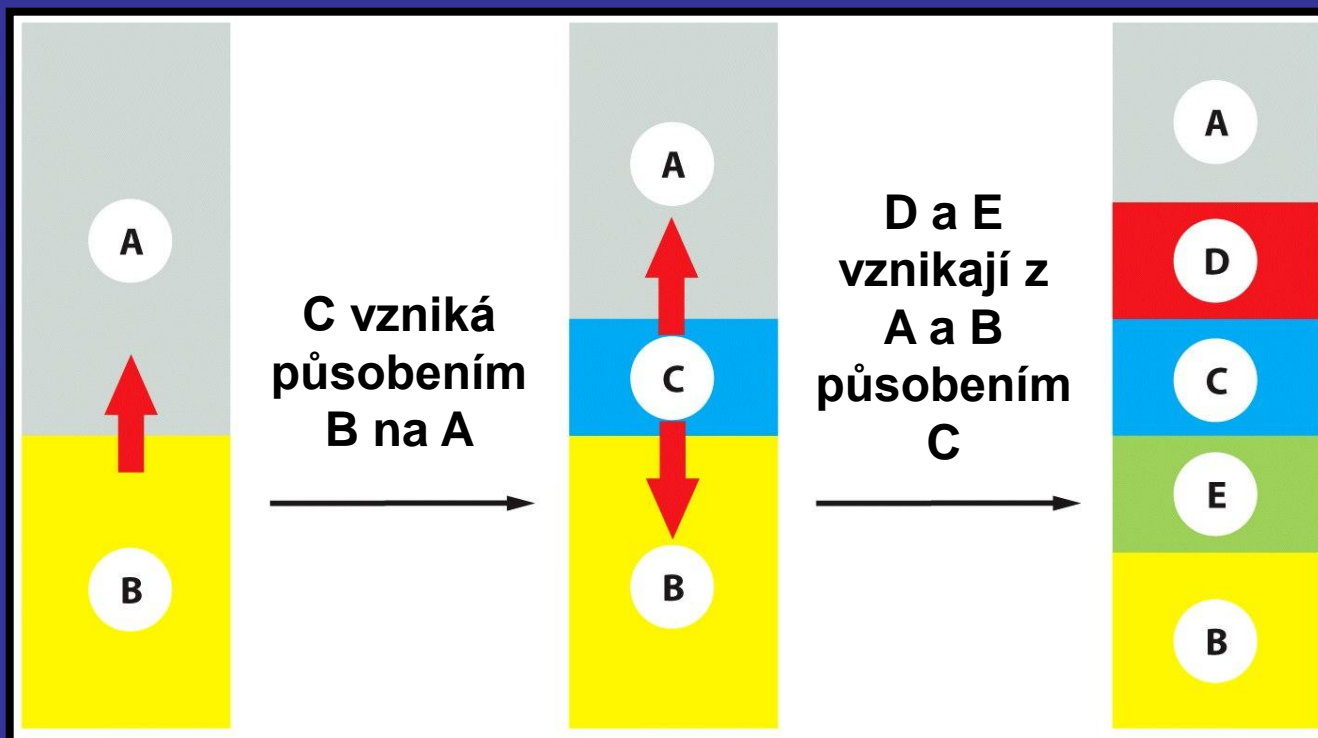
Funkce inhibitorů indukčních signálů

Velké množství vývojových procesů je regulováno inhibitory a nikoli primárně signálními molekulami

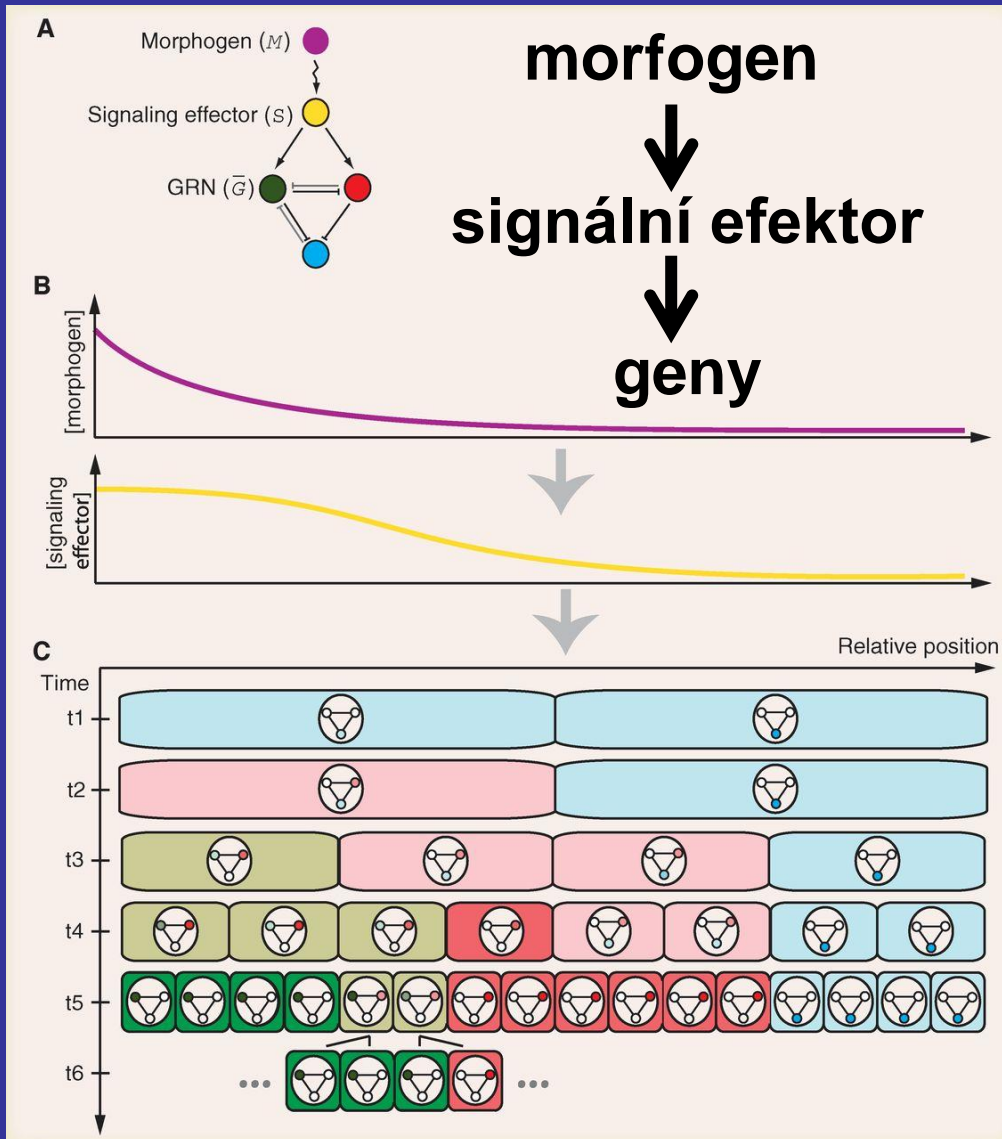


Sekvenční indukce

- Vývoj organismu začíná z malého počtu buněk
- Jakmile se vytvoří dvě skupiny různých buněk, může jedna z nich spustit specializaci buněk sousedních
- Tyto buňky spustí diferenciaci dalších buněk, atd.

