

# **Evoluce kostry**

## **Prenatální ontogeneze**



**Doc. Václav Vančata**

*Antropologický ústav PřF MU*

# Ontogeneze člověka

- Proces kvalitativního i kvantitativního vývoje organismu v čase, který zahrnuje jak změny biologické (vývoj orgánů i organismu jako celků), tak změny psychické.
- Proces kvalitativních změn je obvykle označován jako vývoj,
- Proces kvantitativních změn jako růst.
- Oba procesy jsou velmi úzce spojeny a nelze je chápat odděleně. V určitých částech ontogeneze výrazně převládají kvalitativní změny, v jiných změny kvantitativní.
- Ontogenezi dělíme na prenatální, perinatální a postnatální
- Prenatální ontogeneze se rozlišuje na germinální (germinační), embryonální a fetální.
- Perinatální – předporodní fáze, vlastní porod a novorozenecká
- Postnatální je pak vývojová (růstová), dospělá a stárnutí

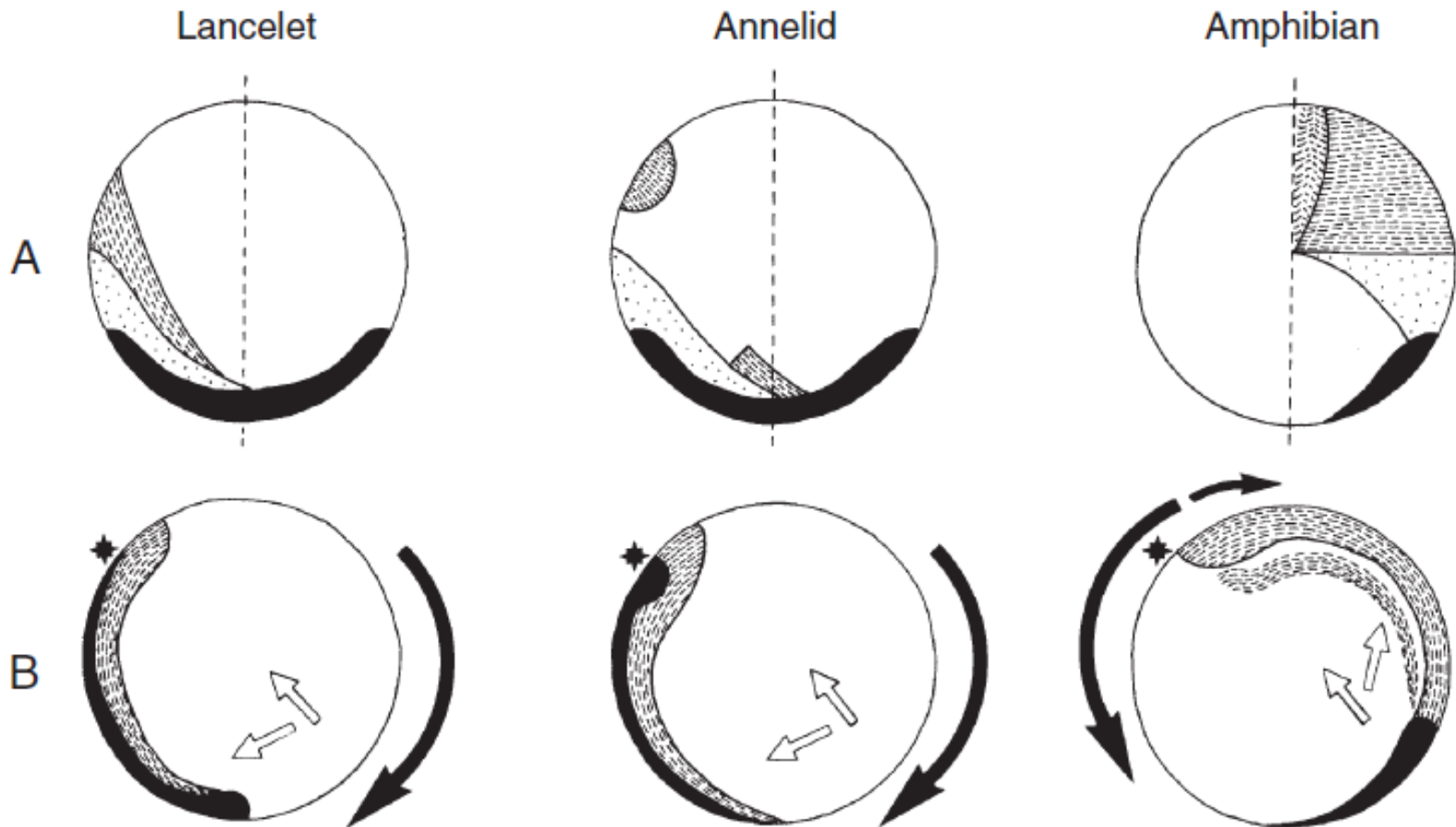
# Kostra lidského plodu



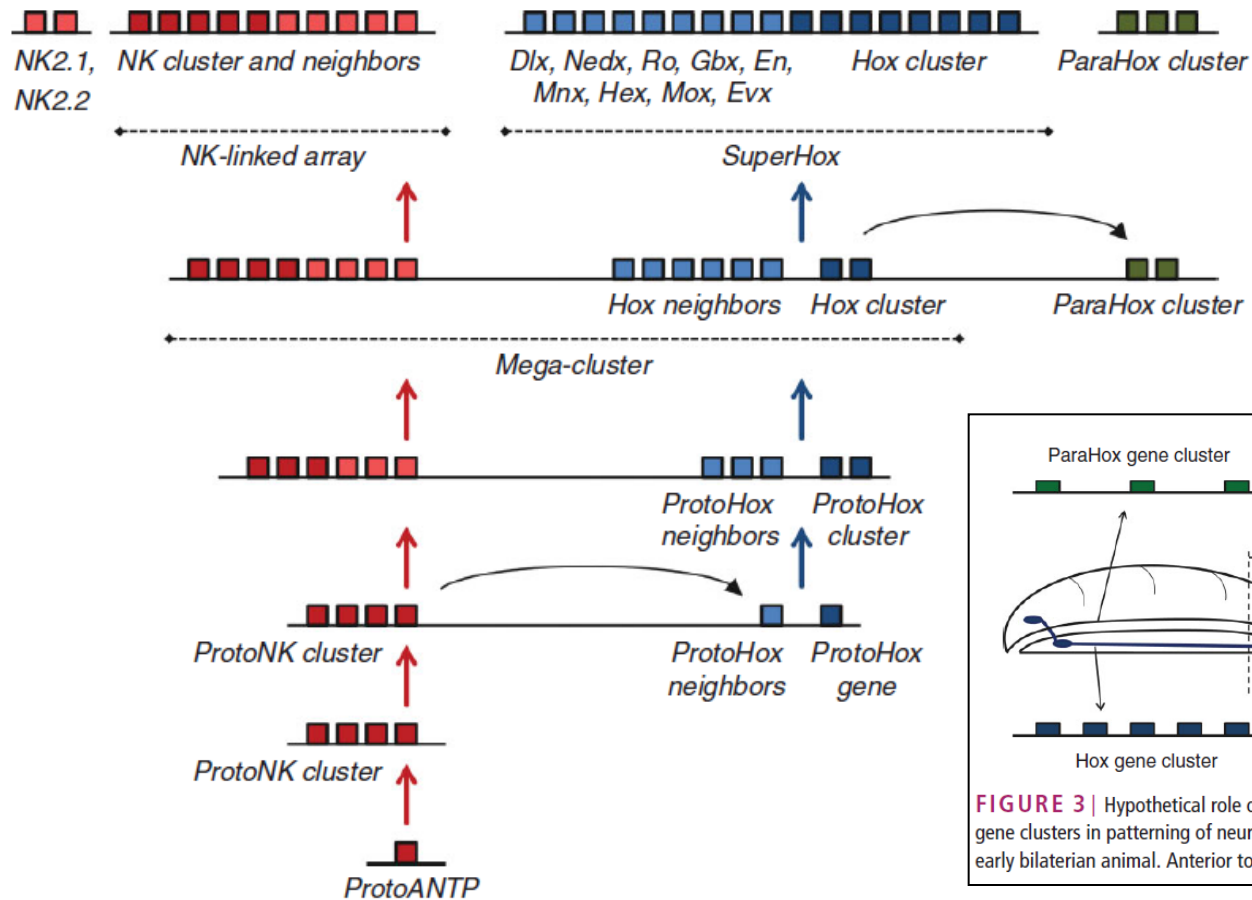
Louise Scheuer and Sue Black  
Illustrations by Angela Christie

# Obratlovci jsou jediní reprezentanti strunatců

Vznikli na počátku prvohor – cca 550 milionů let



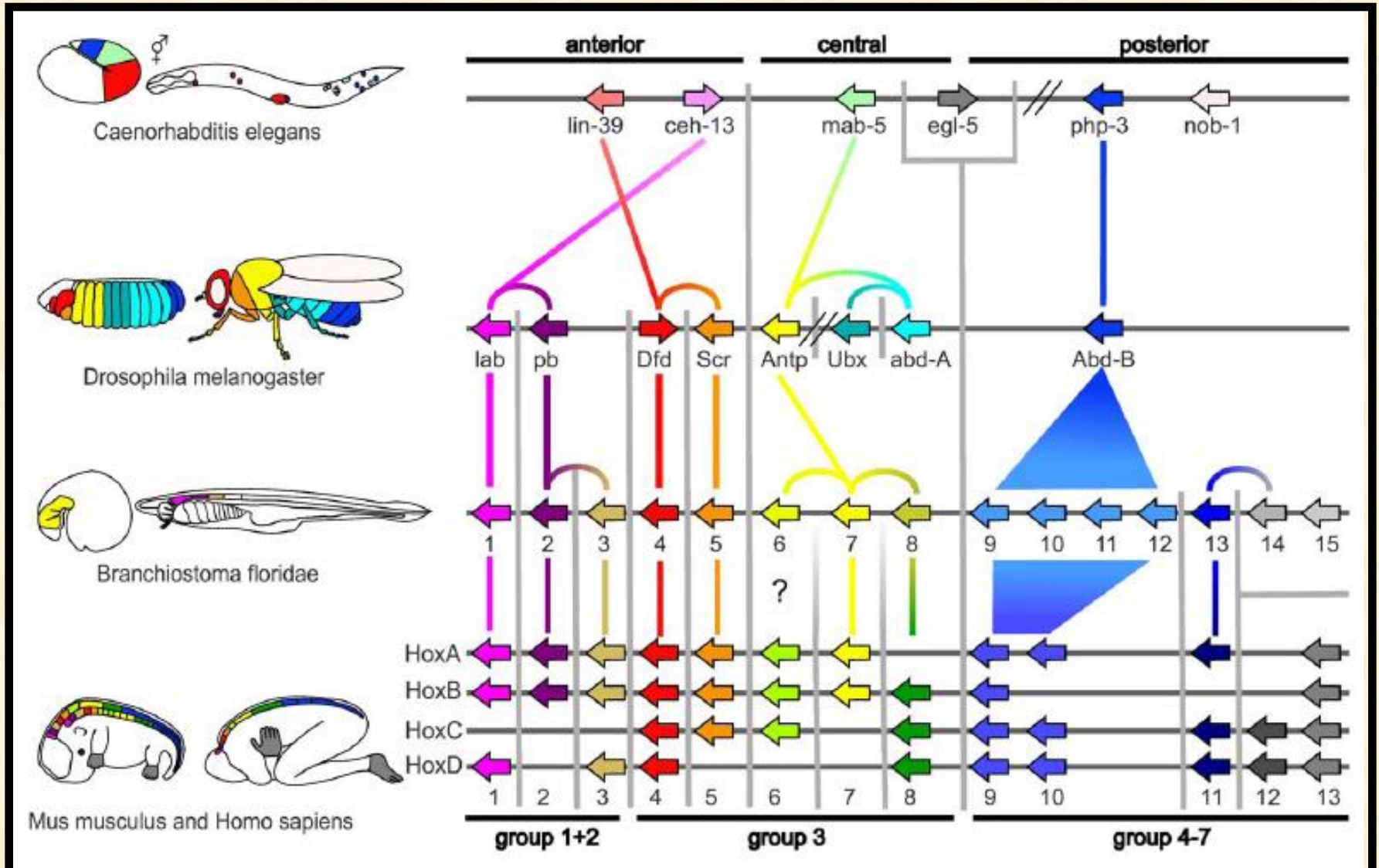
# Evolve Home BOX genů



**FIGURE 2** | Possible evolutionary history of the ANTP class homeobox genes, involving extensive tandem duplication to generate NK genes (red) and later ProtoHox genes (blue). Duplication of a hypothetical ProtoHox gene cluster (shown here as two genes, though the precise number is unresolved) gave distinct Hox and ParaHox gene clusters (blue and green, respectively).

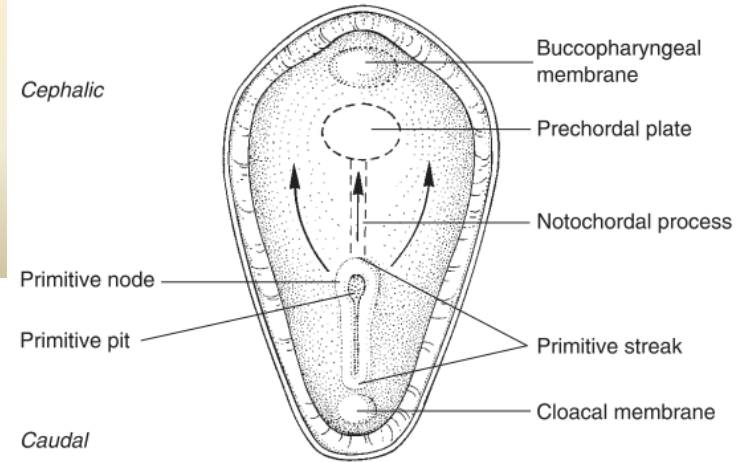
**FIGURE 3** | Hypothetical role of Hox, ParaHox, and NK homeobox gene clusters in patterning of neural, gut, and mesodermal tissues in an early bilaterian animal. Anterior to the left.

# Ontogeneze a fylogeneze v evoluci primátů – význam HOX genů

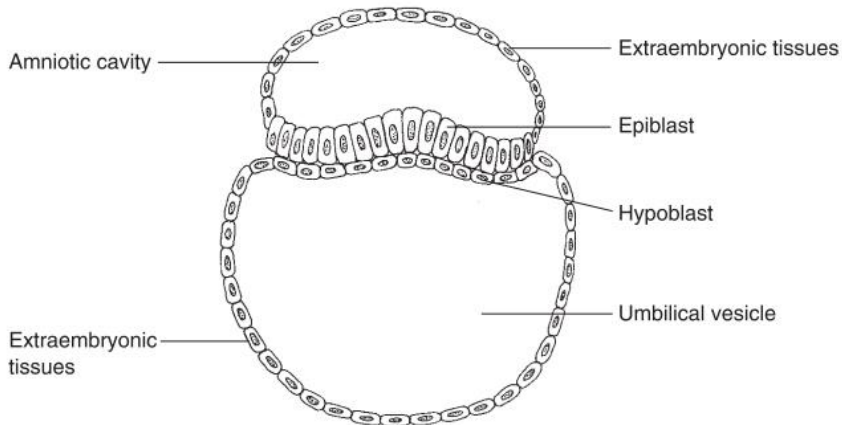


# Diferenciace zárodečných vrstev

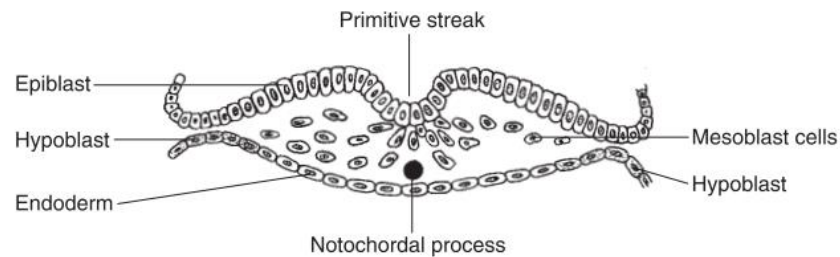
## Zárodečný terčik a vývoj prvosegmentů, primitivní proužek, primitivní brázda a primitivní uzel



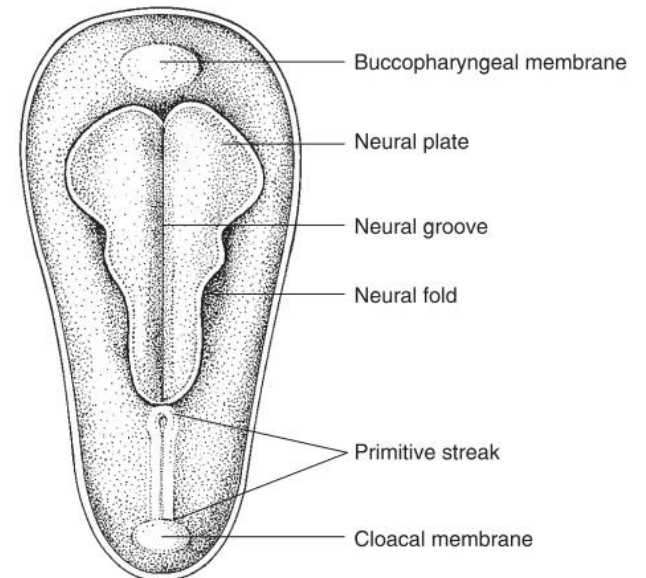
**Figure 3.2** The primitive streak.