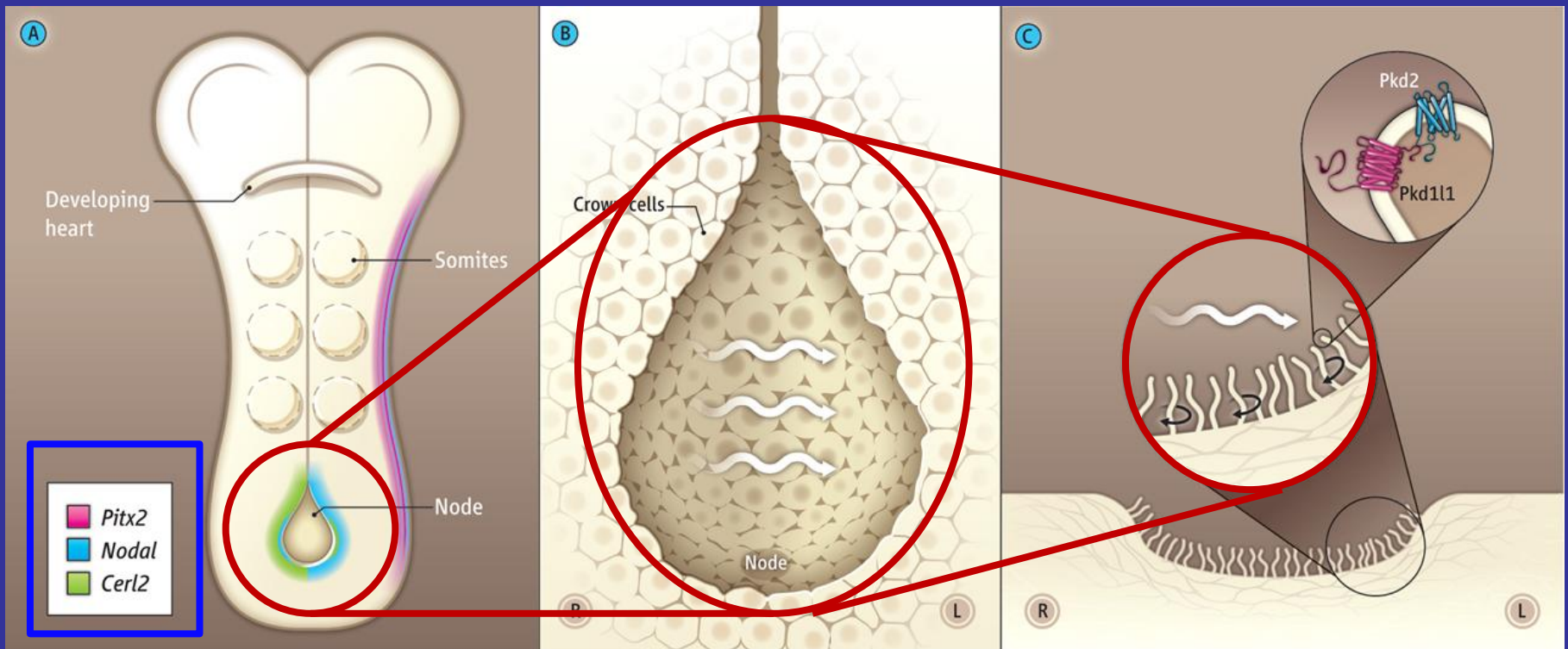


Prostorový efekt indukčního signálu



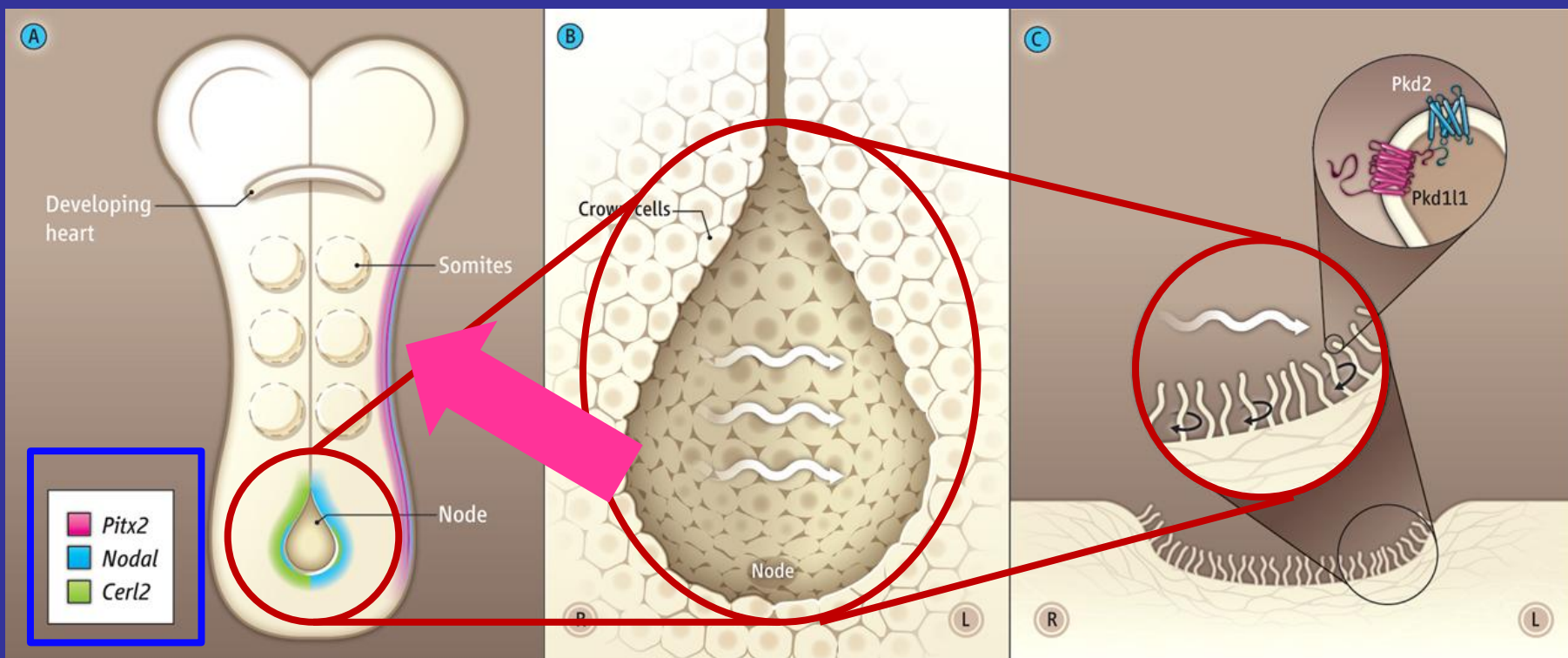
- **Morfogen** spouští **signální dráhu**
- Signální dráha spouští transkripci příslušných genů
- Procesy jsou časově posunuty
- Efekt morfogenu se zpožďuje s rostoucí vzdáleností od jeho zdroje
- To vede k diferenciaci (obr. C)

Vytvoření pravolevé orientace



- Nodus obsahuje řasinkové buňky, které vytvářejí proudění (zleva doprava) mezibuněčné tekutiny
- Gradient substancí spouští asymetrickou expresi genů na periferii nodu (Nodal x Cerl2)

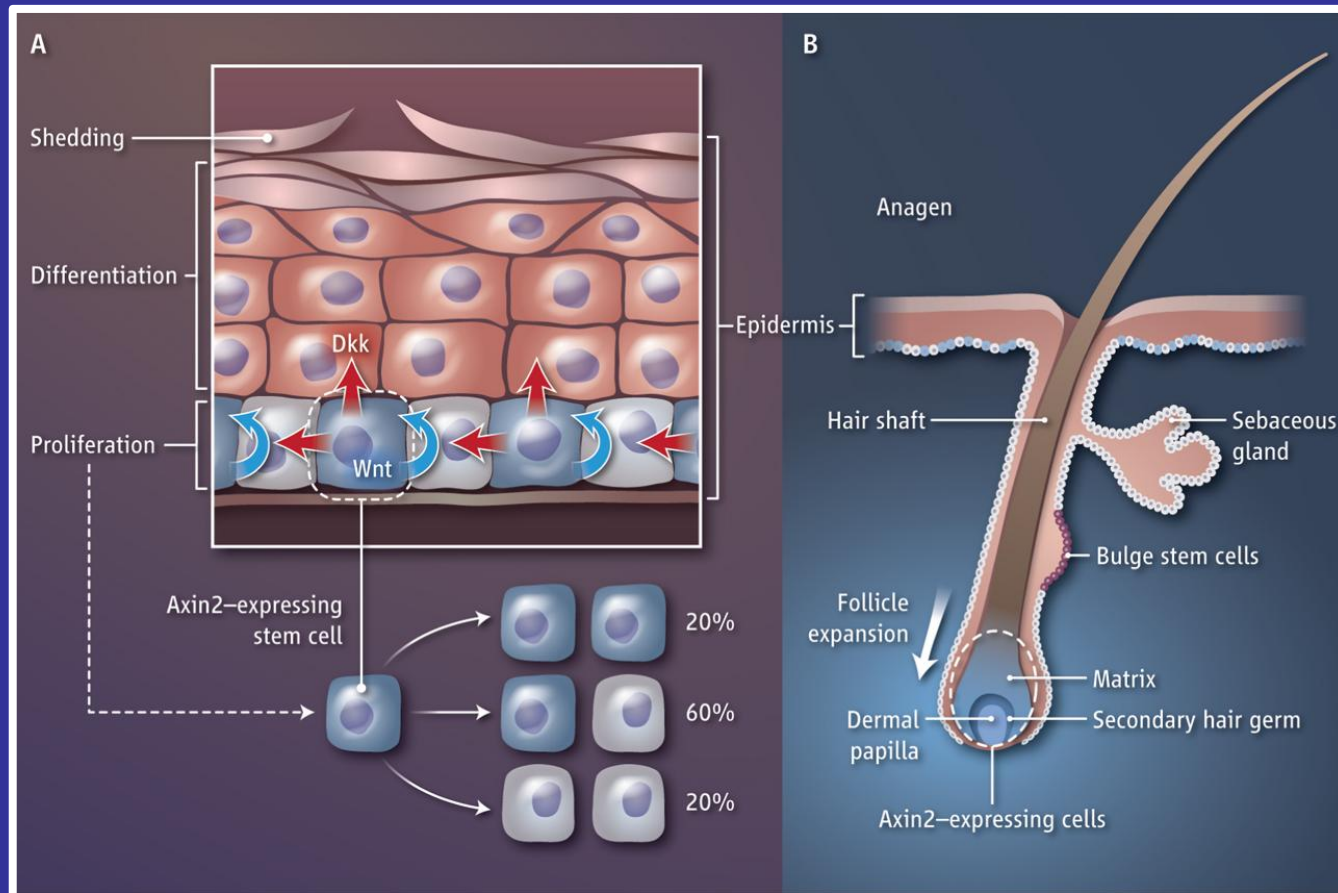
Vytvoření pravolevé orientace



- Nodal reguluje gen Pitx2 – kóduje transkripční faktor, který řídí tvorbu orgánů

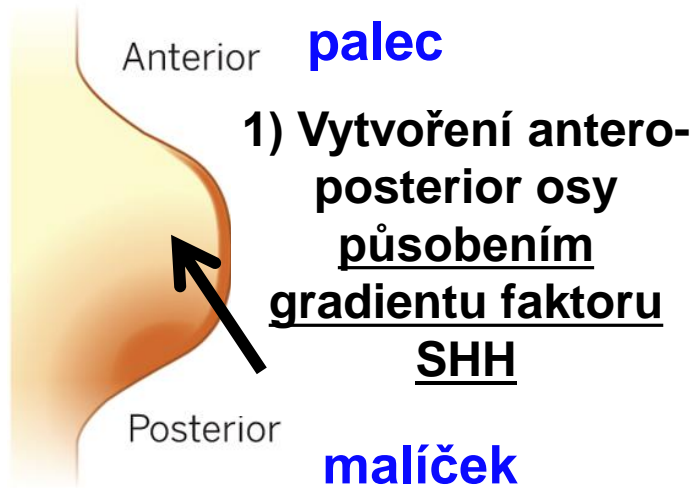
Signalizace při vývoji epidermis

- 1) Proliferace bazální vrstvy buněk zajištěna autokrinní signalizací přes Wnt
- 2) Diferenciace zajištěna inhibicí Wnt proteinem Dkk

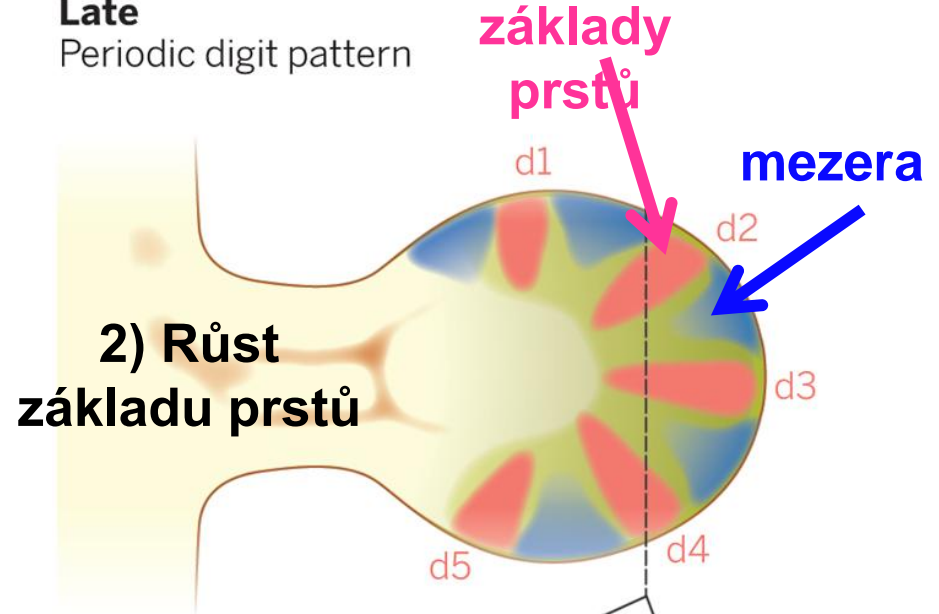


Vývoj prstů na ruce

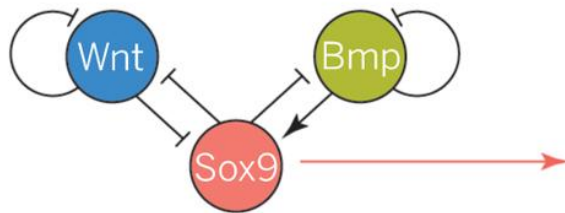
Early
Limb bud axis specification



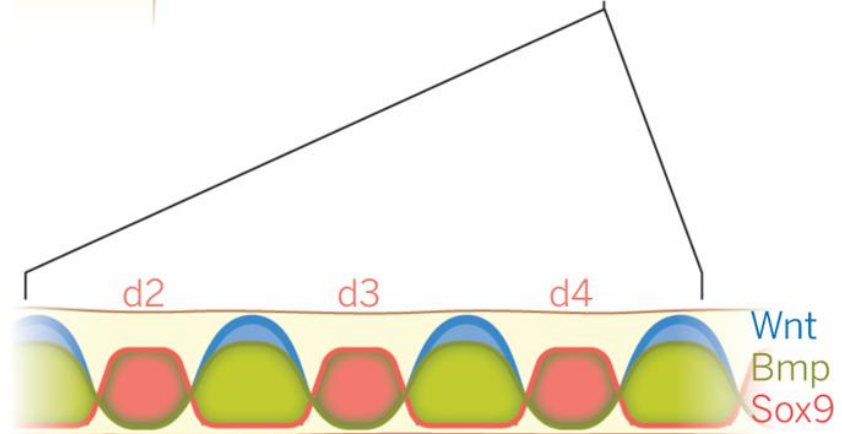
Late
Periodic digit pattern



3) Interakce tří faktorů



Transkripční faktor



Homeotické geny

Složité nebo jednoduché?

- S postupem vývoje se tělo stává složitějším a složitějším
- Složitého stavu lze však dosáhnout jednoduchými mechanismy = jednoduchými vývojovými mechanismy

U všech druhů na všech úrovních organizace sledáváme, že složité struktury vznikají opakováním několika základních vývojových schémat



Jednoduché principy, složitý výsledek

Existuje relativně omezený počet diferencovaných buněk s drobnými variacemi podle umístění v těle (svalová buňka, fibroblast, ...)



Tyto buňky jsou organizovány do omezeného počtu typů tkání s variacemi podle umístění (svaly, šlachy, ...)



Tyto tkáně tvoří orgány – stejná struktura, různé varianty (zuby, prsty)

**Jaký je základní konstrukční
mechanismus našich těl?**

**Jakým způsobem je tento
modifikován, aby vzniklo
tolik různých variant?**



Homeotické geny

Mutované formy těchto genů mění tělní strukturu podle pozice, kde se nacházejí

- Mutant *Antennapendia* = namísto tykadel se na hlavě tvoří končetiny
- *Bithorax* = má druhý pár křídel namísto halter



Celá sada homeotických genů determinuje segmentární strukturu hmyzích těl

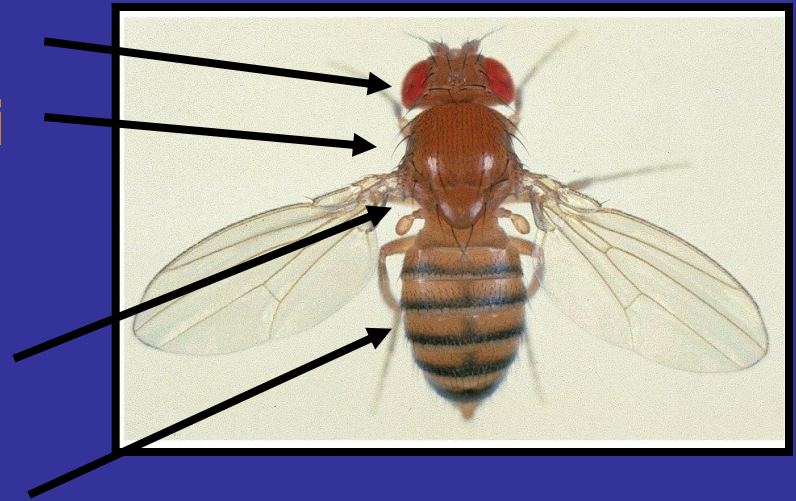
Komplexy Bithorax a Antennapendia

U hmyzu existuje 8 sad homeotických genů

- Všechny jsou příbuzné a patří do multigenové rodiny
- Leží ve dvou genových clusterech – Bithorax a Antennapendia komplex

Geny komplexu Antennapendia kontrolují rozdíly mezi hrudními a hlavovými segmenty

Geny komplexu Bithorax kontrolují rozdíly mezi abdominálními a hrudními segmenty



Hox komplex

Komplexy Bithorax a Antennapendia se vyskytují u všech vyšších mnohobuněčných organismů, včetně člověka

- Jsou to dvě poloviny jediné entity, označované jako Hox komplex
- Oddělily se v průběhu evoluce
- Pracují koordinovaným způsobem a uplatňují se při vytváření základního tělního plánu od hlavy až po ocasní struktury

Produkty homeotických genů

Homeotické geny kódují transkripční faktory

- Mají 60 aminokyselin dlouhou konzervativní DNA vazebnou doménu
- Tato doména se váže na DNA sekvenci označovanou homeobox

Vazbou DNA vazebné domény na homeobox „strukturního“ genu se aktivují další regulátory, které byly přítomny v buňce již z předchozích fází ontogeneze a dojde buď k AKTIVACI nebo REPRESI tohoto genu