**Figure 3.1** The bilaminar disc at the end of week 2.



**Figure 3.3** The trilaminar disc – stage 8 (3rd week).



**Figure 3.4** The position of the neural plate.

# Diferenciace zárodečných vrstev prvotní formování embrya

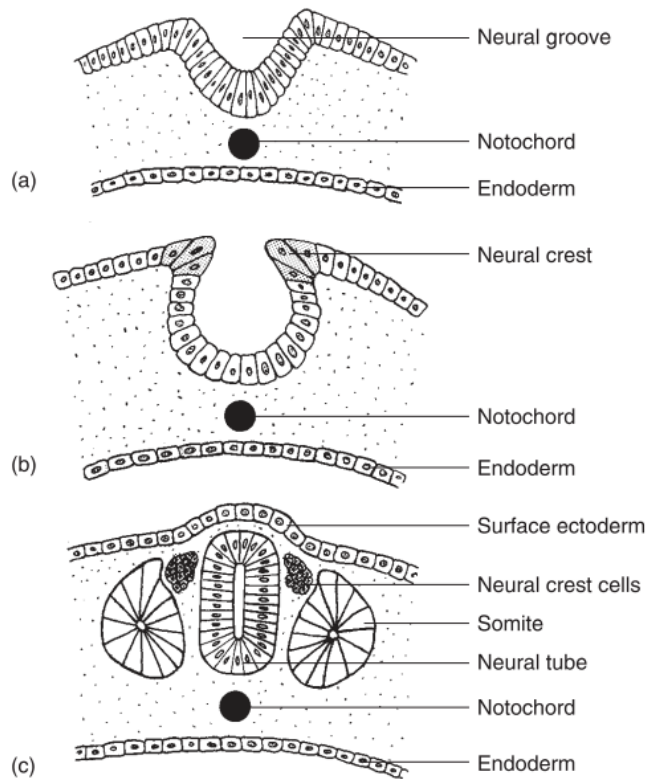


Figure 3.5 Neurulation – stages 9–11 (4th week).

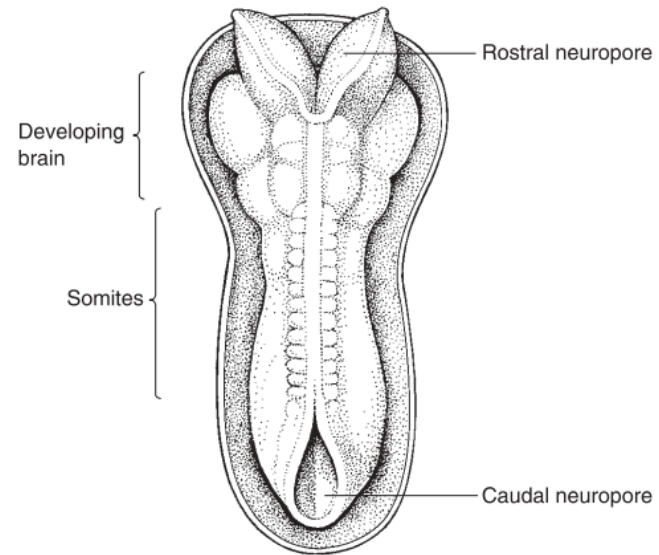


Figure 3.6 Embryo showing neuropores and somites – stage 10–11 (4th week).

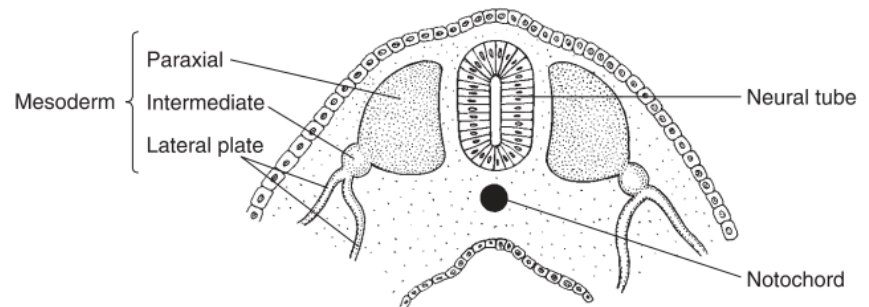


Figure 3.7 Divisions of the mesoderm.



## Deriváty ektodermu

- - neuroektoderm (nervový systém, sítnice, čichové buňky, deriváty crista neuralis)
- - epidermis a adnexa kožní (žlázy potní, mazové, mléčná, vlas, nehet)
- - vnitřní ucho (výstelka blanitého labyrintu)
- - čočka oční, epitel rohovky
- - část výstelky a žláz dutiny ústní
- - sklovina zubu
- - adenohypofýza
- - neurální lišta - splanchnocranium, část neurocrania, odontoblasty

## Deriváty mezodermu

- - svalová tkáň příčně pruhovaná kosterní a srdeční
- - močové a pohlavní ústrojí (nefrony, folikulární buňky v ovariu, Sertoliho buňky ve varleti, výstelka části vývodních cest pohlavních)
- - kůra nadledviny
- - výstelka tělních dutin (hrudní, břišní, perikardové)

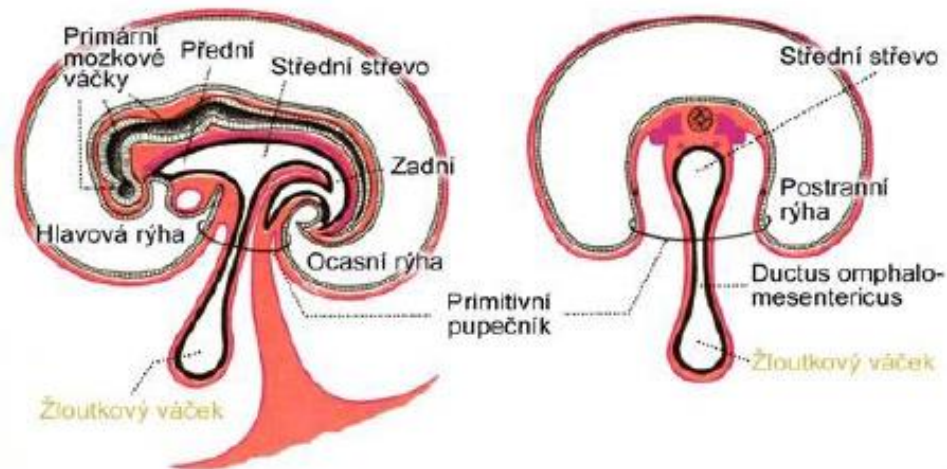
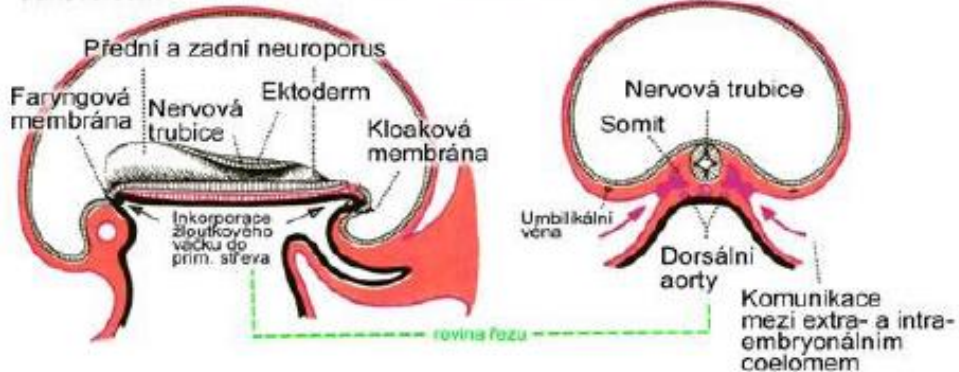
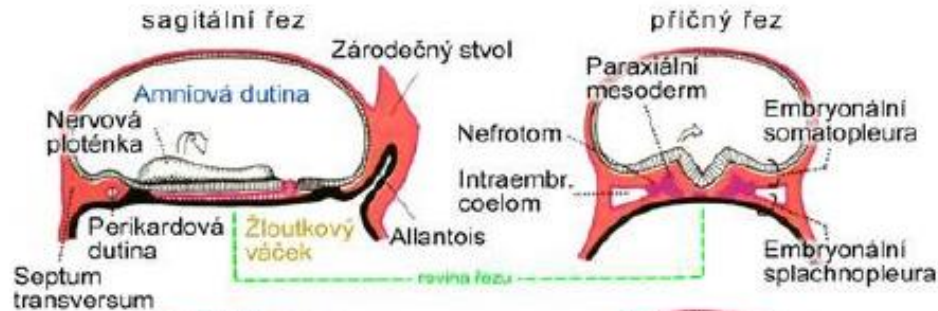
## Deriváty entodermu

- - trávicí trubice (výstelka a žlázy)
- - dýchací systém (výstelka a žlázy dých. cest, výstelka alveolů plicních)
- - vývodní cesty močové
- - výstelka středoušní dutiny a Eustachovy trubice
- - štítná žláza a příštítná tělíška
- - epitelové retikulum brzlíku

## Deriváty mezenchymu

- - pojivové tkáně (vazivo, chrupavka, kost)
- - hladká svalová tkáň
- - krevní a lymfatické cévy
- - slezina a lymfatické uzliny (lymfatická tkáň)

# FLEXE ZÁRODKU



# Embryonální fáze – 1. měsíc

- V prvním měsíci roste zárodek nejrychleji. Měří zhruba od 0,5 do 1,5 cm. Po zahnízdění se zakládá takzvaná embryonální placenta (vcestné lůžko - *placenta praevia*), hlavní výživnou funkci má zatím ale žloutkový vak, který také vylučuje hormony – progesteron a choriongonadotropní hormon (chorionový gonadotropin).
- Postupně se vytvářejí základy trávicí, nervové soustavy, srdce, játra, ledviny, žaberní rýhy a základy lebky, nosu, očí, uší a úst. Zakládají se artérie, vény a srdce bije zhruba 65 krát za minutu. Vznikají základy končetin.
- Na přelomu prvního a druhého měsíce je embryo dlouhé okolo 2,5 cm a váží přibližně 2 gramy. Hlava tvoří asi jednu polovinu celkové délky těla. Zřetelně se vyvíjí jazyk a zárodky zubů. Na horní končetině je vyvinut loket, prsty a palec, na dolní koleno, kotník a prsty. Embryo se pokrývá kůží, zřetelné jsou i papilární linie.
- Začínají se vyvíjet gonády (pohlavní žlázy), které produkují nezralé pohlavní buňky (ve třetím měsíci vaječníky obsahují v té době asi jeden milion nezralých vajíček, varlata pak mnohem větší počet prvotních spermií).

## Embryonální fáze – 2. měsíc

- Ve 2. měsíci již mozek embrya koordinuje svými impulsy funkci orgánových systémů, srdeční činnost nabývá na pravidelnosti.
- Vyvíjejí se vnější pohlavní orgány a na konci druhého měsíce začínají být zřetelné rozdíly mezi jedinci mužského a ženského pohlaví. Žaludek produkuje trávicí šťávy, játra začínají produkovat krevní buňky. Ledviny začínají odstraňovat z těla kyselinu močovou.
- Kůže se počíná diferencovat a začíná být dostatečně senzitivní, aby mohla reagovat přiměřeně na taktilní podněty. Osmi týdenní embryo reaguje při doteku otočením trupu, hlavy a pohybem paží vzad.
- Na přelomu druhého a třetího měsíce se začíná vytvářet a fungovat fetální placenta, která nabývá plné funkčnosti až na počátku čtvrtého měsíce.
- V této fázi prenatalního vývoje, tedy na přelomu druhého a třetího měsíce prenatalního vývoje, již hovoříme o fétu neboli plodu.
- V této době zárodek - plod váží asi 30 g a měří 7 - 8 cm. Jsou vyvinuty základy nehtů na prstech ruky i nohy, uzavřená oční víčka, hlasivky, rty a prominující nos. Hlava je stále velká, měří asi jednu třetinu délky těla, čelo je velmi vysoké. Vnější pohlavní orgány jsou jasně zřetelné a pohlaví snadno rozlišitelné. Končí základní fáze organogeneze.

# Přechodová fáze – 3. měsíc

- **Ve 3. měsíci jsou již orgánové systémy funkční a zárodek se nazývá fétus. V této fázi již fétus dýchá a „vdechuje“ amnionovou tekutinu do plic a z plic. Občasně močí a moč se stává součástí amnionové vody, kterou plod také polyká.**
- **Začíná se postupně diferencovat kostra. Žebra a obratle jsou chrupavčitá. Ve vnitřních pohlavních orgánech vznikají primitivní pohlavní buňky, vajíčka nebo spermie.**
- **Fétus vytváří řadu specializovaných odpovědí, může hýbat dolními i horními končetinami, hlavou, otevírat a zavírat ústa a polykat. Dotkneme-li se víček, pohnou se, dotek dlaně způsobí částečné ohnutí prstů, rty se při doteku formují k sání, při doteku chodidla se prsty na noze roztáhnou. Toto reflexní chování se projeví při porodu a mizí měsíc po narození.**
- **Fétus se nachází ve vnitřním obalu amnionu v amnionové tekutině. Fétus v amnionovém obalu se vznáší v plodové vodě vnějšího zárodečného obalu chorionu. Celý systém pak výrazně chrání plod před otřesy a nárazy.**

# Přechodová fáze – 4. měsíc

- Ve 4. měsíci růst těla dostihuje tempo růstu hlavy, která měří asi 1/4 tělesné délky – stejný poměr jako při narození. Fétus měří 15 až 25 cm, váží asi 200 g.
- Pupeční šňůra je dlouhá nejméně jako fétus a její růst bude dále pokračovat. Placenta je již plně funkční a orgány jsou plně zformovány, stejně jako krevní oběh. Formuje se fetální a placentární krevní oběh.
- Fétus se začíná intenzívně pohybovat, „kope“ matku, tento moment bývá označován jako „quickenig“ – zrození života, reflexní aktivity, které se objevují v průběhu třetího měsíce jsou nyní výrazné. Urychluje se vývoj svalstva, začíná osifikace kostry.
- Začínají fungovat smyslové orgány, nejprve zrak a potom i sluch. Plod je schopný reagovat na zrakové i sluchové podněty. Pediatři tvrdí, že je již možná reakce na hlas matky, případně i hlas otce a hudbu.

# Fetální období – formování plodu

- **V 5. měsíci má fétus má hmotnost od 350 do 600 gramů a měří okolo 30 cm a začínají se objevovat rysy jeho osobnosti.**
  - Objevuje se jasná fáze spánek – bdění a dítě v děloze zaujímá oblíbenou pozici („leží“). Fétus se stává mnohem aktivnější – kope, natahuje se, kroutí se a dokonce škytá. Je zřetelně slyšet tep srdce. Potní a mazové žlázy jsou funkční.
  - Respirační systém je ještě nedostatečně vyvinut při předčasném porodu dítě není schopno dýchat a umírá. Objevují se řasy a obočí, tělo se pokrývá srst připomínající kožním derivátem, lanugem.
- **V 6. měsíci se rychlost růstu fétu se mírně zpomaluje, fétus měří nyní asi 35 – 40 cm a váží asi 500 – 600 gramů.**
  - Kůže je průsvitná, červenavá. Objevuje se vrstva podkožního tuku. Začíná mizet lanugo, i když délka existence lanuga je velmi individuální.
  - Oči jsou kompletní, oční víčka se zavírají a otvírají a fétus se může dívat do všech stran. Pravidelné dýchání je udržováno po 24 hodin. Objevuje se plakání a ruka je schopná silového uchopení všech prstů.
  - Dýchací aparát je stále nedozrálý, šance na přežití při předčasném porodu je stále malá. Podobně ani kůže zatím nemůže plnit zcela svojí funkci, zejména funkci protibakteriální bariéry a termoregulační



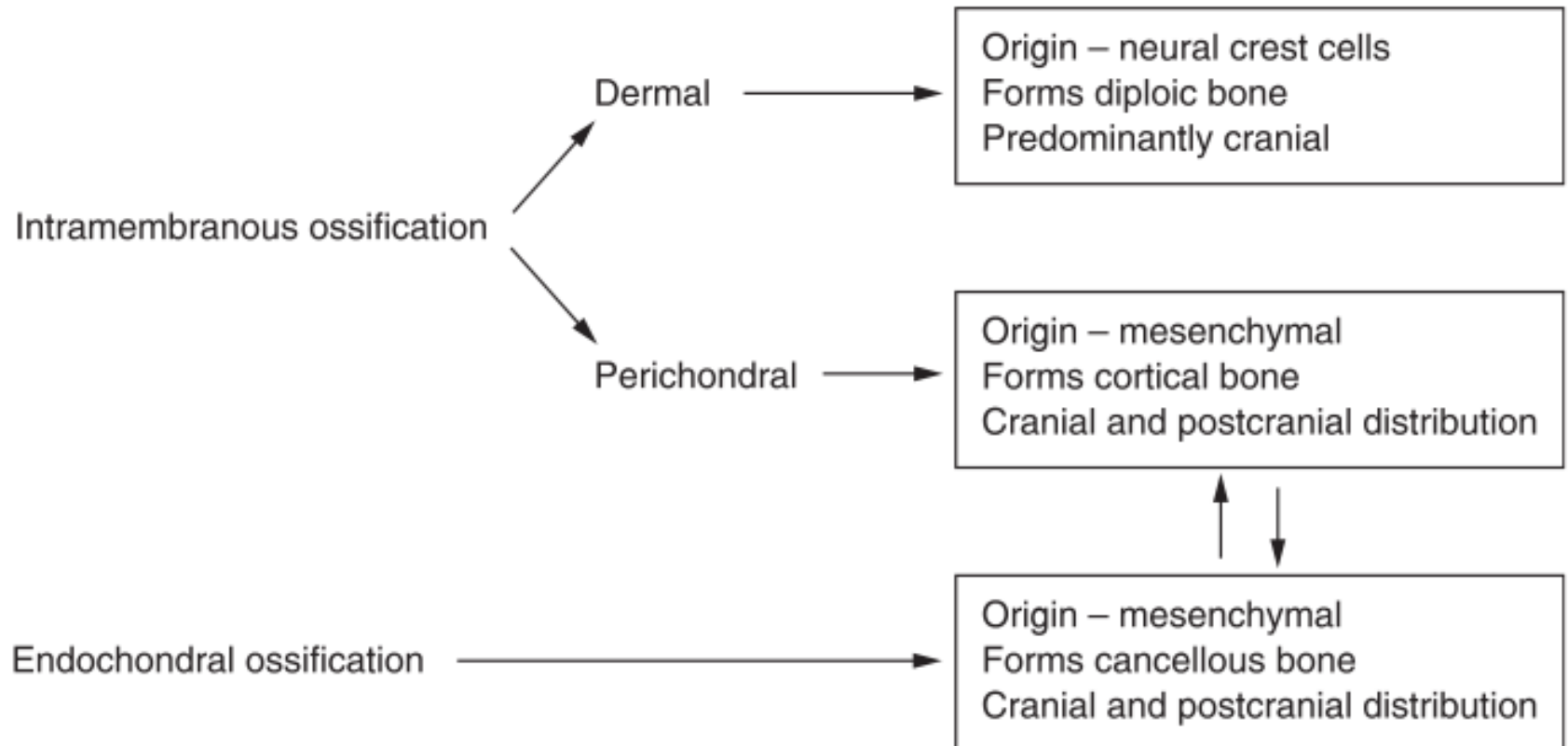
# Fetální období - vývoj plodu

- V 7. měsíci váží od 1200 do 2000 gramů, měří přes 40 cm a má plně vyvinuty reflexy. Pláče, dýchá, polyká a může si sát palec.
- Varlata začínají sestupovat do tříselného kanálu, velké stydké pysky se zvětšují. Lanugo buď zmizí, nebo mizí až krátce po porodu, vlasy mohou pokračovat v růstu.
- Epidermis začíná rohovatět. Orgány jsou plně funkční, při příslušné lékařské péči může plod těžší než 1300 – 1500 gramů poměrně dobře přežít.
- V 8. měsíci je dlouhý 45 – 50 cm a váží 2500 – 3000 gramů. Jeho pohyby jsou omezené, protože rychle přerůstá velikost vnitřního prostoru dělohy.
- Během osmého a devátého měsíce se stává vrstva podkožního tuku souvislou, tělo je schopné se adaptovat na změny teploty mimo dělohu.
- Varlata začínají sestupovat do šourku, velké stydké pysky jsou minimálně stejně velká jako malé stydké pysky. Nehty již téměř pokrývají konce prstů.