Molekulární děje v každém tělním segmentu jsou tak individualizovány

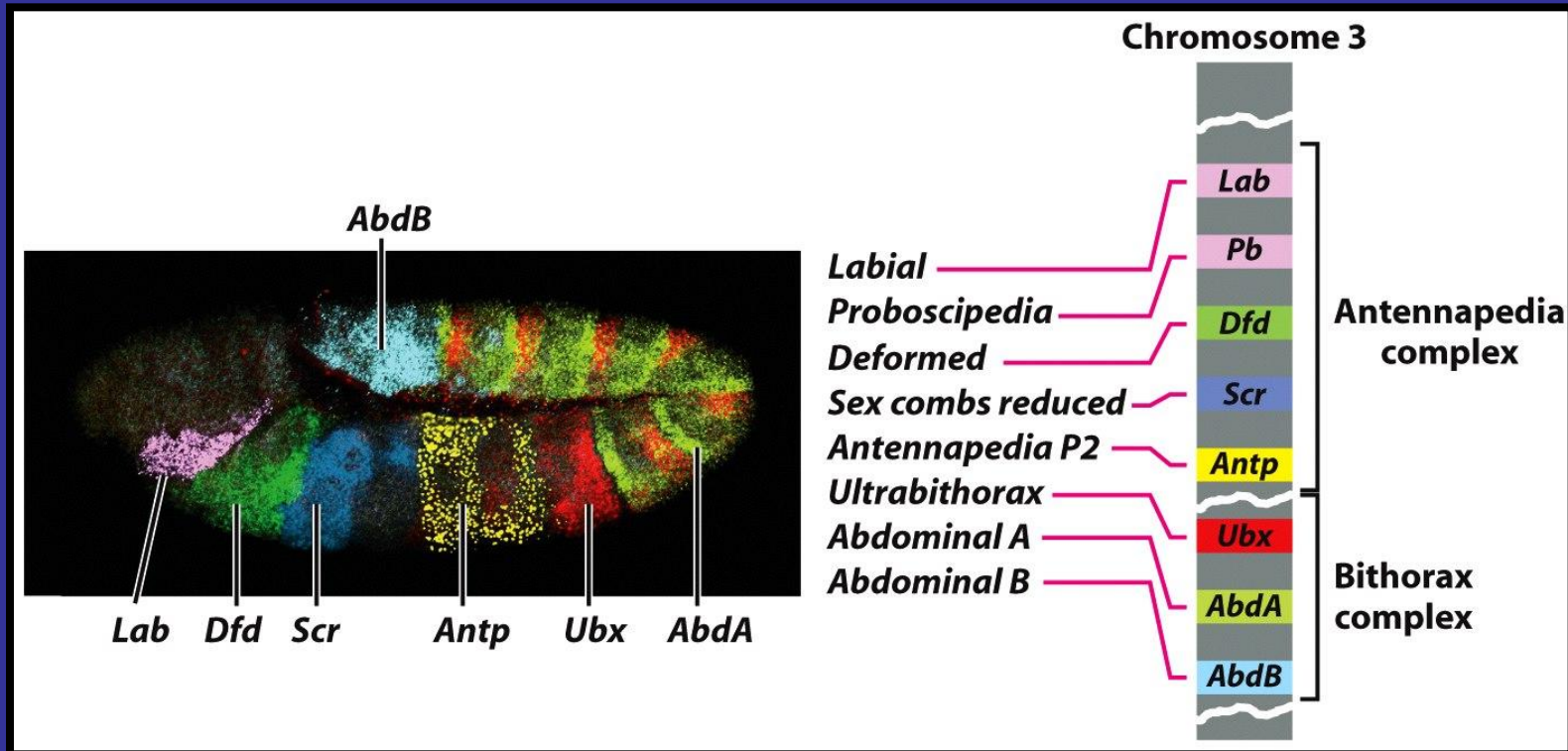
Regulace homeotických genů

I exprese homeotických genů je regulována

- Homeotické geny jsou rozptýleny mezi segmenty regulačních sekvencí, které interagují s řadou vnitrobuněčných signálů, jež spouštějí nebo umlčují transkripci příslušných homeotických genů

Transkripce homeotických genů je aktivována sekvenčně s ohledem na jejich pozici v genovém clusteru

Uspořádání clusteru homeogenů



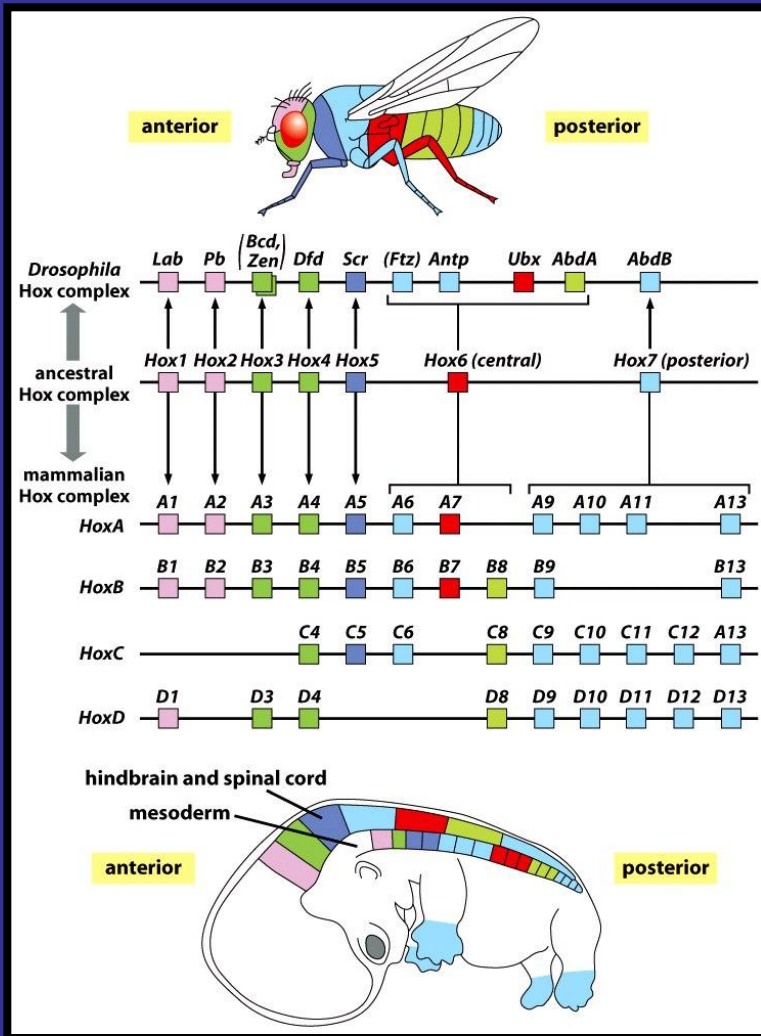
**Existují stovky dalších genů
s homeoboxy, ale jejich
uspořádání je jiné než u Hox
komplexu**

**Tyto geny modulují aktivitu
Hox komplexu**



Homeotické geny obratlovců

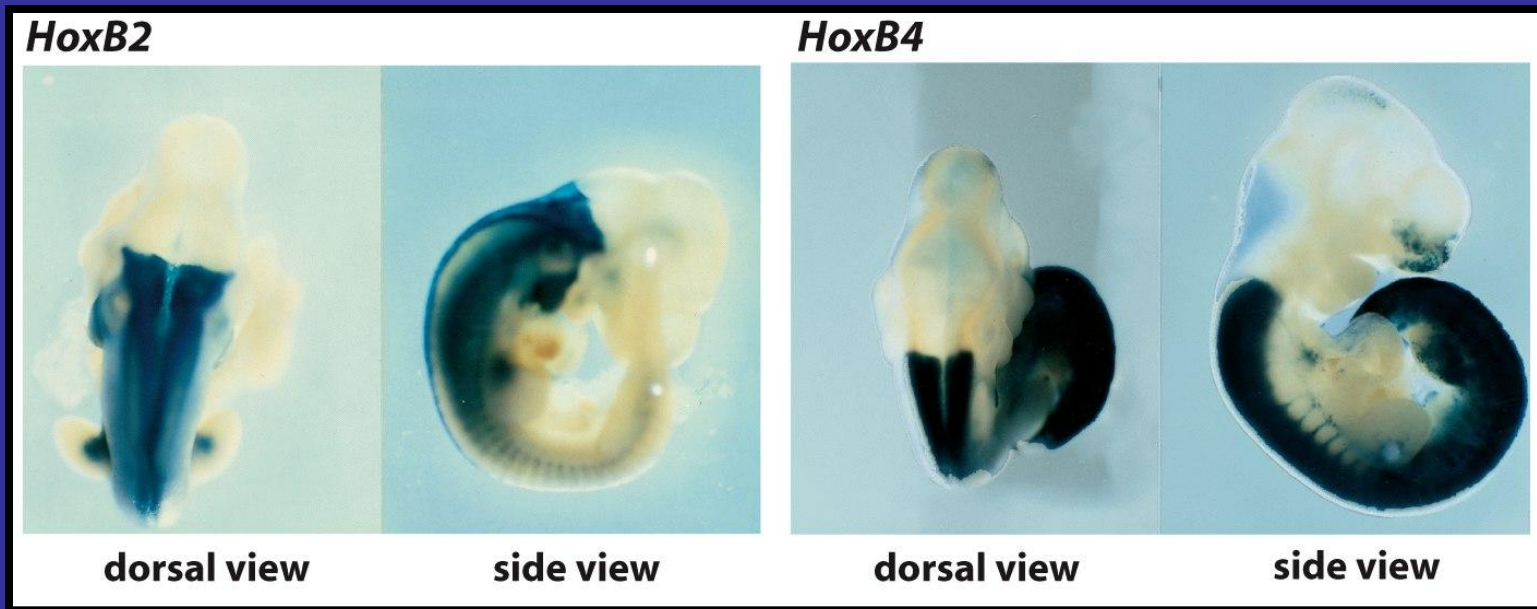
U myši 4 komplexy – HoxA, HoxB, HoxC, HoxD



- Leží na 4 různých chromozómech
- Vznikly opakovanými duplikacemi u společného předka červů, hmyzu a obratlovců
- Některé geny se dále duplikovaly, jiné se ztratily nebo přijaly jinou funkci

I homeotické geny obratlovců ...

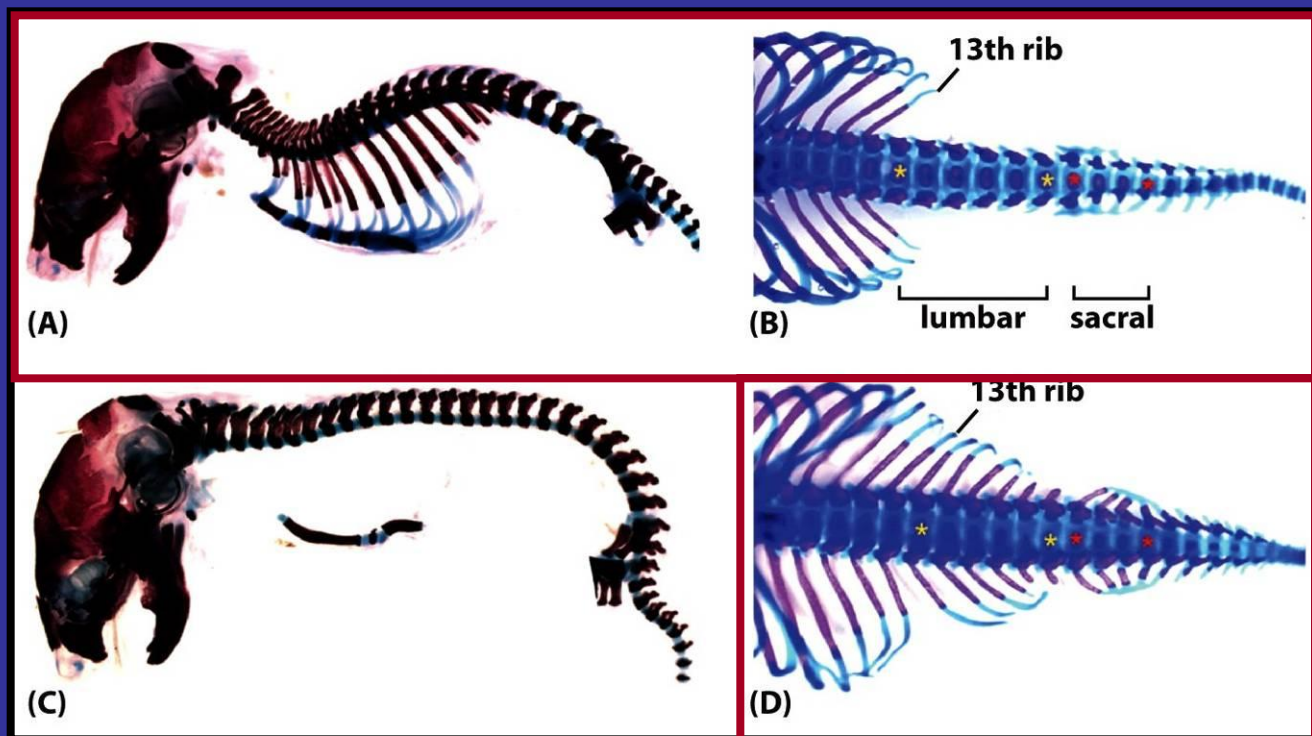
... jsou exprimovány podél základní tělní osy – od hlavy k ocasu



- Embryo označeno reportérovým genem lacZ
- HoxB2 je chromozómu umístěn dříve než HoxB4, exprimuje se proto více směrem k hlavě

Poruchy v expresi homeogenů

- Normálně se vyvíjející embryo (končetiny neukázány)
- Zvýšená exprese HoxA10 vede k vývoji žebér v místech, kde se už normálně netvoří



Využití

- **Totipotence u rostlin**
- **Transplantace živočišných jader**
- **Kmenové buňky**

Totipotence u rostlin

Totipotence u rostlin

U rostlin více než u živočichů je totipotence jistá záležitost

- Z každé živé rostlinné buňky lze získat celou rostlinu
- Využití jediné somatické buňky k přípravě jednoho nebo více geneticky shodných organismů se nazývá?

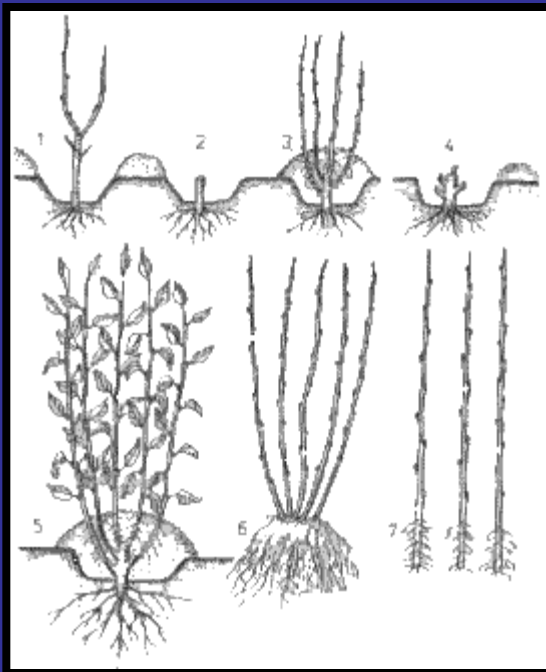
KLONOVÁNÍ

- tímto způsobem vzniklý jedinec se nazývá KLON

Setkali jste se s klonováním u rostlin?

Vegetativní rozmnožování rostlin

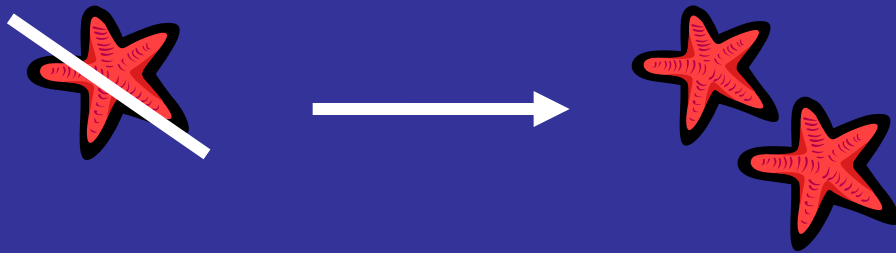
- řízkování
- odkopky



Transplantace živočišných jader

První vědecké pokusy o klonování

regenerace žížal, mořských hvězdic

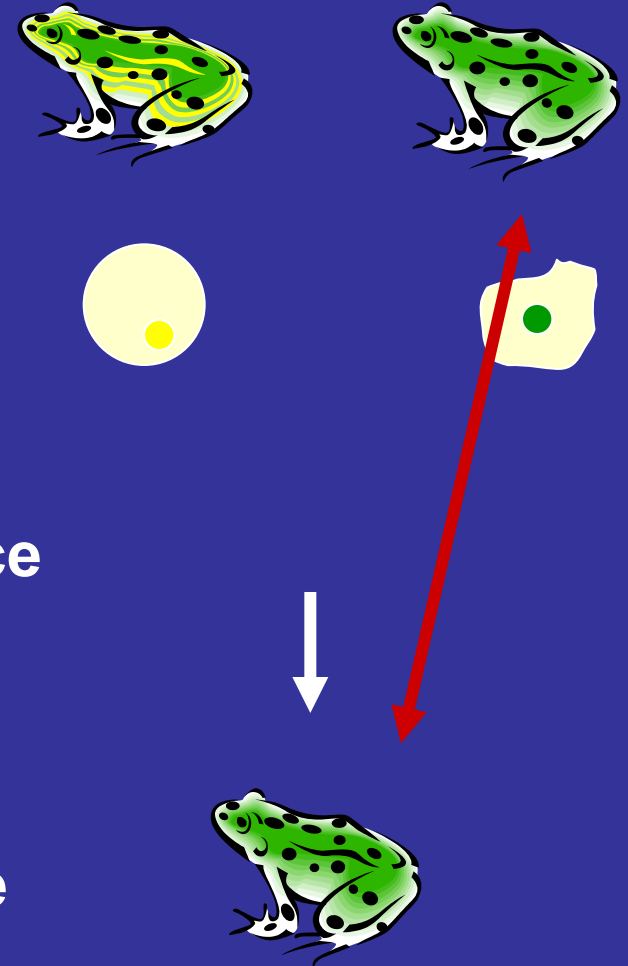


1952 – Briggs a King

- přenos jader mezi vajíčky žab
- dárce buňky časného embrya
- klony dorostly jen do stádia pulce