## Konec vývoje plodu – začátek perinatální fáze

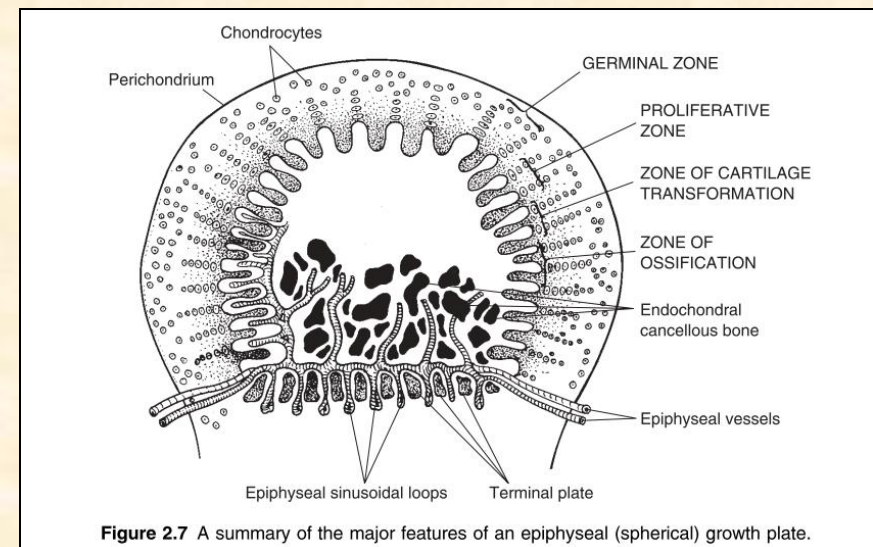
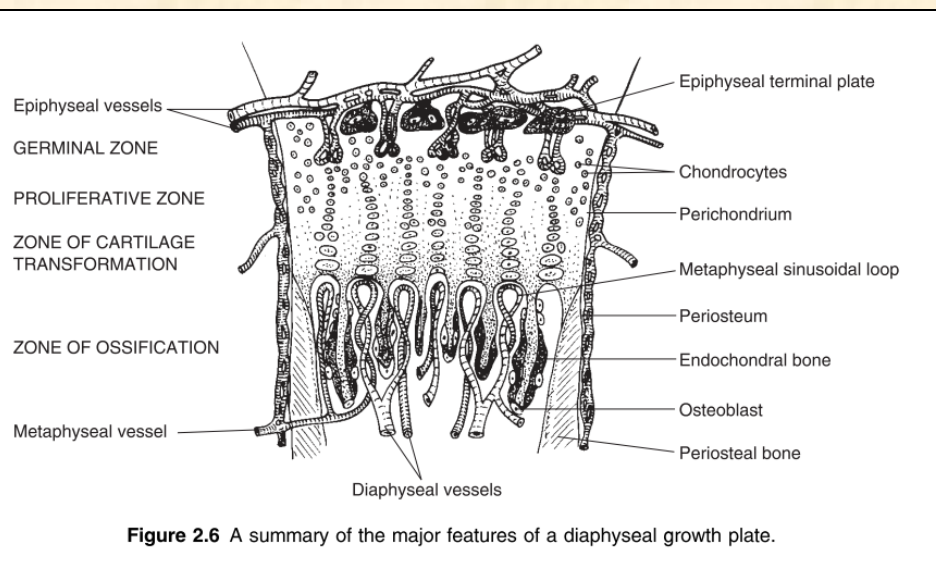
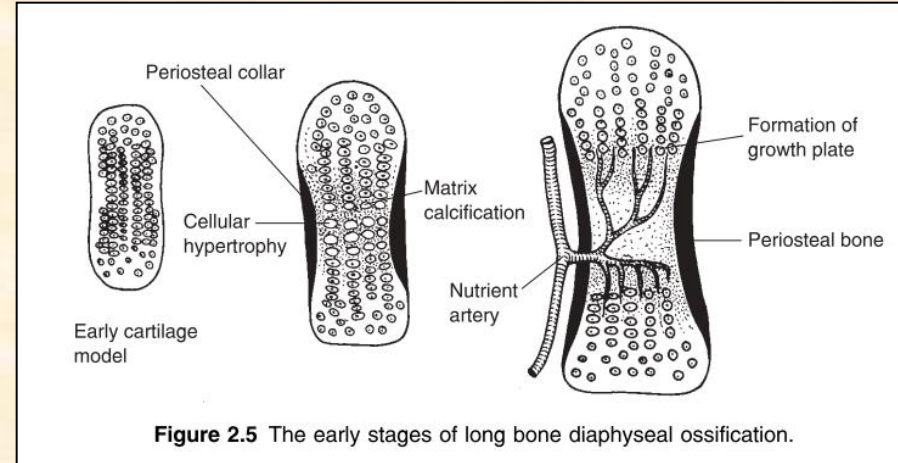
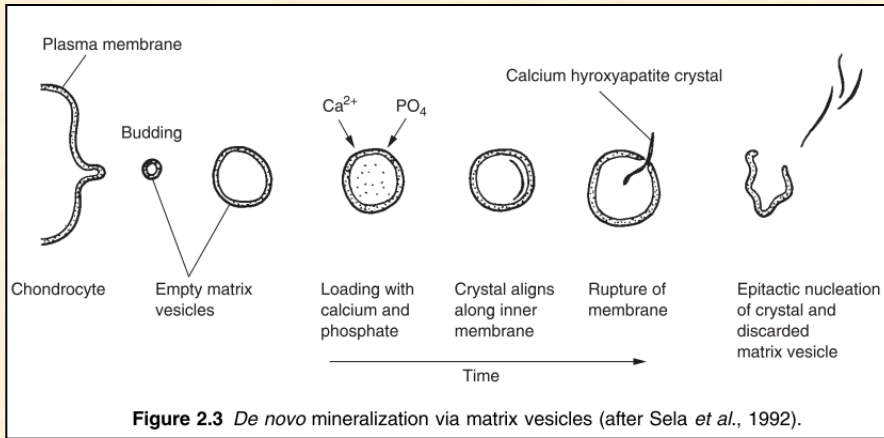
- V 9. měsíci, jeden až dva týdny před porodem, přestává fétus růst. Váží v této době již více než 3000 gramů a měří okolo 50 cm. Placenta přestává plnit svoje funkce, „postupně se odpojuje“.
- Vrstva podkožního tuku se stále zvětšuje, orgány pracují stále výkonněji, srdeční tep se zvyšuje, je vylučováno více exkrementů. Mizí načervenalá barva kůže. Varlata jsou sestoupená v šourku, velké stydké pysky plně překrývají malé stydké pysky, nehty jsou plně vyvinuty.
- Krevní oběh se připravuje na přestavbu, tj. začínají se postupně uzavírat tepenný a později i žilní dučej (propojení, která umožňují směšování okysličené a odkysličené krve). Přestavba fetálního oběhu na novorozenecký se dokončuje těsně po porodu. Tímto se definitivně odděluje oběh okysličené a odkysličené krve.

# Osifikace kostí - tkáňový původ

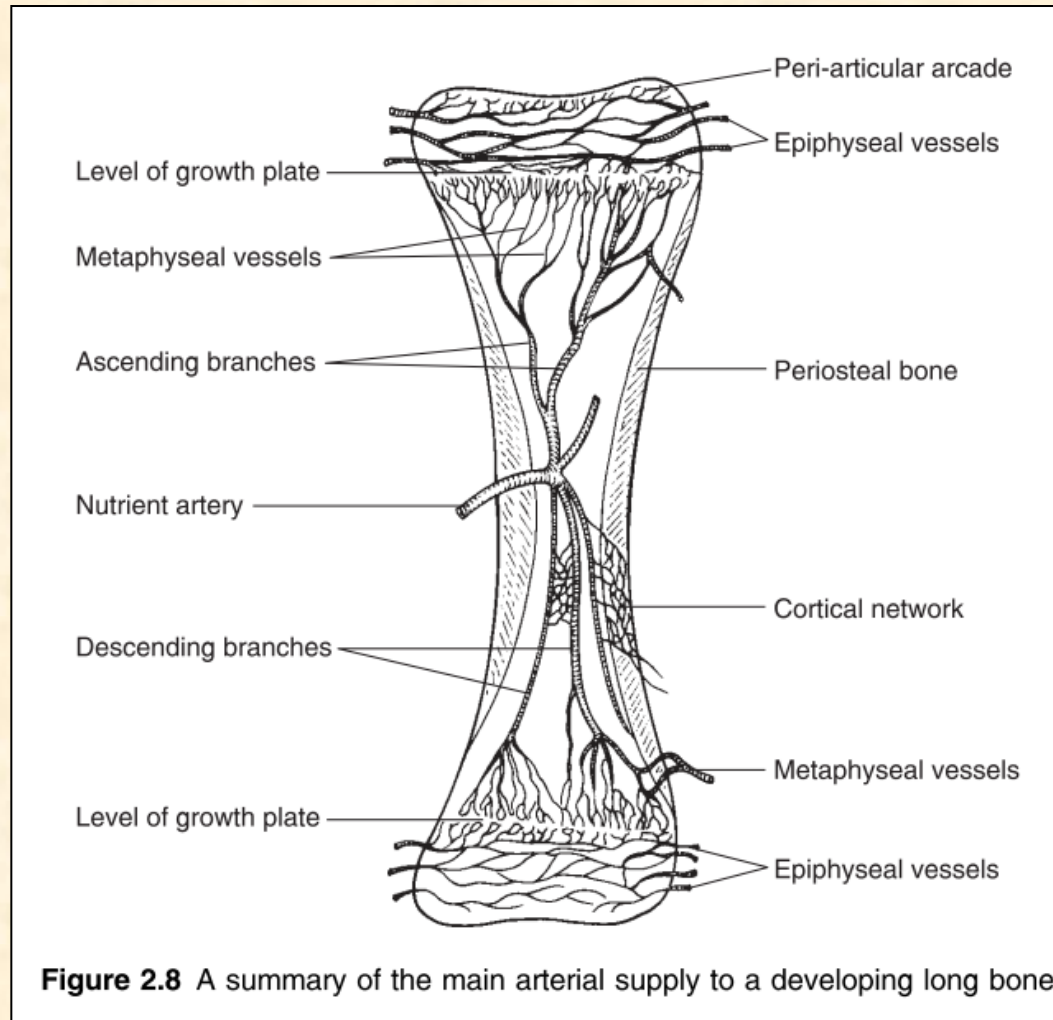


**Figure 2.1** A summary of the basic modes of bone formation.

# Mechanismy osifikace a rústu kostí



# Cévní zásobení při růstu kostí



# Typy osifikace – kostra lebky

	<b>Intramembranous</b>	<b>Endochondral</b>
Occipital	Squamous – interparietal Squamous – supra occipital	Partes laterales Pars basilaris
Temporal	Otic capsule (small part) Squamous Tympanic Styloid process	Otic capsule (major part)
Ossicles	Malleus, incus and stapes	
Sphenoid	Greater wing (major part) Medial pterygoid Lateral pterygoid Hamulus Conchae	Greater wing (small part) Body – pre and post Lesser wing
Parietal	Whole bone	
Frontal	Whole bone	
Nasal	Whole bone	
Ethmoid	Whole bone	
Inferior concha	Whole bone	
Lacrimal	Whole bone	
Vomer	Whole bone	
Zygomatic	Whole bone	
Maxilla	Whole bone	
Palatine	Whole bone	
Mandible	Majority of bone	Condyle and symphysis

**Table 2.2** Type of initial bone formation in the postcranial primary centres of ossification

	<b>Perichondral</b>	<b>Endochondral</b>
Hyoid	Greater and lesser horns	Body
Larynx	Thyroid and cricoid	
Vertebral column and sacrum	Neural arches Anterior arch C1	All centra, dens, Lateral masses of sacrum
Sternum		Manubrium, sternebrae, xiphoid
Ribs	Whole bone	
Pectoral girdle	Scapula, clavicle	
Major long bones	Diaphyses	
Hand	Phalanges, metacarpals	Carpals, sesamoids
Innominate	Ilium, ischium and pubis	
Patella		Whole bone
Foot	Phalanges, metatarsals	Tarsals, sesamoids

# Způsob osifikace – sekundární centra

- Kloubní spongiosa
- Kloubní destička a další kloubní elementy
- Nekloubní vazy/svaly

**Table 2.3** Type of initial bone formation in the postcranial secondary centres (epiphyses) of ossification

	Articular cancellous	Articular flake/smear	Non-articular lig./musc.
Vertebral column and sacrum		Costal processes Auricular surface sacrum Lateral margin sacrum	Transverse processes Spinous processes Apex of axis
Sternum		Sternoclavicular joint Chondrosternal junction	
Ribs		Articular tubercle Head	Non-articular tubercle
Clavicle		Medial and lateral	
Scapula		Subcoracoid Glenoid	Angle and apex of coracoid Acromion, medial border Inferior angle
Humerus	Proximal and distal		Medial and lateral epicondyles
Radius	Proximal and distal		
Ulna	Proximal (beak) and distal		Proximal and apex
Hand	Metacarpals and phalanges		
Innominate		Acetabulum Superior ossific nodule (pubis)	Anterior inferior iliac spine Ischial spine, Iliac crest Ischial tuberosity and ramus
Femur	Head, greater trochanter* and distal		Lesser trochanter
Tibia	Proximal and distal		Tibial tuberosity
Fibula	Proximal and distal		
Foot	Metatarsals and phalanges		Calcaneus

# Molekulární mechanismy osifikace

## Molecular Regulation of Chondrocyte Differentiation

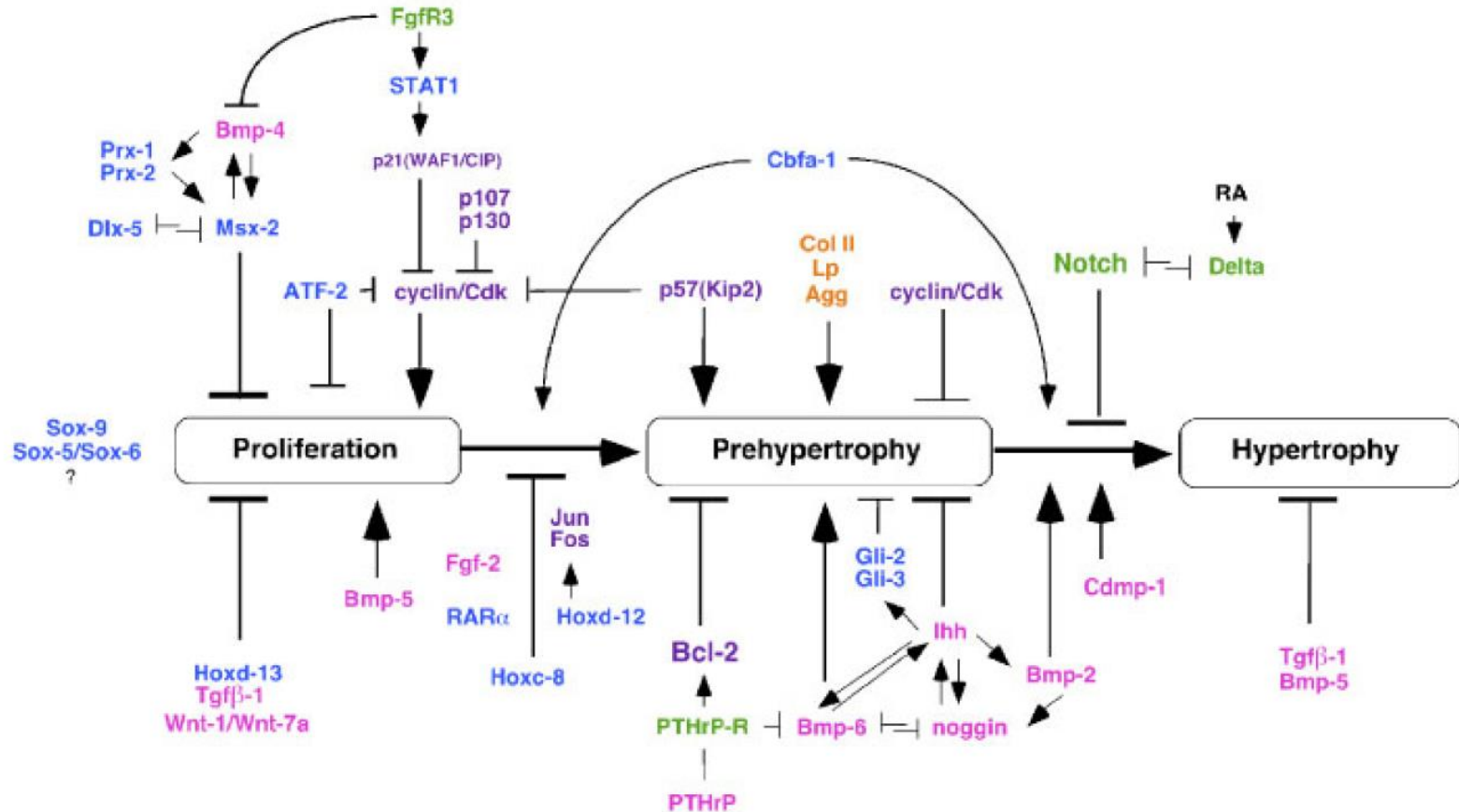
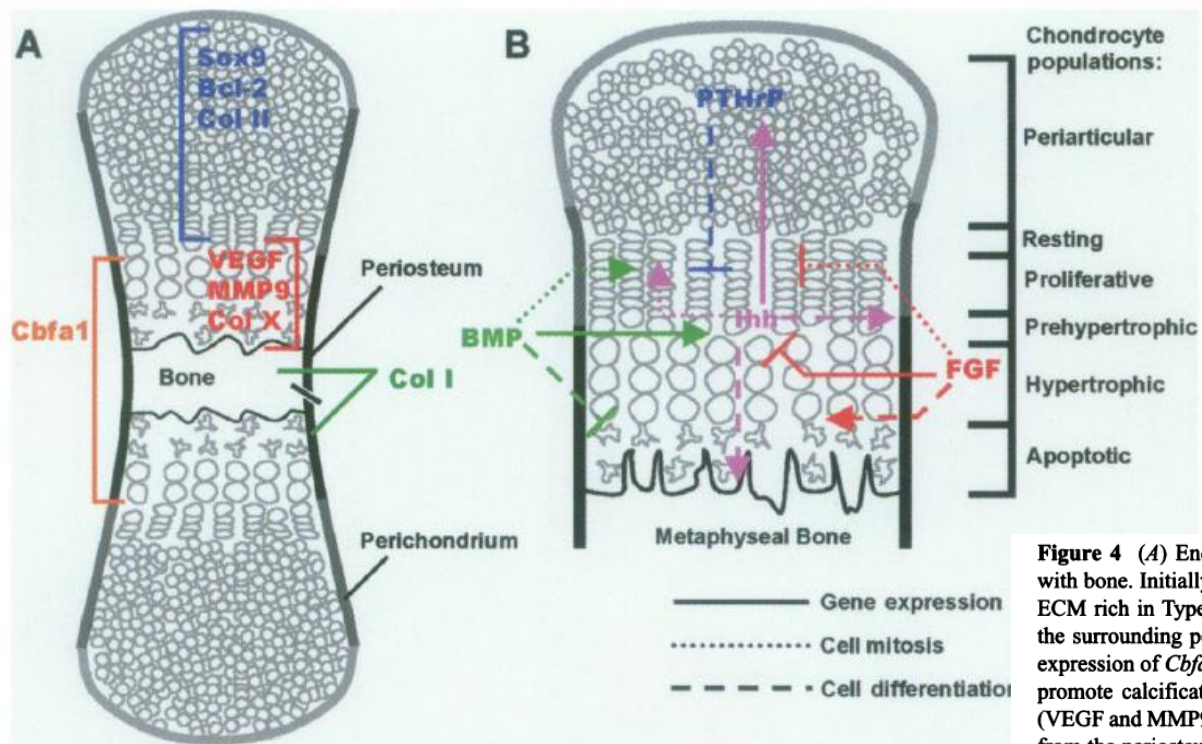


Fig. 2. Regulators of chondrocyte proliferation and maturation. Transcription factors (blue), cell cycle regulators (purple), cell surface receptors (green), soluble mediators and growth factors (pink), and structural molecules (orange) have all been shown to affect chondrocyte maturation. Sox9 and additional factors are needed to induce the chondrocyte phenotype initially. The effects of other regulators are depicted as interpreted from phenotypes observed in *in vivo* overexpression or disruption paradigms. The receptors for BMPs (Wozney and Rosen, 1998) signal through Smad proteins (Massague, 1998) at various stages of chondrocyte differentiation and were not listed to reduce complexity of the graph.





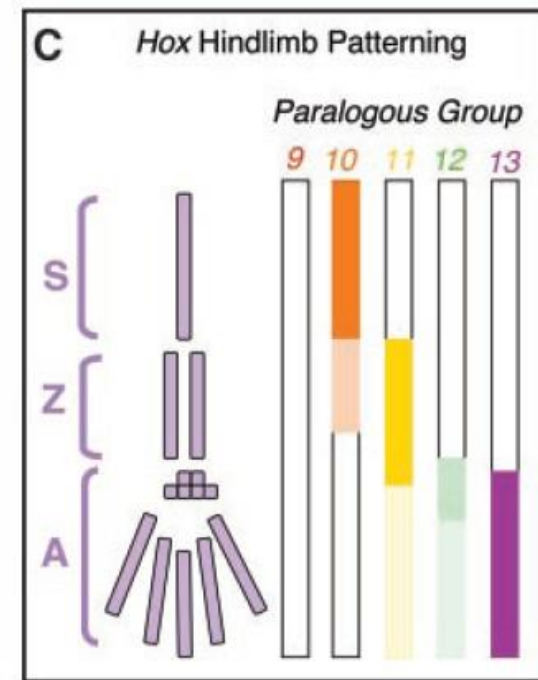
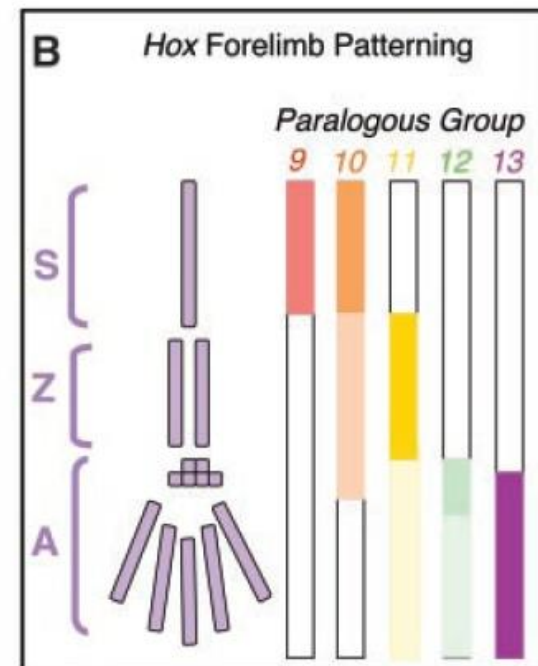
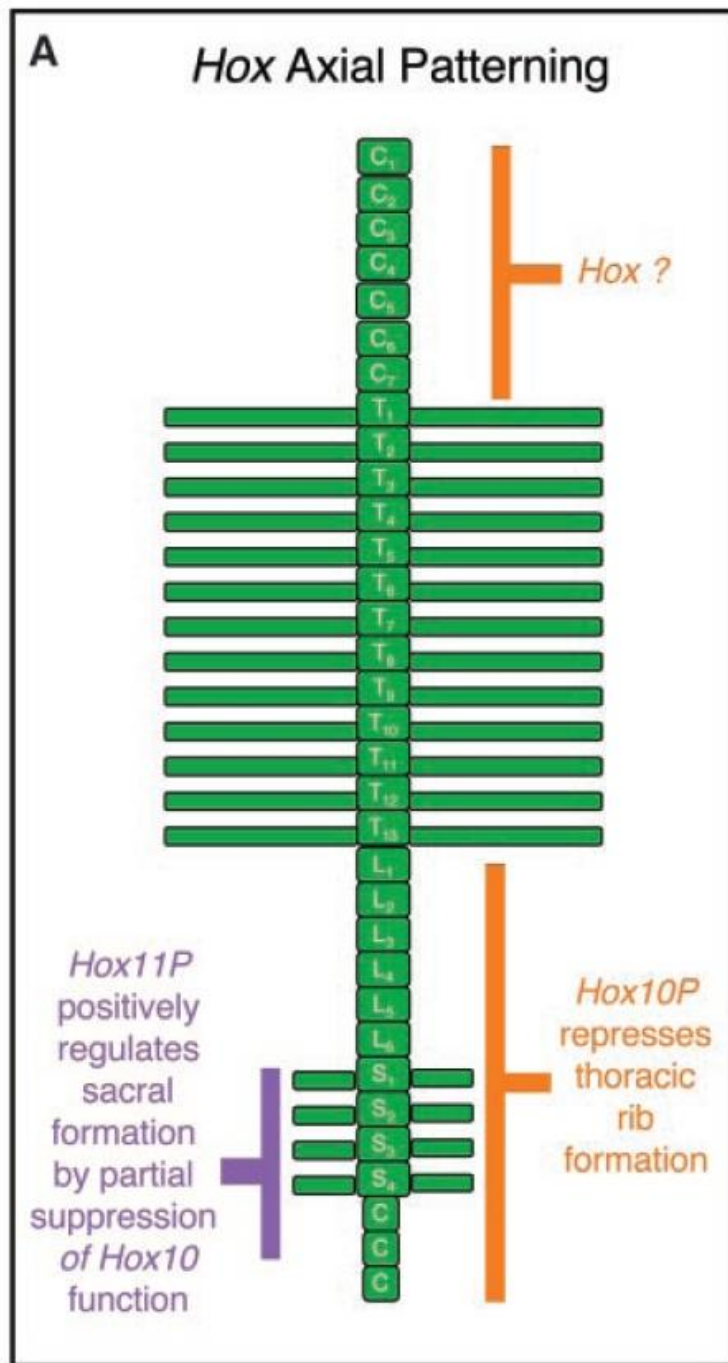
**Figure 4** (A) Endochondral ossification involves replacement of a cartilaginous anlage with bone. Initially the cartilage cells express the transcription factor *Sox9* and produce an ECM rich in Type II collagen. Subsequently, the chondrocytes become hypertrophic and the surrounding perichondrium differentiates into periosteum. Both processes require the expression of *Cbfa1*. Additionally, hypertrophic chondrocytes secrete Type X collagen and promote calcification of the ECM. They simultaneously synthesize transcription factors (VEGF and MMP9) that promote the invasion of blood vessels, osteoblasts, and osteoclasts from the periosteum. The hypertrophic chondrocytes apoptose, and the remaining ECM is used as a scaffold for the deposition of bone. (B) The *Ihh*/PTHrP feedback loop regulates growth plate chondrocyte proliferation and differentiation (*arrow heads* indicate upregulation, and *bars* indicate downregulation). As cells begin to hypertrophy they synthesize *Ihh*, which indirectly upregulates the expression of *PTHrP* in periarticular chondrocytes. PTHrP diffuses to PTHrP receptors expressed in proliferating chondrocytes and restrains their further differentiation into the hypertrophic phase. Therefore, *Ihh* and PTHrP constitute a negative feedback loop that limits the rate of cell maturation and maintains a proliferative pool of chondrocytes in the growth plate throughout ontogeny (Lanske et al. 1996, Vortkamp et al. 1996). In addition, *Ihh* directly increases the mitotic rate of proliferating chondrocytes, stimulates the differentiation of the perichondrium into periosteum, and promotes bone deposition along the calcified cartilage scaffold by the invading metaphyseal osteoblasts (Karp et al. 2000, St-Jacques et al. 1999).

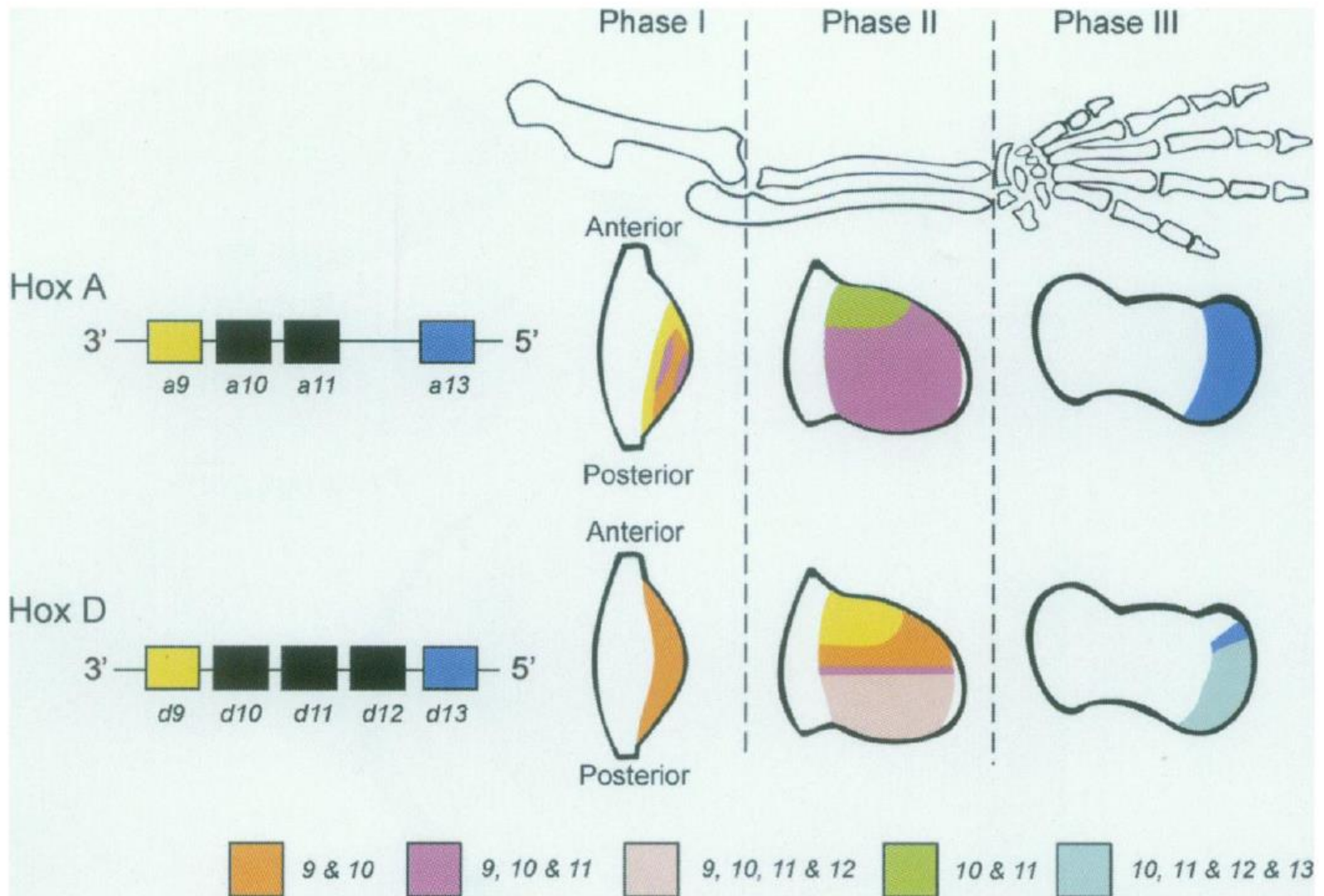
Growth rate in the physis appears to be regulated by members of the BMP and FGF families. BMPs increase the mitotic rate of proliferating chondrocytes via pathways independent of *Ihh*. Also, by upregulating the expression of *Ihh* and delaying chondrocyte apoptosis, BMPs enlarge both the proliferative and hypertrophic regions, respectively (Minina et al. 2001). FGFs regulate the same stages of chondrocyte development but have opposite effects. Most important, these signaling factors have been shown to act in a dose-dependent, antagonistic manner (Minina et al. 2002), which suggests that the *cis*-regulation of these genes may be a key heritable mechanism for differential growth within and between physes.

# Genetická regulace endochondrální osifikace dlouhých kostí

# HOX geny a Pitx 1 geny

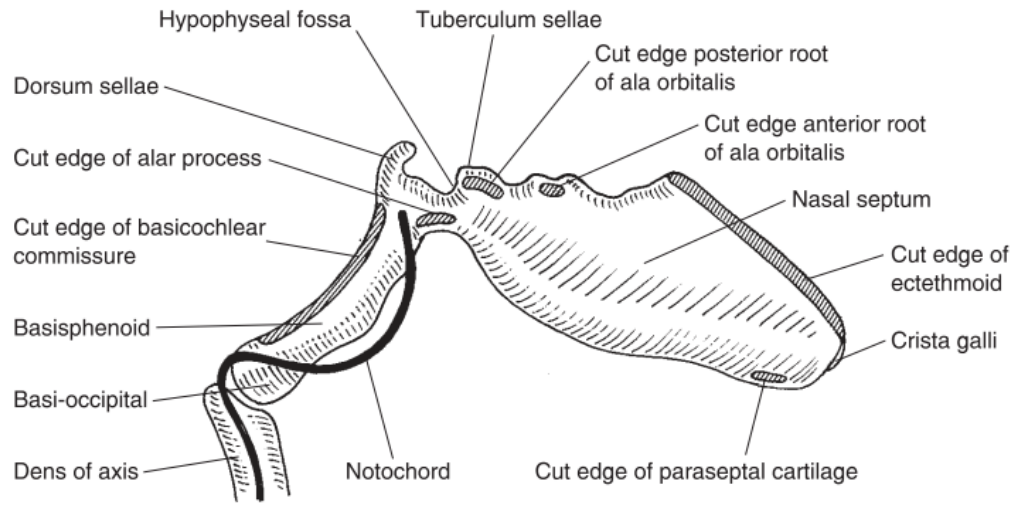
vývoj pánve,  
čelistí a  
hypofýzy



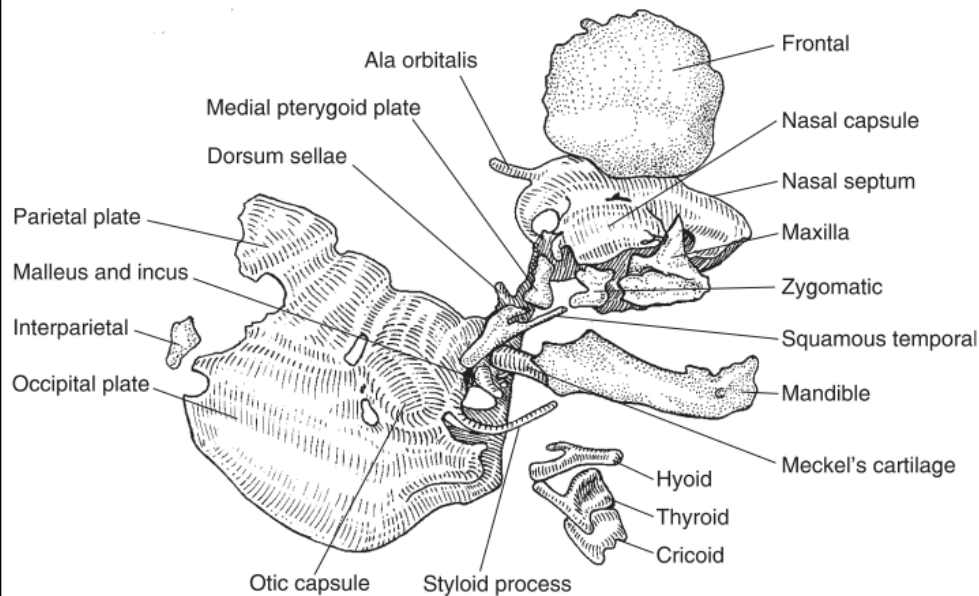


**Figure 3** Diagrammatic expression maps for 5' genes of the Hox A (*top*) and Hox D (*bottom*) clusters during outgrowth of the forelimb. Isolated gene expression domains are coded on the *left* (genes with no singular expression are left uncolored). Combinatorial gene-expression domains are coded along the *bottom*. Each of three proposed phases of