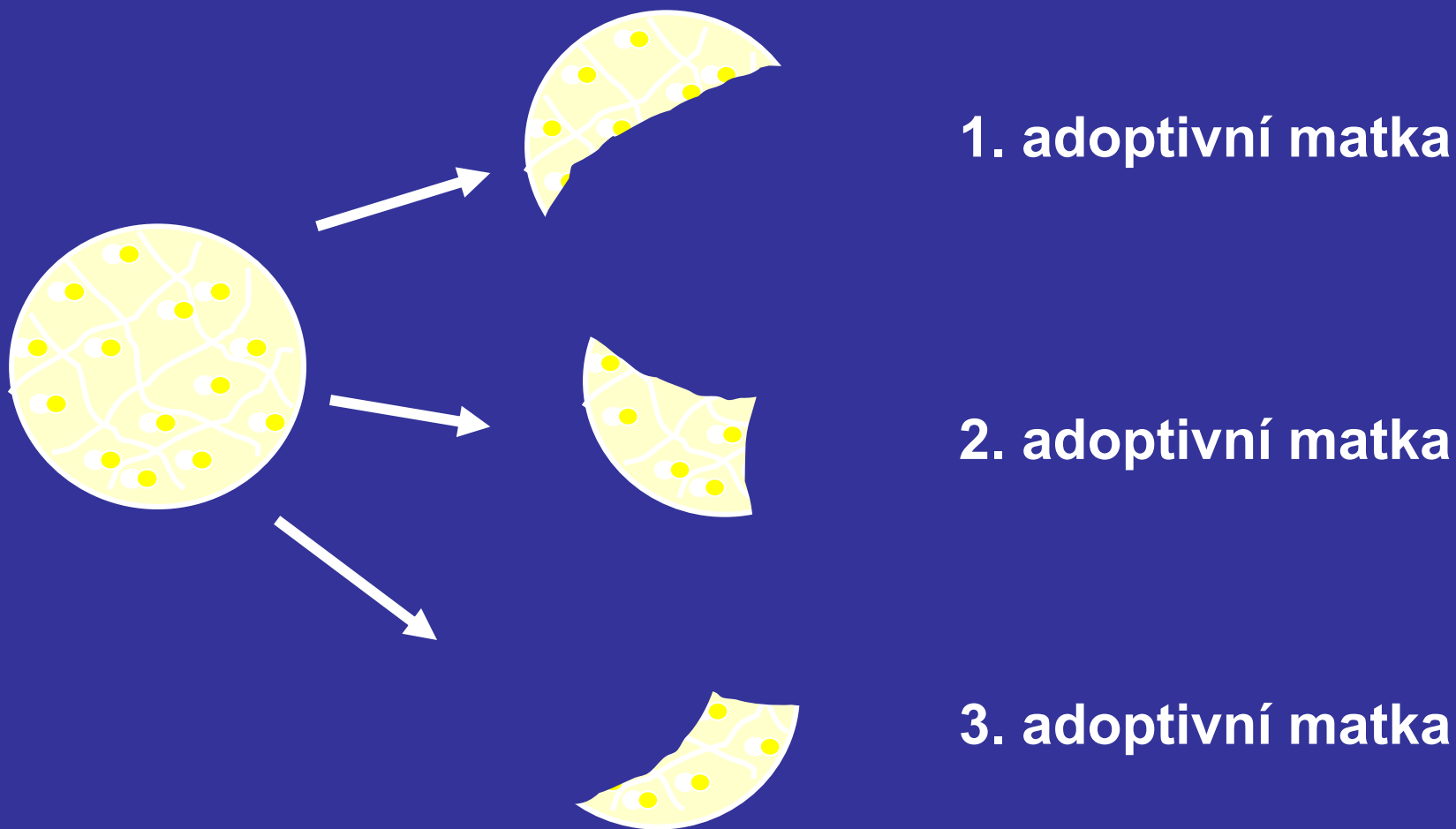
60. a 70. léta 20. století – Gurdon
= Nobelova cena 2012!

- dárce buňky z vnitřností pulce
- vypěstoval dospělé žáby



80. léta – rozdělení embrya

Umělá příprava dvojčat, trojčat, ...