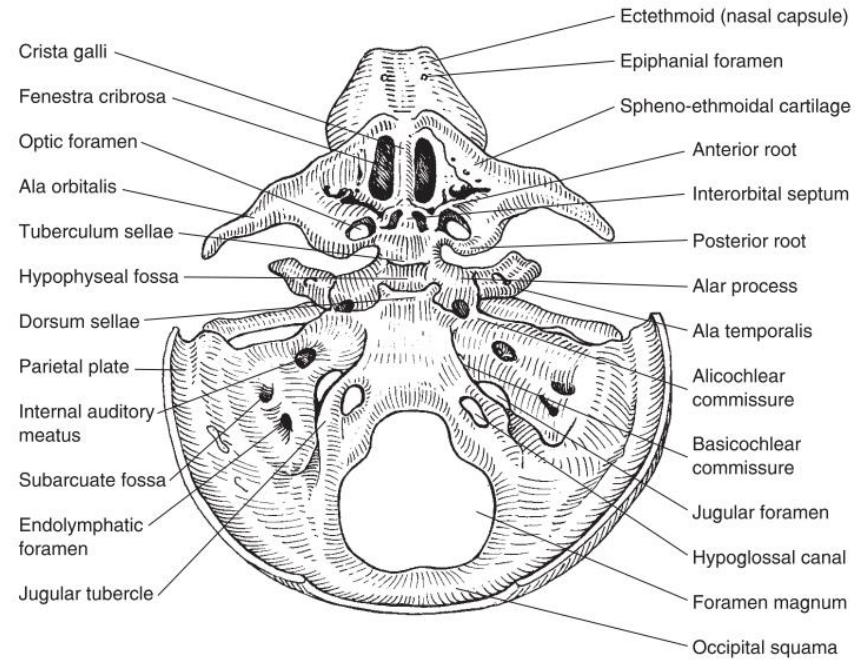
# Ontogeneze lebky



**Figure 4.6** The central stem of the chondrocranium (redrawn after Müller and O'Rahilly, 1980).

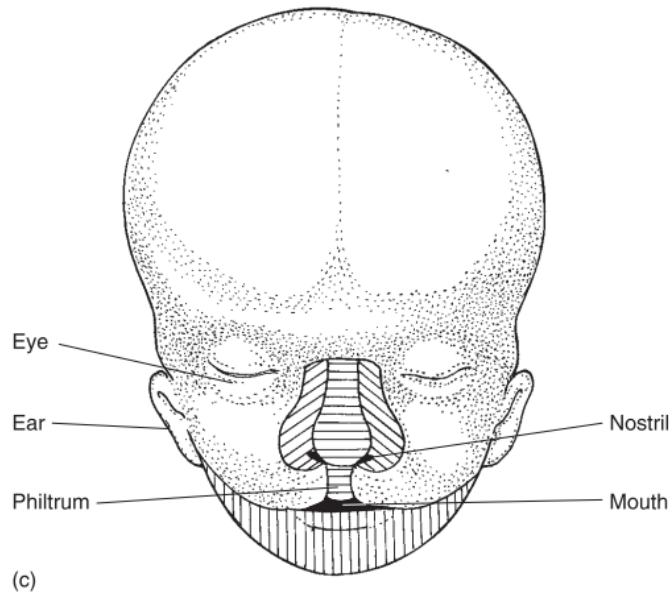
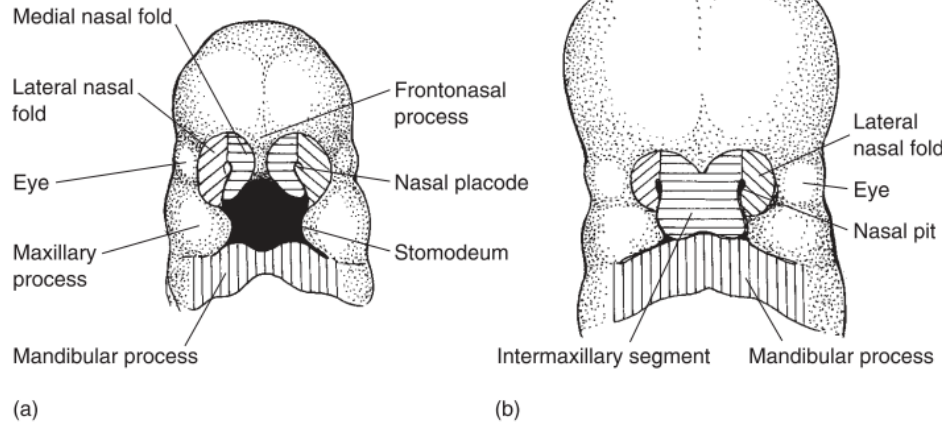


**Figure 4.8** The chondrocranium with membrane bones from the right side (redrawn after Müller and O'Rahilly, 1980).

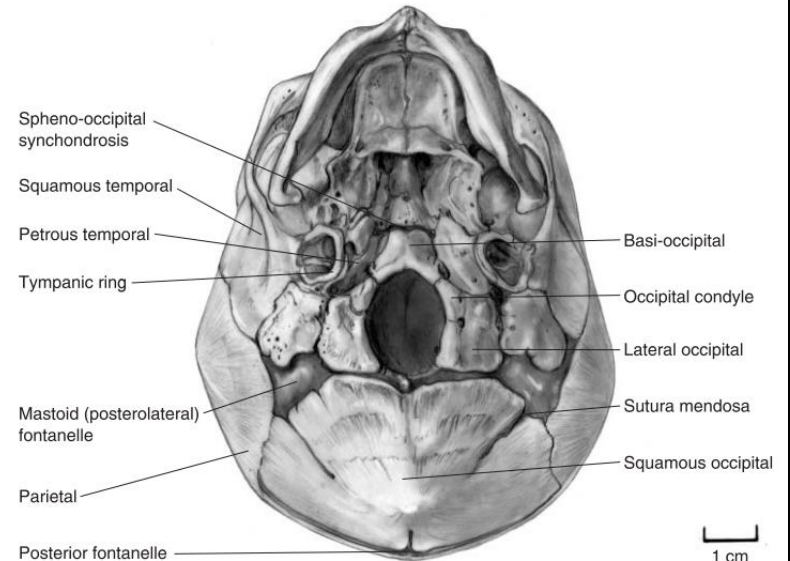
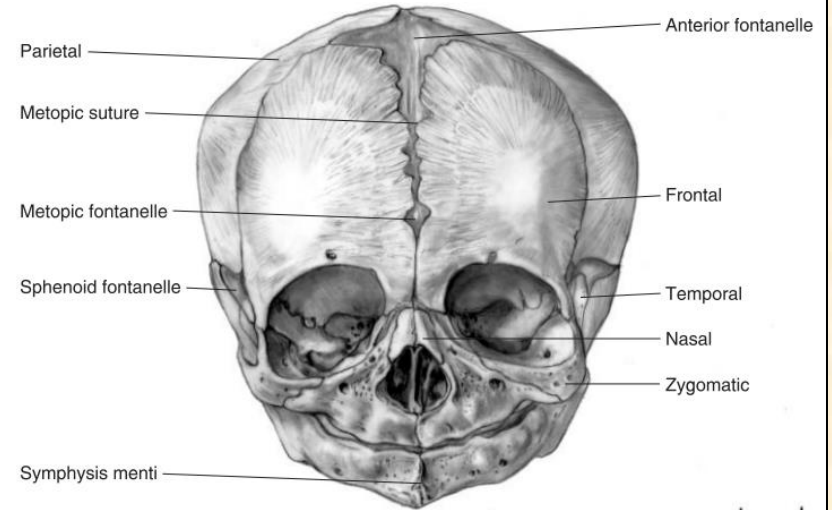


**Figure 4.7** The chondrocranium from above (redrawn after Müller and O'Rahilly, 1980).

# Růst a vývoj kostry hlavy

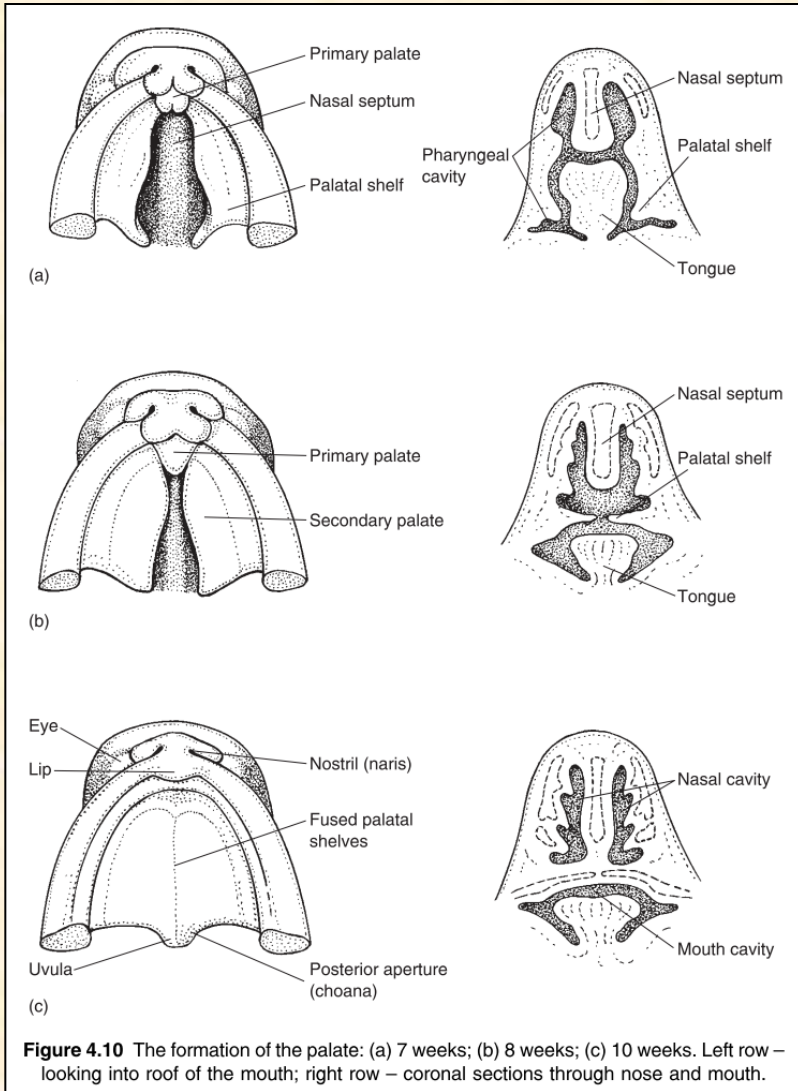


**Figure 4.9** The formation of the face: (a) 5 weeks; (b) 7–8 weeks; (c) 10 weeks.

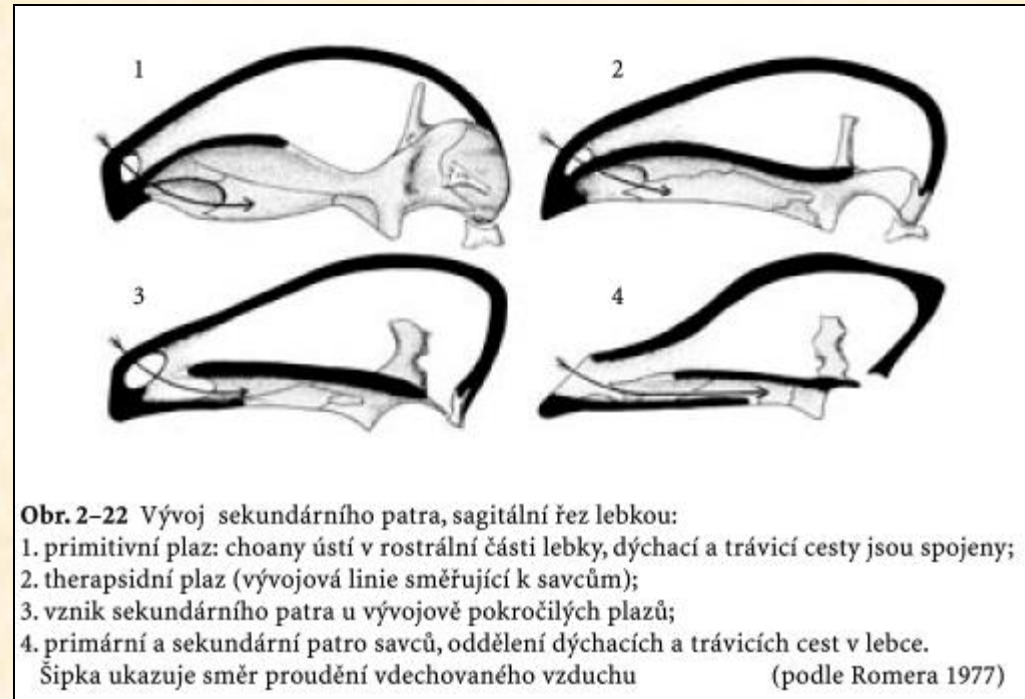


**Figure 4.13** Basal view of fetal skull and mandible.

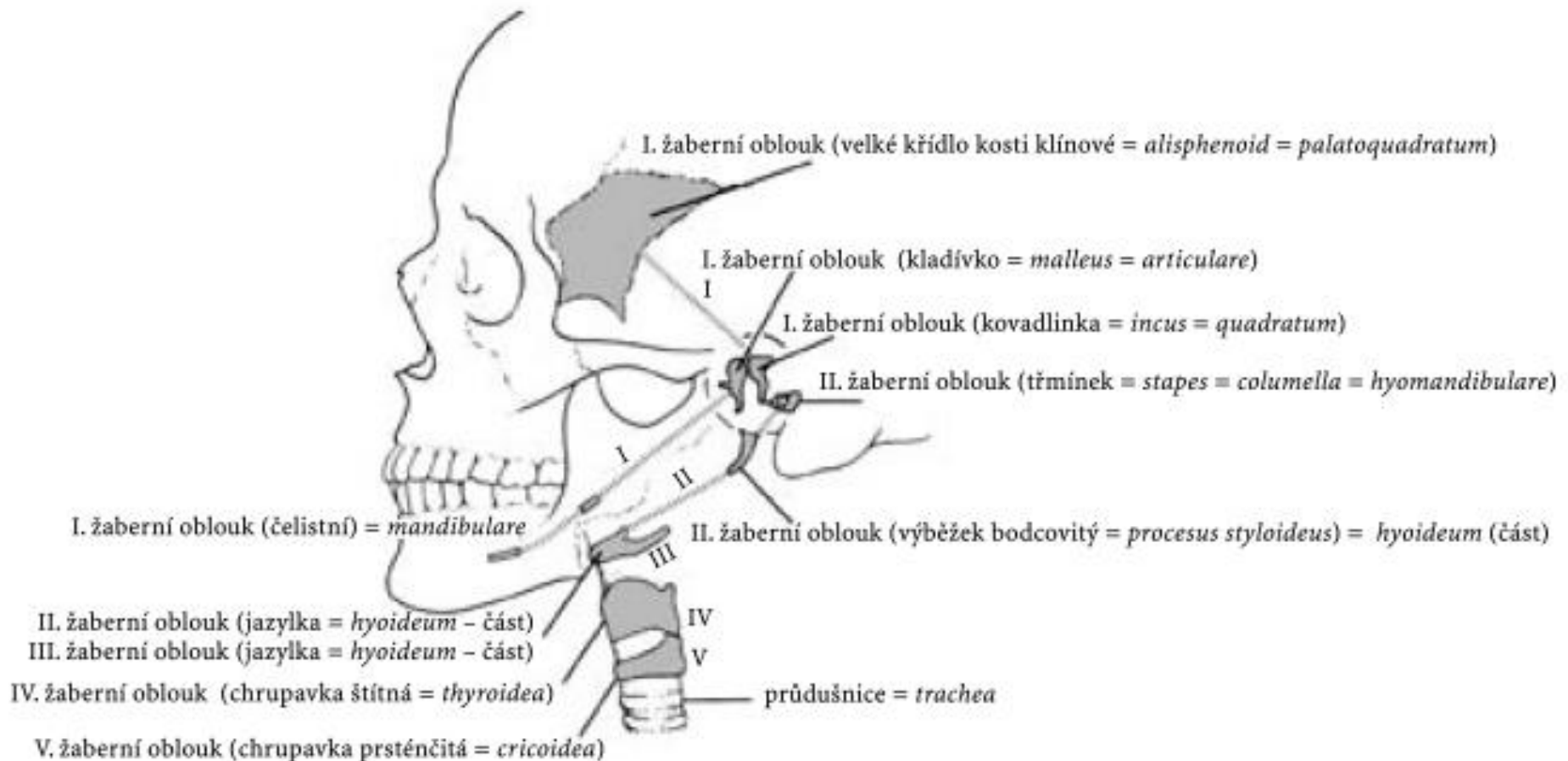
# Růst a vývoj palatum durum



**Figure 4.10** The formation of the palate: (a) 7 weeks; (b) 8 weeks; (c) 10 weeks. Left row – looking into roof of the mouth; right row – coronal sections through nose and mouth.