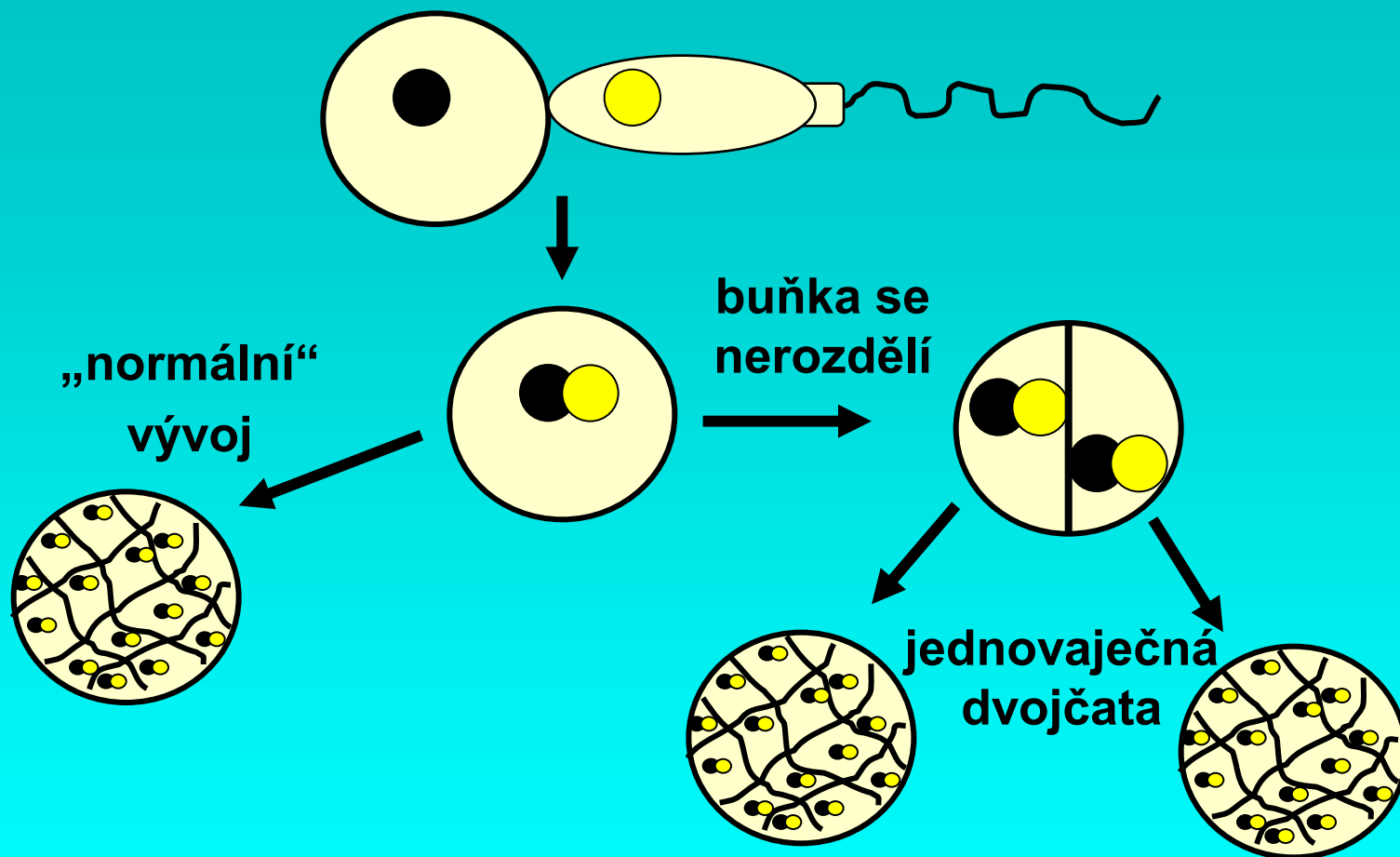


**Existují přirozené
klony?**

**Klonování není nic
nepřirozeného**

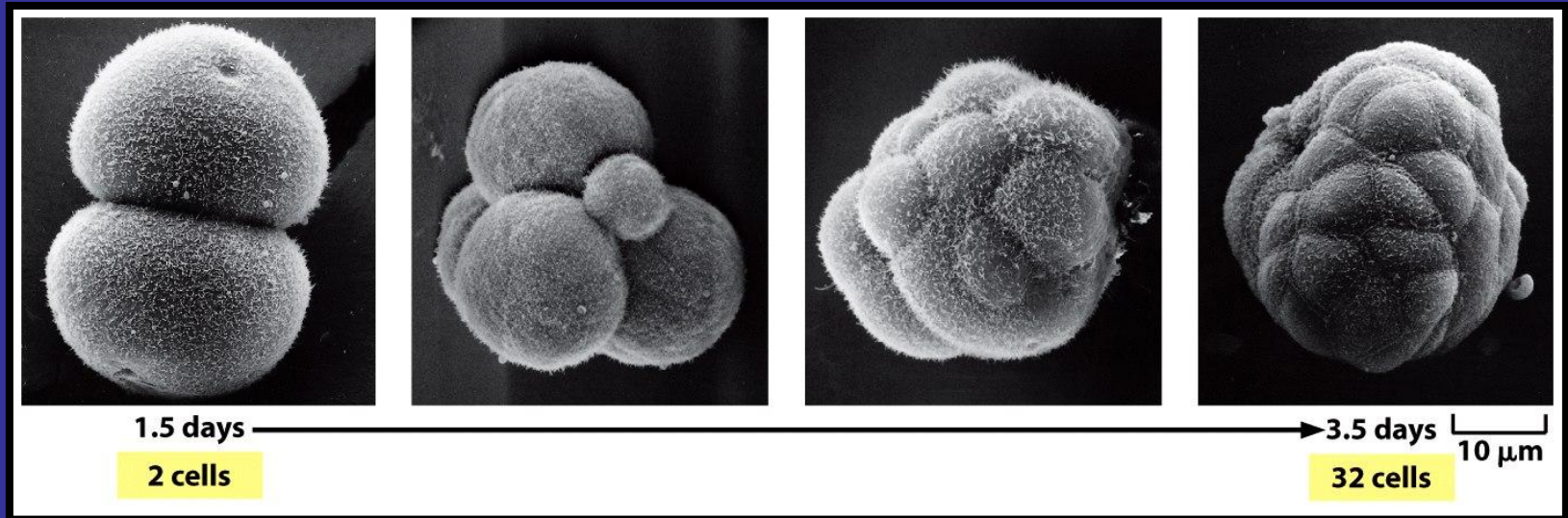


Naklonován byl už i člověk !



Jednovaječná dvojčata jsou klon !

Do kdy je možné bezpečně rozdělit embryo?



❖ Ve stádiu osmi buněk se začíná exprimovat **E-kadherin**



Jaký je maximální počet přirozených klonů u savce?



U pásovce devítipásého - jednovaječná osmerčata

90. léta

- metody rozdělení embrya i transplantace jader využívány ke klonování **myší, krav, prasat, králíků a ovcí**
- další pokusy byly neúspěšné, u vyšších obratlovců se jedinci nedožili dospělosti

PROBLÉM SPECIALIZACE SAVČÍCH BUNĚK?

Ovečka Dolly

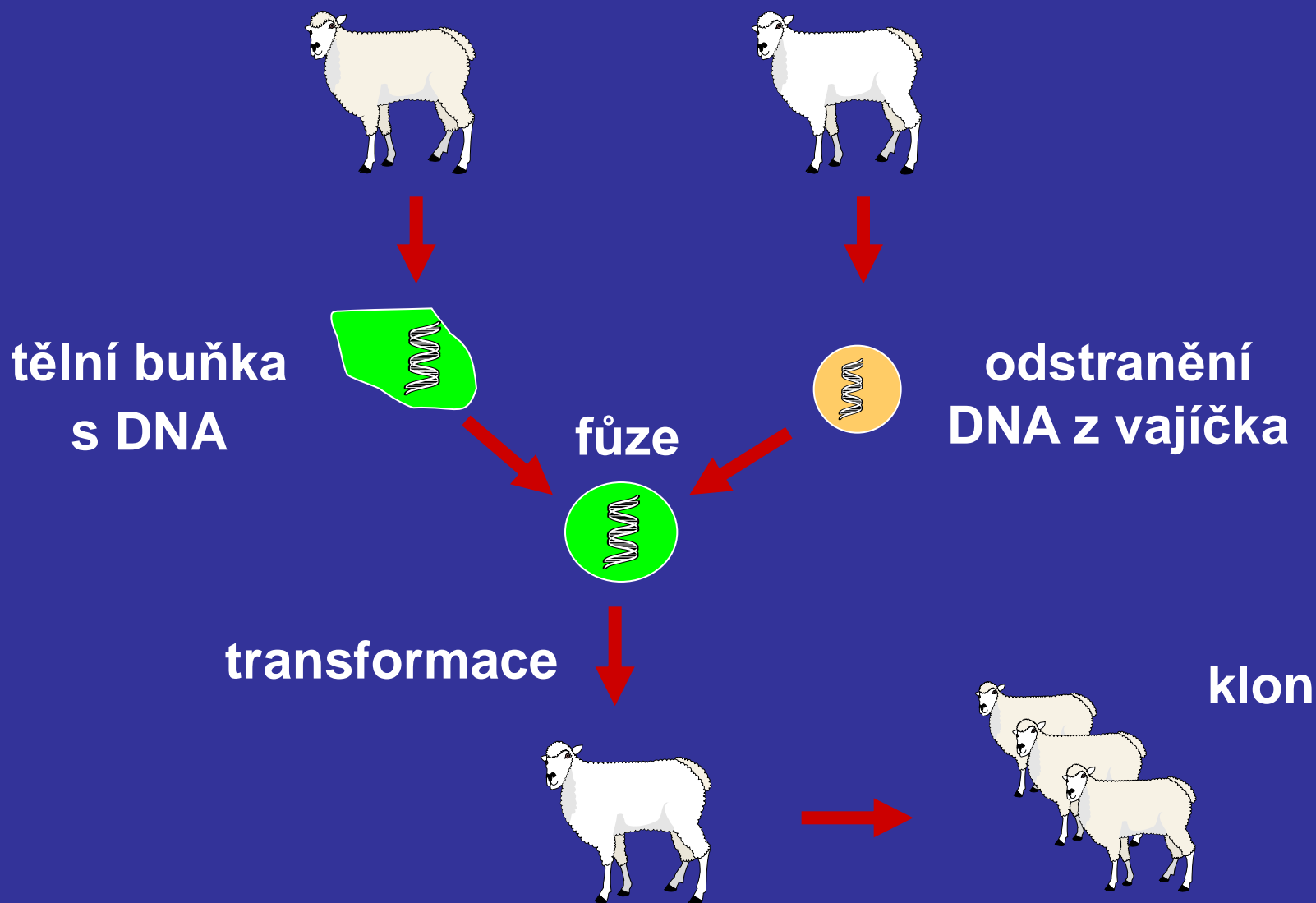
1996, Ian Wilmut, Roslin Institute,
Edinburg, Skotsko



- buňky z mléčné žlázy dospělé ovce
- přenos do enukleovaného vajíčka
- elektrické pulsy
- 300 neúspěšných pokusů

Je možné reprogramovat jádro živočišné buňky

Jak vznikla ovečka Dolly?



Co následovalo?

- 1997 naklonovaná kráva
- 1997 ovce s lidským genem – srážecí faktor IX
- 1998 telata s lidským sérovým albuminem
- **transgenní** myši, pes, opice
- **2007 – Ústav živočišné fyziologie a genetiky AV ČR, Liběchov u Prahy – objev funkce jadérka**

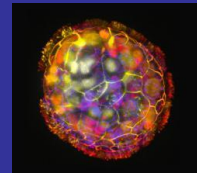


Nastala éra geneticky modifikovaných organismů

A kde se nacházíme nyní?

**Snažíme se aplikovat
poznatky na zlepšení
lidského zdraví**

A nejen to!



Kmenové buňky

Vlastnosti kmenových buněk

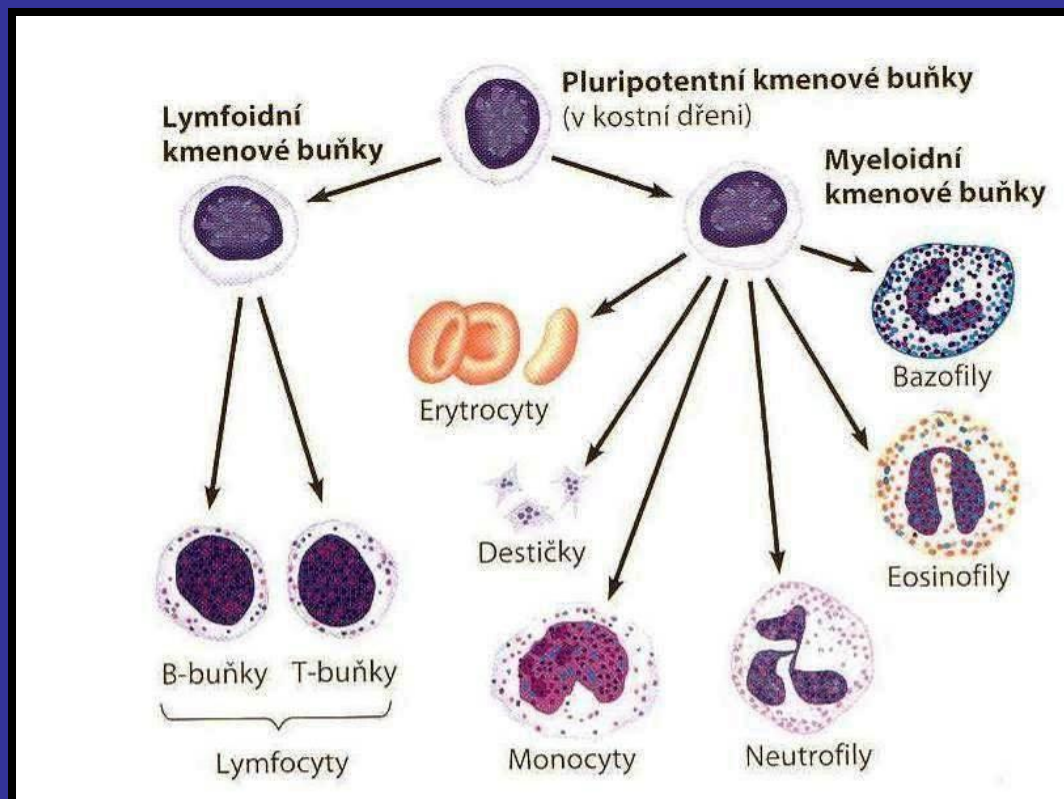
Jsou nespecializované

- samy se „bez omezení“ množí
- za odpovídajících podmínek diferencují do specializovaných buněk jednoho nebo více typů

Kmenové buňky, které mohou dát vznik mnoha buněčným typům se říká multipotentní nebo pluripotentní

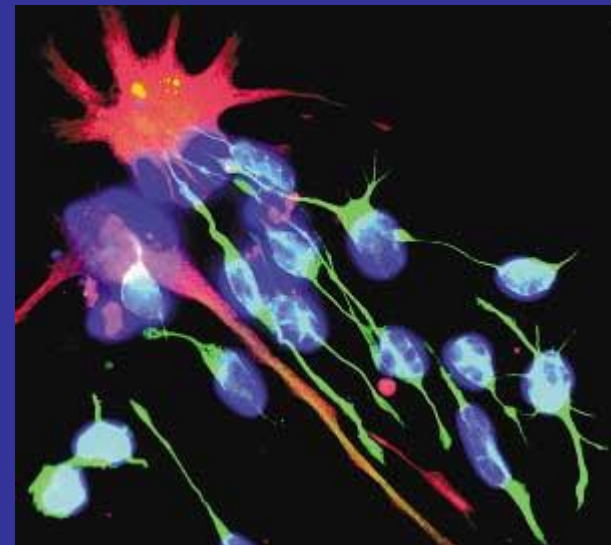
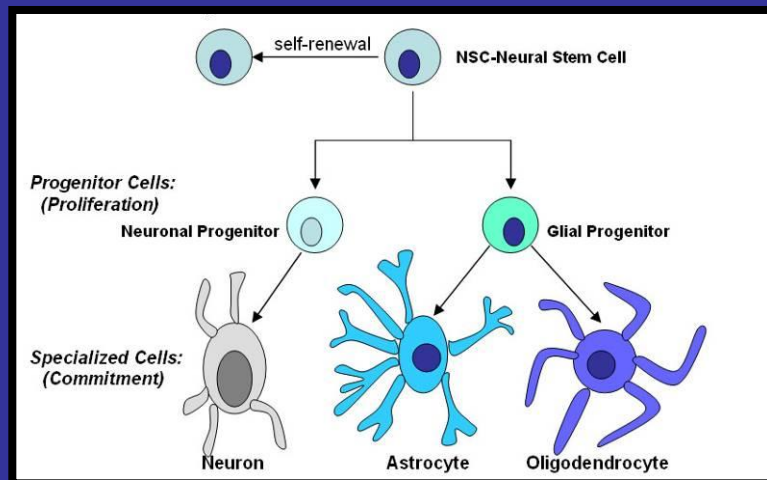
Dospělé tělo má rozmanité druhy kmenových buněk

- **Kmenové buňky kostní dřeně – diferencují do všech stádií a typů krevních buněk**



Kmenové buňky v dospělém mozku

- Mohou být aktivovány a využity k produkci určitého druhu nervových buněk
- Popsány v roce 1997



Odkazy na vědecké články

<http://www.sciencedaily.com/releases/2008/06/080606110925.htm>

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9487008>

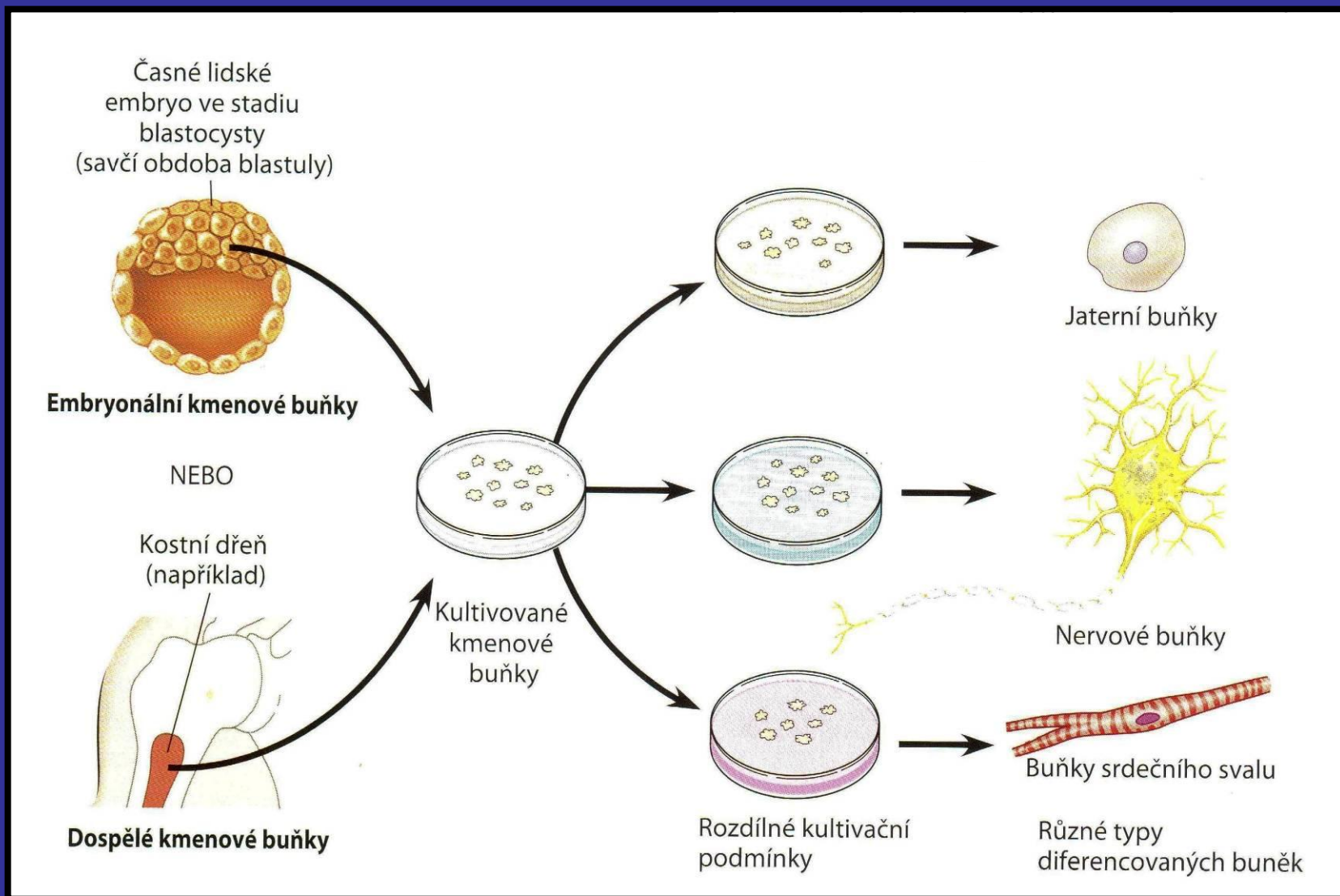
Embryonální kmenové buňky

Takové buňky jsou „nesmrtelné“

- užívají telomerázu k udržování konců telomér
- jsou diferencovatelné do kteréhokoli typu buňky
- Oprava poškozených nebo nemocných orgánů
- Např. poskytnutí pankreatických buněk produkujících inzulin diabetikům
- Transplantace mozkových buněk lidem s Parkinsonovou nebo Huntingtonovou chorobou

!!! ETIKA a POLITIKA !!!

Práce s kmenovými buňkami



Shrnutí přednášky

1. Univerzální mechanismy vývoje organismů
2. Základní procesy tvorby embrya
3. Řízení ontogenetického vývoje
4. Jak se studují vývojové procesy
5. Indukční signály
6. Homeotické geny
7. Využití vývojových procesů