# Homologie žaberních oblouků na lidské lebce



**Obr. 2-20** Homologie žaberních oblouků na lidské lebce. Číslo žaberních oblouků jsou označena číslicemi I-V (podle Kenta 2001)

# Os occipitale

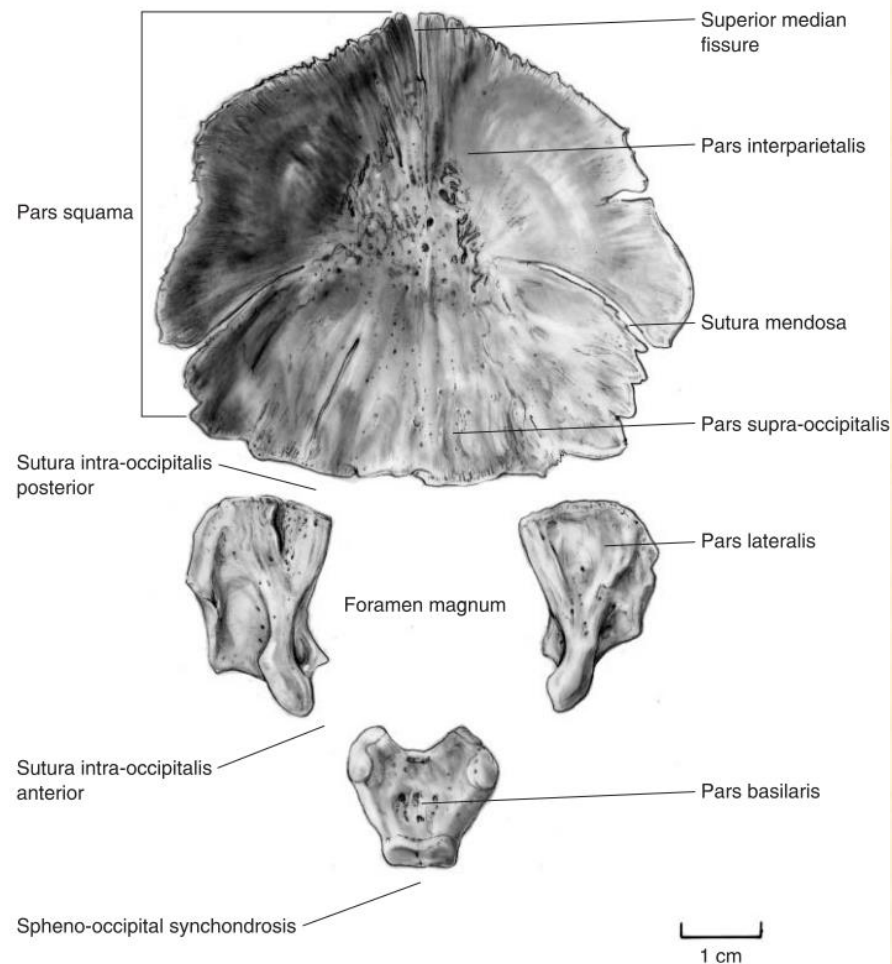


Figure 4.15 Intracranial view of the perinatal occipital.

## Morphological summary

### Prenatal

Wks 8–10

Ossification centres for supra-occipital, interparietal, pars lateralis appear in that order

By mth 5

Supra-occipital and interparietal parts of squama fuse centrally at the sutura mendosa

By mth 7

Pars basilaris develops lateral angle

By mth 8

Pars lateralis longer than pars basilaris



# Os temporale

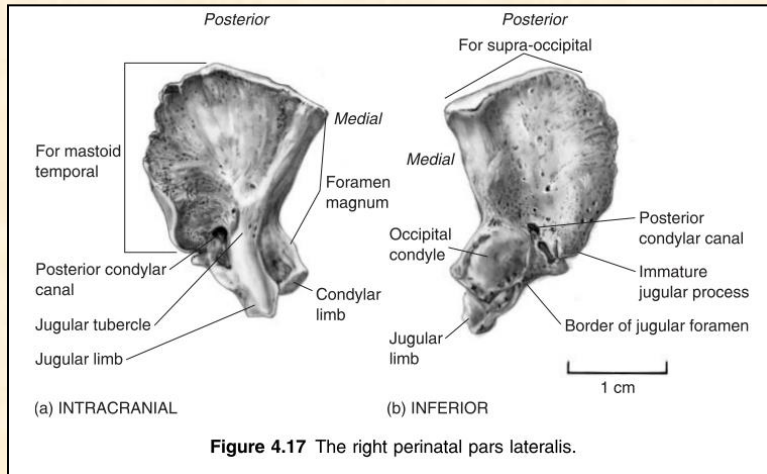


Figure 4.17 The right perinatal pars lateralis.

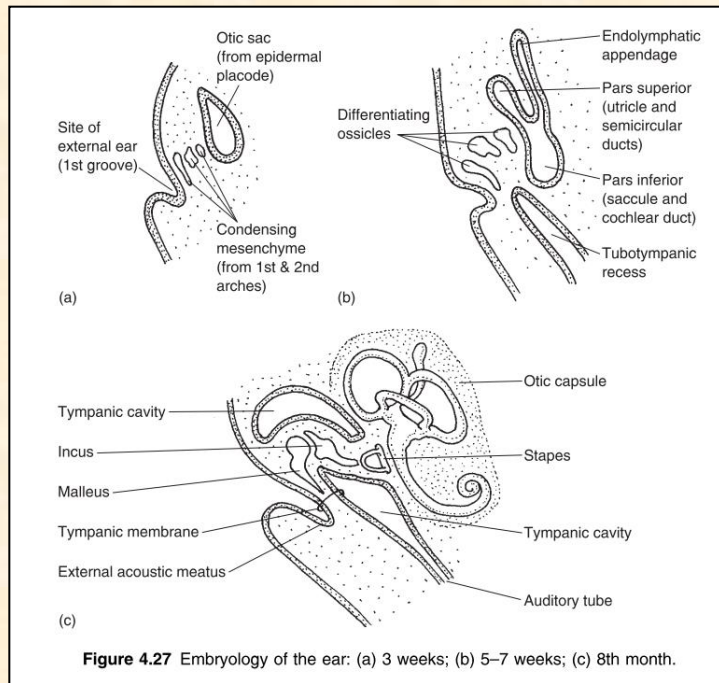


Figure 4.27 Embryology of the ear: (a) 3 weeks; (b) 5-7 weeks; (c) 8th month.

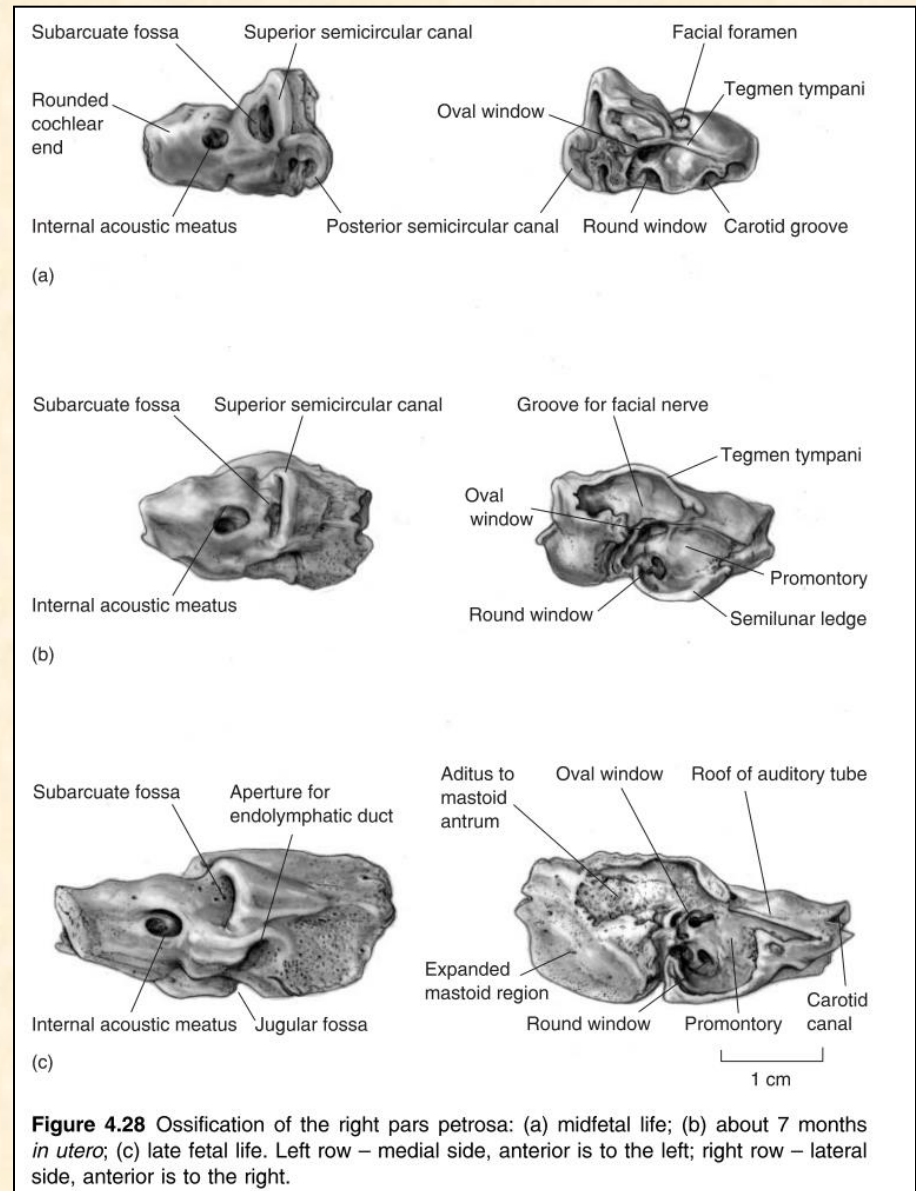


Figure 4.28 Ossification of the right pars petrosa: (a) midfetal life; (b) about 7 months in utero; (c) late fetal life. Left row – medial side, anterior is to the left; right row – lateral side, anterior is to the right.

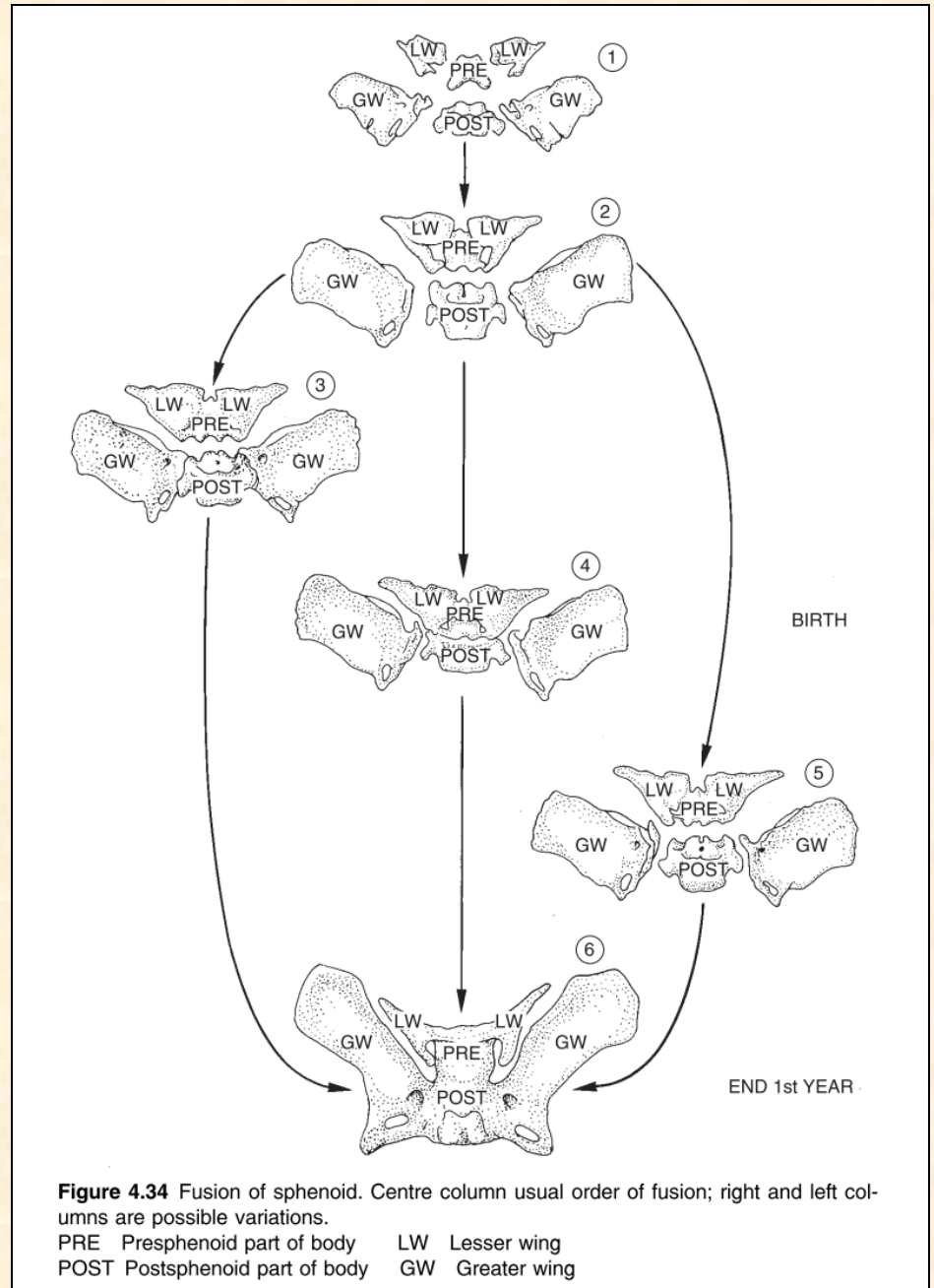
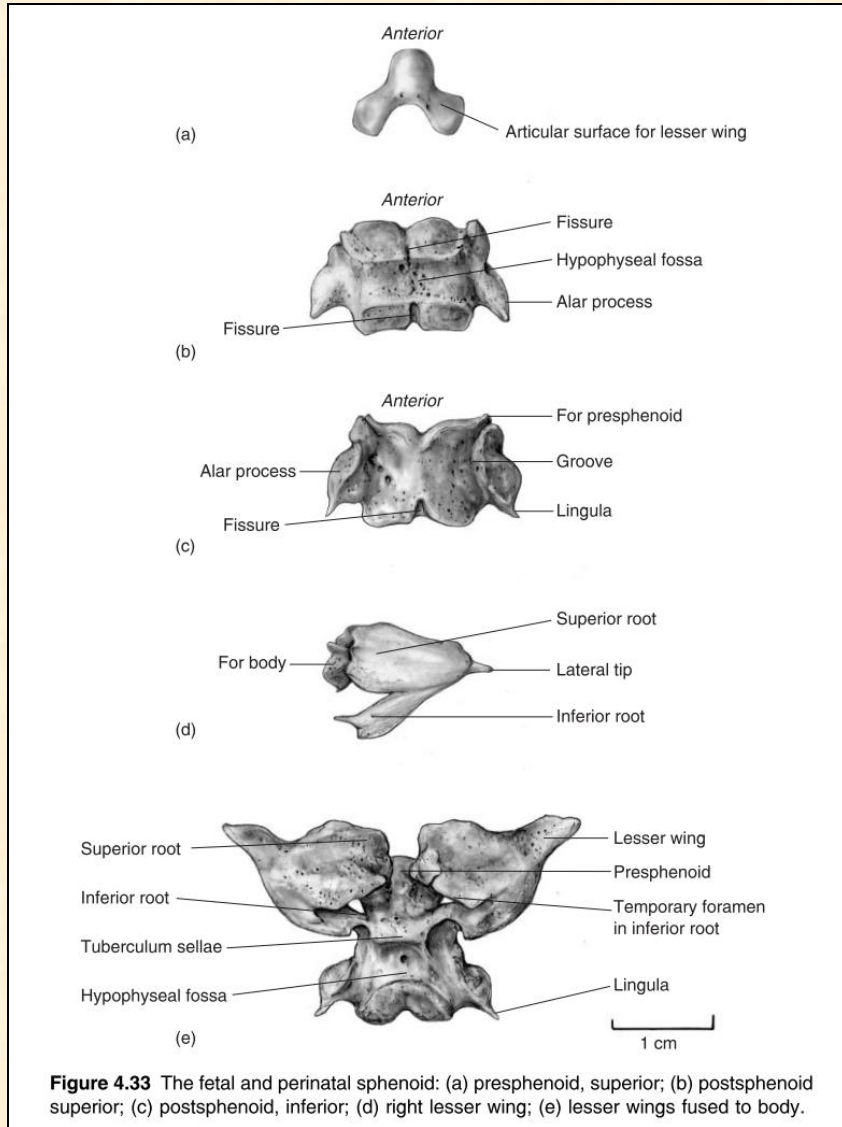
# Os temporale ossification

## ***Morphological summary***

### *Prenatal*

Wks 3–25	Development of membranous labyrinth
Wks 6–16	Cartilaginous anlagen of ossicles developing
Wks 7–8	Ossification centres for pars squama and goniale appear
Wk 9	First ossification centre for pars tympani appears
Wks 9–15	Development of cartilaginous otic capsule
Wk 12	Centres for tympanic ring joined together
Wk 16	First ossification centre for otic capsule appears; ossification centre for incus appears
Wks 16–17	Ossification centre for malleus appears
Wk 18	Ossification centre(s) for stapes appear(s)
Wk 19	Goniale fuses to malleus
Wk 30	Tympanic cavity complete except for lateral wall
Wk 35	Epitympanum complete
	Pneumatization of petromastoid starts
	Posterior segment of ring fuses to squamous part

# Os sphenoidale



**Figure 4.34** Fusion of sphenoid. Centre column usual order of fusion; right and left columns are possible variations.

PRE Presphenoid part of body    LW Lesser wing  
 POST Postsphenoid part of body    GW Greater wing

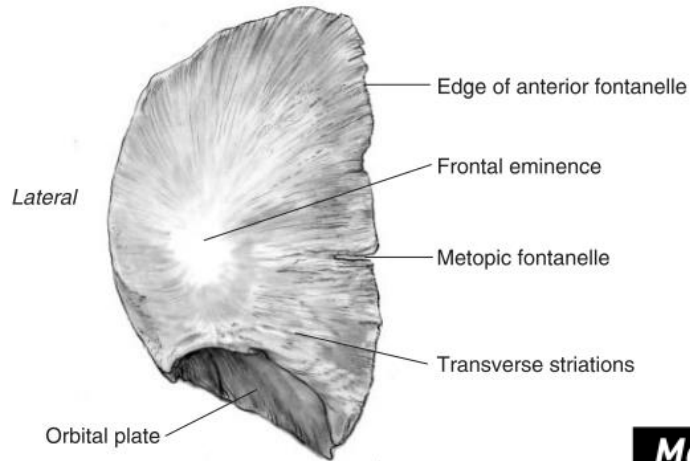
# Os sphenoidale

## ***Morphological summary***

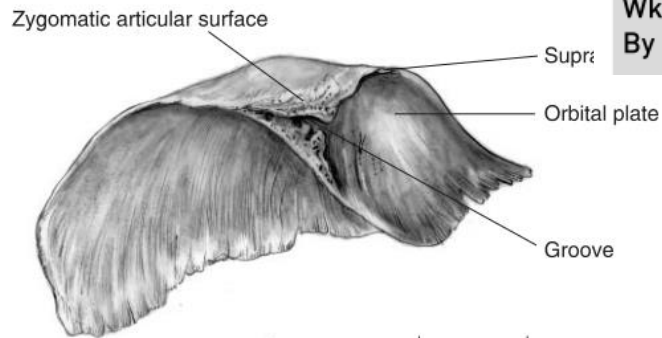
### *Prenatal*

Wks 9–10	Medial pterygoid plate and lateral part of greater wing commences ossification
Wks 12–14	Centres for postsphenoid part of body appear; centres for lesser wings appear
Early mth 3	Lateral pterygoid plate commences ossification; centre for hamulus appears
Wk 13	Centre for medial part of greater wing appears
Mths 4–6	First ossification centres for sphenoidal conchae appear
Mth 5	Ossification centre for lingula appears Lesser wings usually fused to body
By mth 8	Pterygoid plates fused to greater wings Pre- and postsphenoid parts of body usually fused together

# Os frontale



(a) ANTERIOR



(b) INFEROLATERAL

## *Morphological summary*

*Prenatal*

Wks 6–7

Primary centre of ossification appears

Wks 10–13

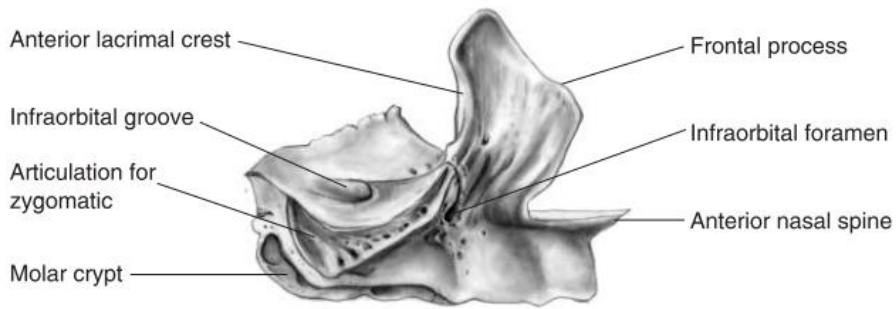
Zygomatic process and medial angular processes start ossifying

By mth 5

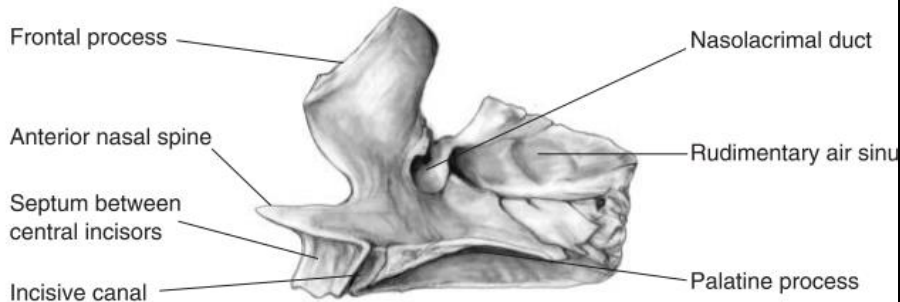
Anteroposterior longer than mediolateral length

**Figure 4.39** The right perinatal frontal.

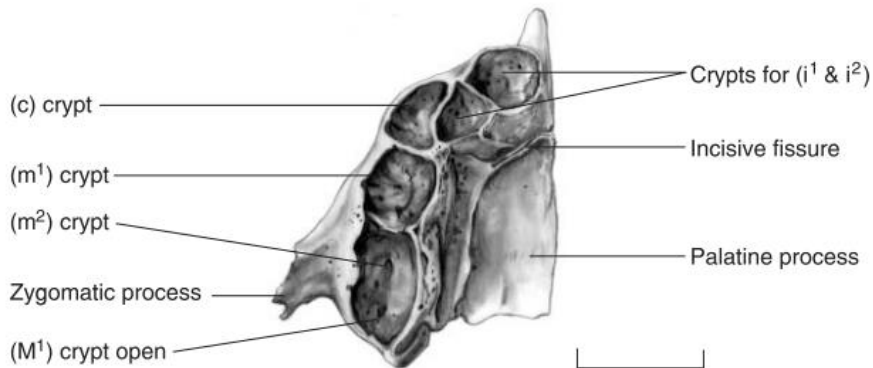
# Maxilla



(a) LATERAL



(b) MEDIAL



(c) PALATAL

1 cm

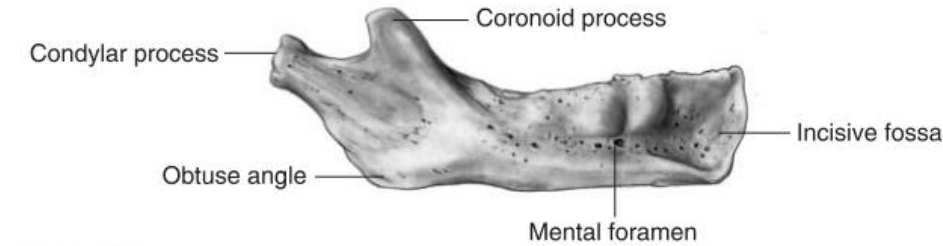
**Figure 4.50** The right perinatal maxilla.

## *Morphological summary*

### *Prenatal*

Wk 6	Ossification centre(s) appear(s)
By wk 8	Body and four processes identifiable
Wks 10–12	Maxillary sinus starts to develop
Wk 11	Formation of crypts for deciduous dentition
Wks 14–16	Deciduous tooth germs start to form
Wks 17–18	All deciduous crypts completed

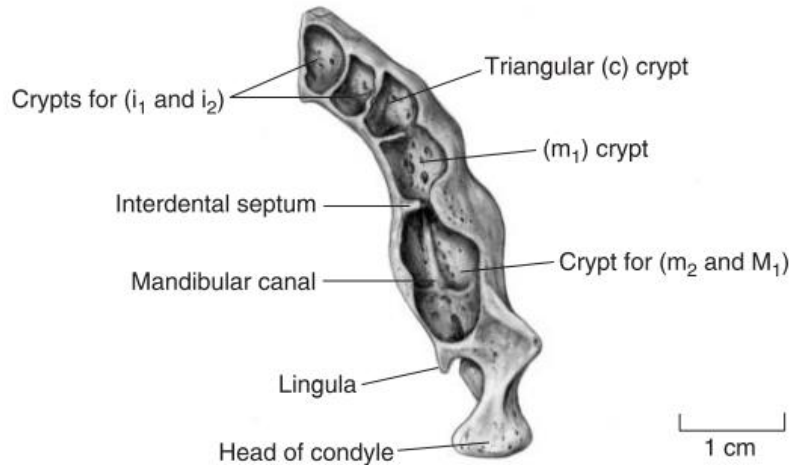
# Mandibula



(a) LATERAL



(b) MEDIAL



(c) ALVEOLAR

**Figure 4.53** The right perinatal hemi-mandible.

## Morphological summary

### Prenatal

Wk 6 Ossification centre develops lateral to Meckel's cartilage

Wk 7 Coronoid process differentiating

Wk 8 Coronoid fuses with main mass

About wk 10 Condylar and coronoid processes recognizable

Anterior part of Meckel's cartilage starting to ossify

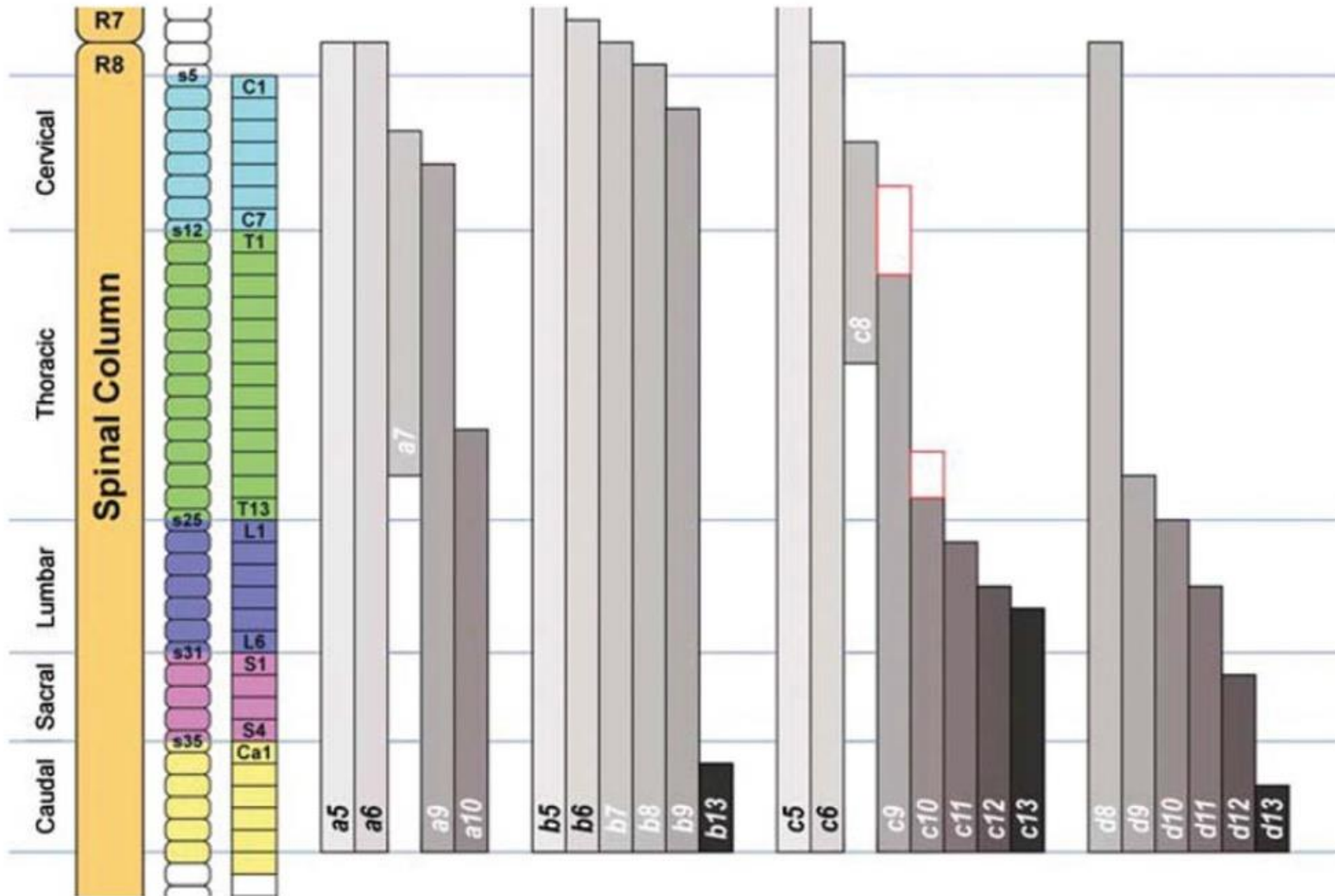
Wks 12-14 Secondary cartilages for condyle, coronoid and symphysis appear

Wks 14-16 Deciduous tooth germs start to form

### Birth

Mandible consists of separate right and left halves

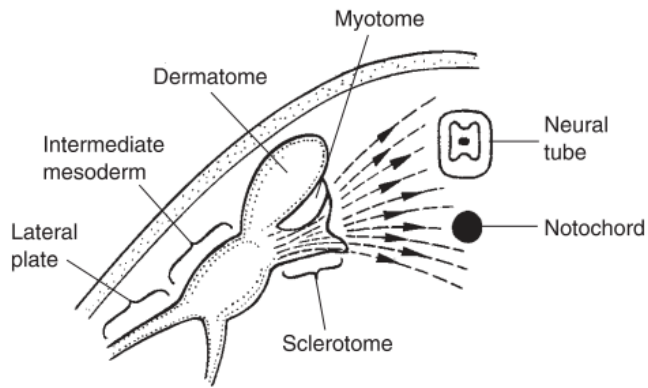
# HOX geny řídící vznik míšních segmentů



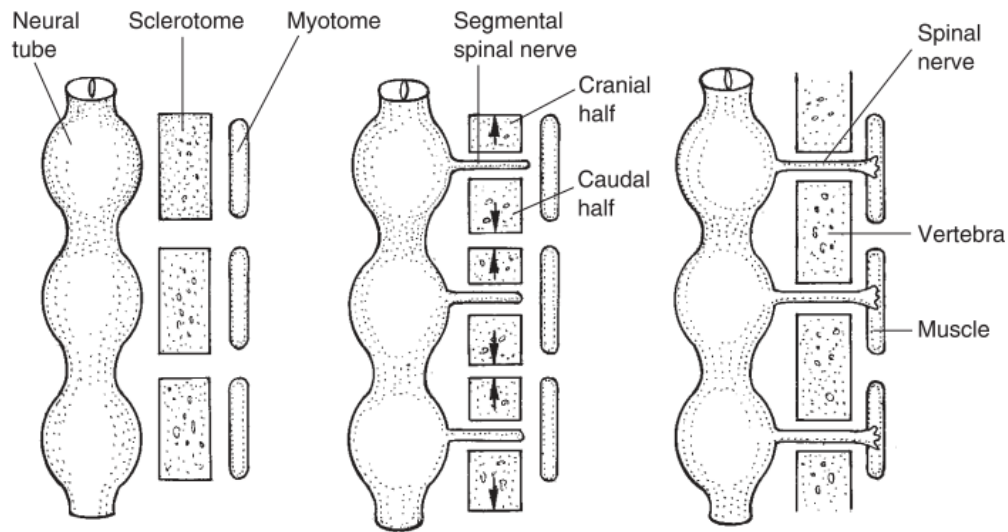
**Fig. 6.** Relationship between *Hox* gene expression and spinal cord domains. From Nolte and Krumlauf, 2006.



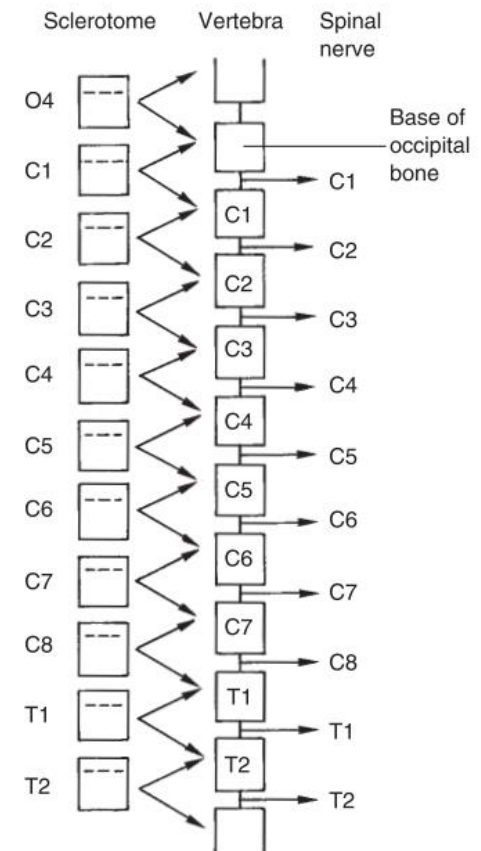
# Columna vertebralis



**Figure 6.2** Diagrammatic representation of the embryonic migration of the cells of the sclerotome.

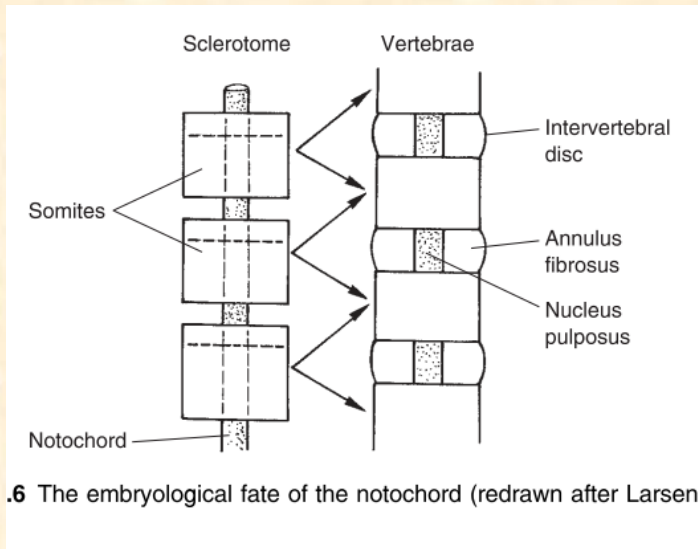


**Figure 6.3** Diagrammatic representation of the embryonic recombination of the sclerotome.

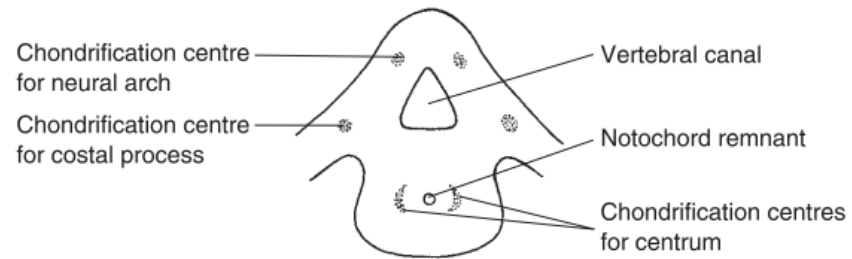


Embryonic differentiation of the upper regions of the vertebral column (after Larsen, 1993).

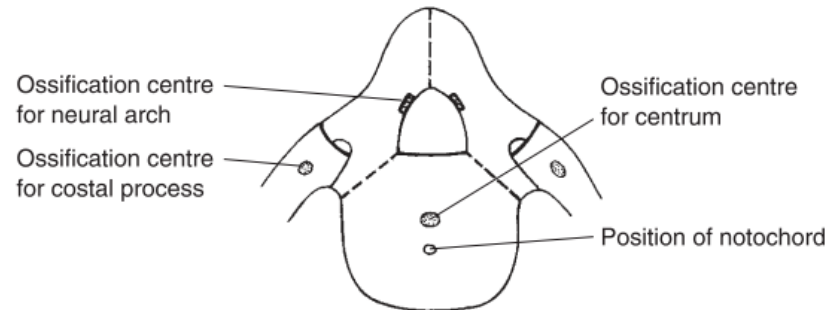
# Columna vertebralis



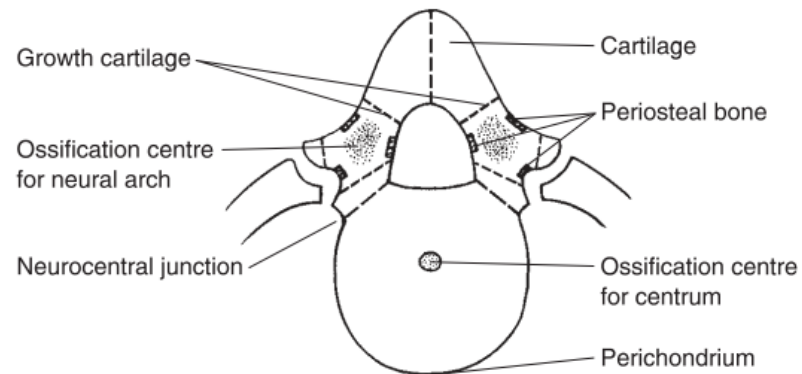
6 The embryological fate of the notochord (redrawn after Larsen,



(a) Blastemal stage with chondrification centres – approx. 6 prenatal weeks



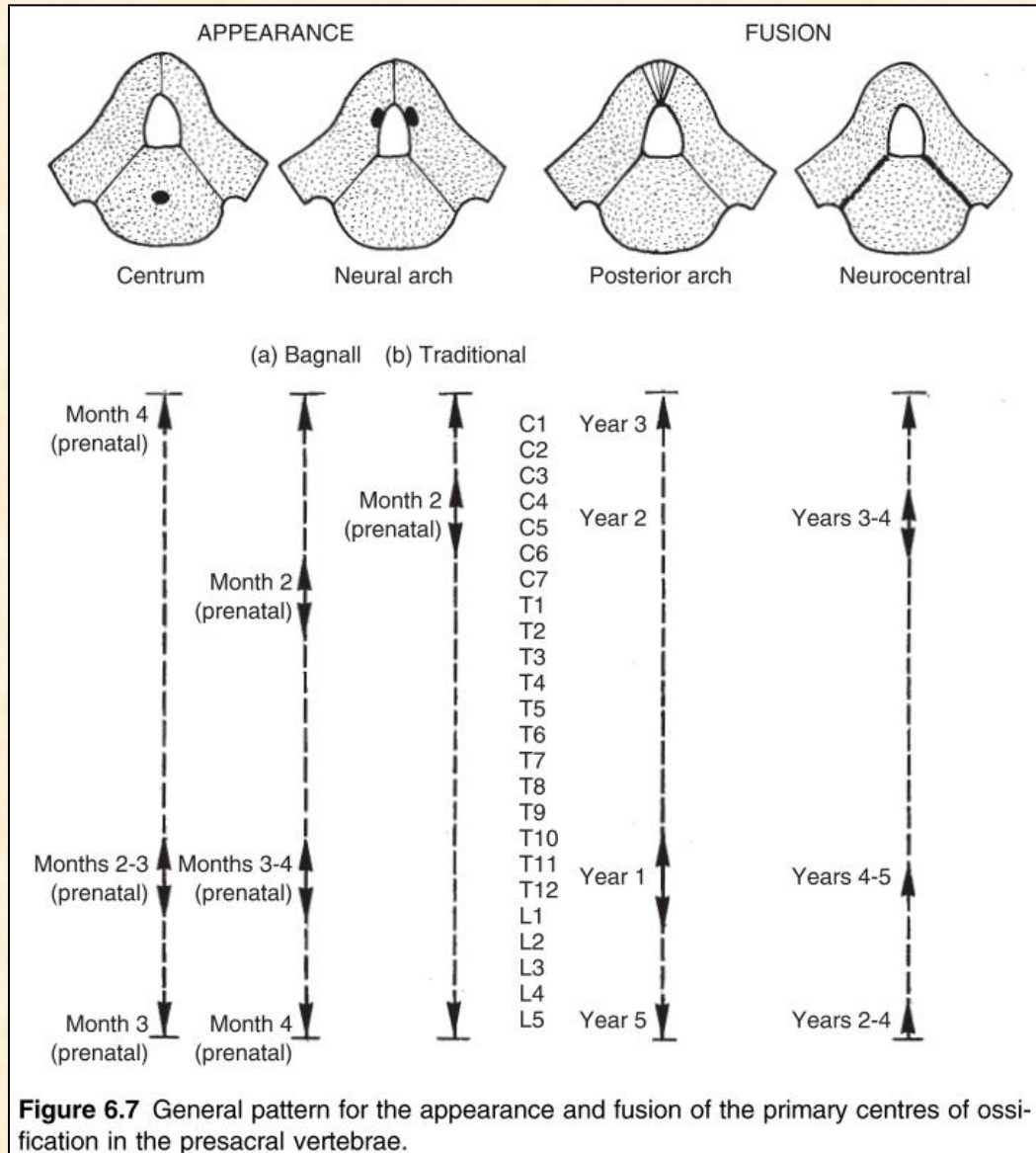
(b) Cartilaginous stage with primary centres of ossification – approx. 11-12 prenatal weeks



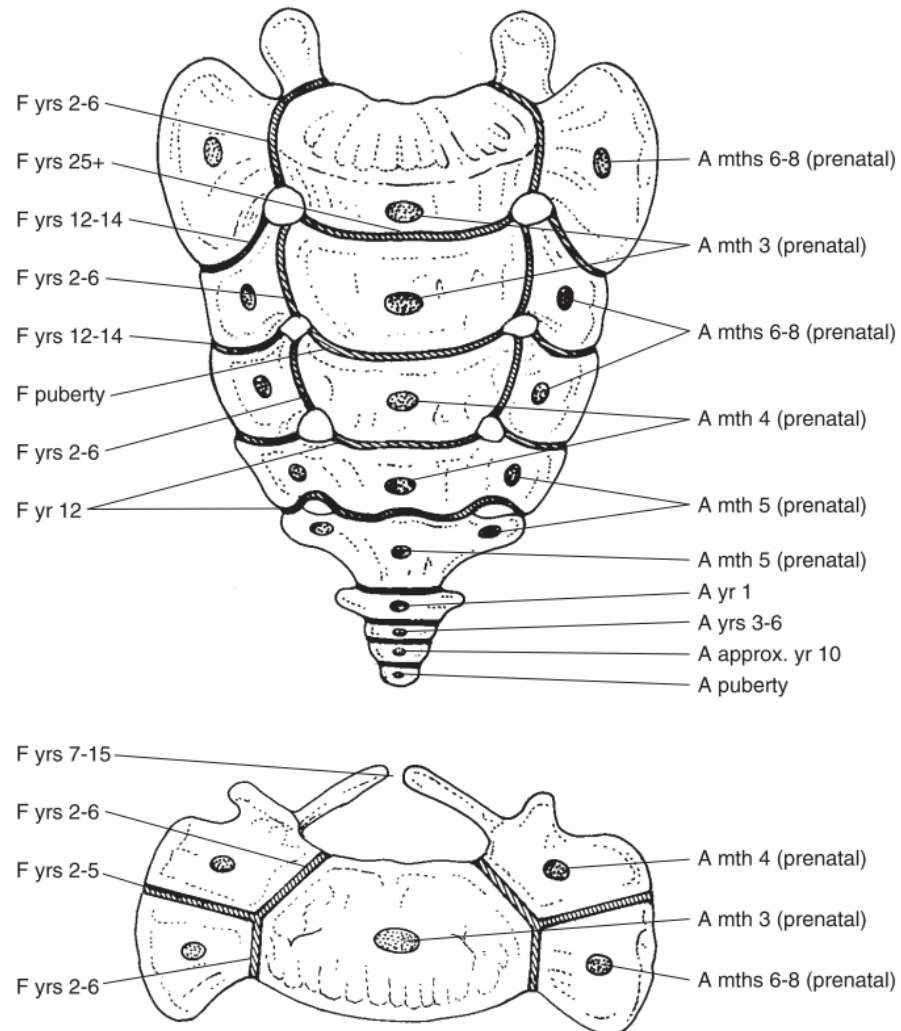
(c) Ossification centres at approx. 13-14 prenatal weeks (redrawn after Chandraraj and Briggs, 1991)

**Figure 6.5** The development of the vertebral anlage: (a) blastemal stage – approximately 6 prenatal weeks; (b) cartilaginous stage – approximately 11–12 prenatal weeks; (c) ossification – approximately 13–14 prenatal weeks (redrawn after Chandraraj and Briggs, 1991).

# Columna vertebralis



# Os sacrum



**Figure 6.20** The times of appearance (A) and fusion (F) of the primary ossification centres of the sacrum and coccyx.

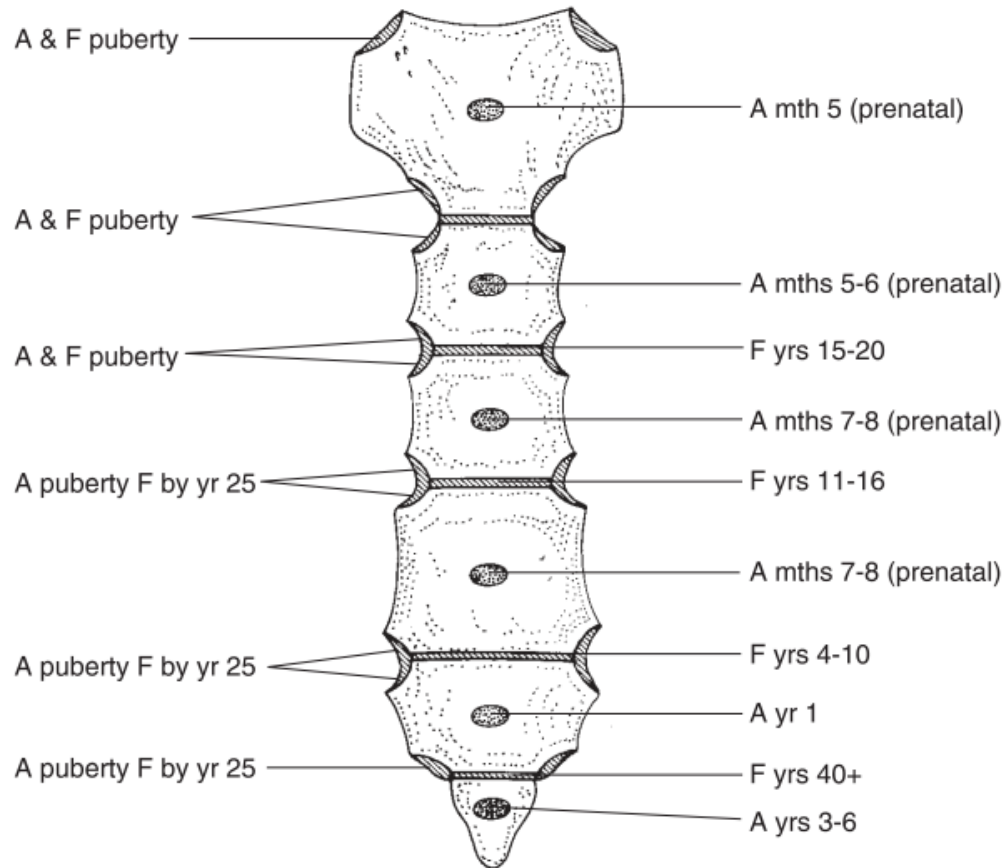
# Columna vertebralis

## ***Morphological summary***

### *Prenatal*

Mth 2	Ossification centres appear for lateral masses of C1 and neural arches of C2–T2
Mth 3	Ossification centres appear for centra of C4–S2; neural arches of T3–L2; costal elements (ribs) in thoracic region
Mth 4	Ossification centres appear for centra of C2–3 and S3–4; neural arches of L3–S3; paired centres for odontoid process. All primary ossification centres for the presacral vertebrae are present by this age (except anterior arch of C1)
Mth 5	Ossification centres appear for centrum of S5 and neural arches of S4–5
Mth 6	Ossification centres appear for costal process of C7 and for lateral elements of S1–3
Mth 7	Intradental fusion
Mth 8	Ossification centres for Co1 and cornua may appear

# Sternum



**Figure 7.5** Times of appearance (A) and fusion (F) of the primary ossification centres of the sternum.

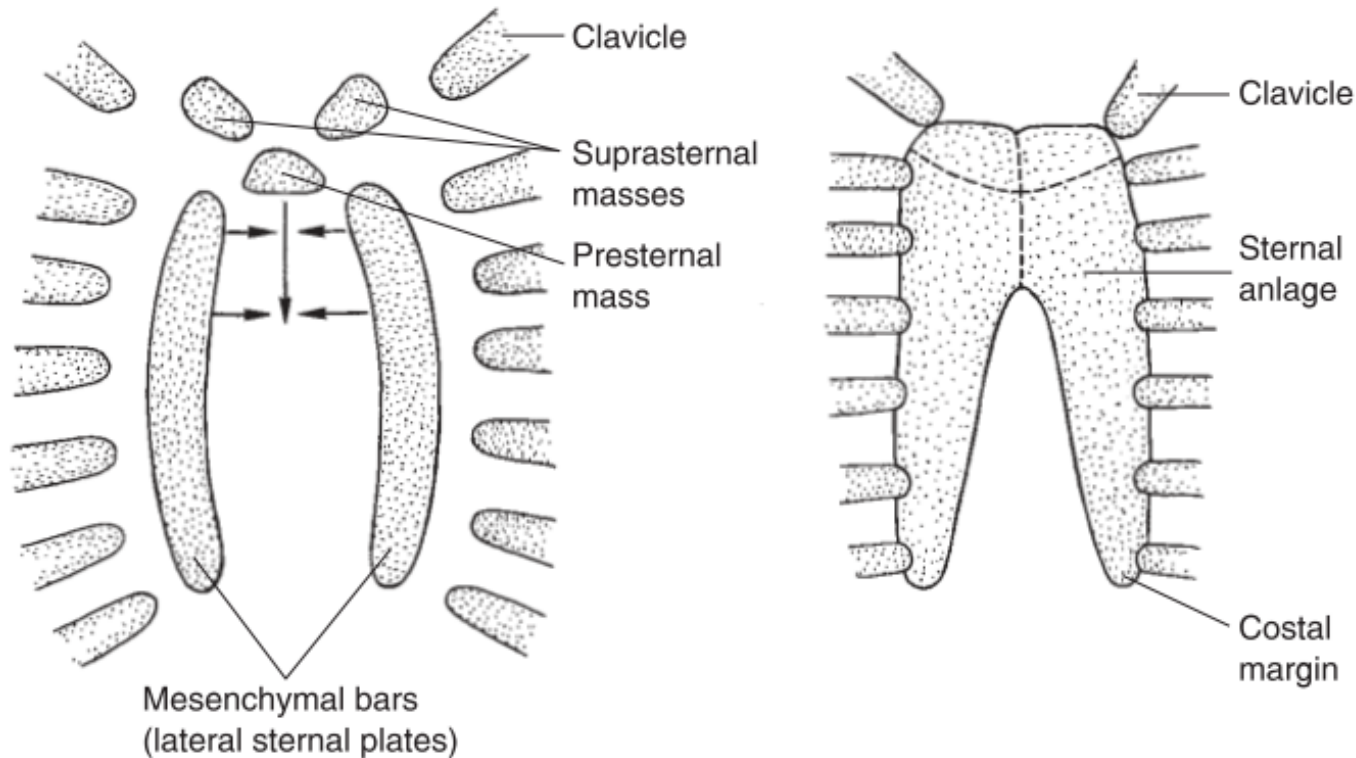
## ***Morphological summary (Fig. 7.13)***

### *Prenatal*

Wks 8–9 Ossification centres appear for ribs 5–7

Wks 11–12 Ossification centres present in all ribs

# Embryonální vývoj přední části thoraxu

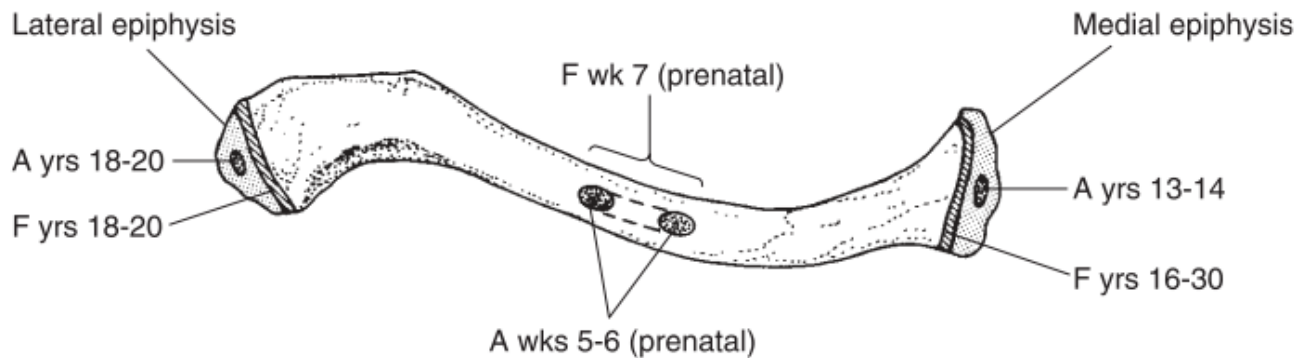


(a) 6 prenatal weeks

(b) 8-9 prenatal weeks

**Figure 7.2** A diagrammatic representation of the embryological development of the sternum (redrawn after Larsen, 1993).

# Clavicula



**Figure 8.2** Appearance (A) and fusion (F) times of the clavicular ossification centres.

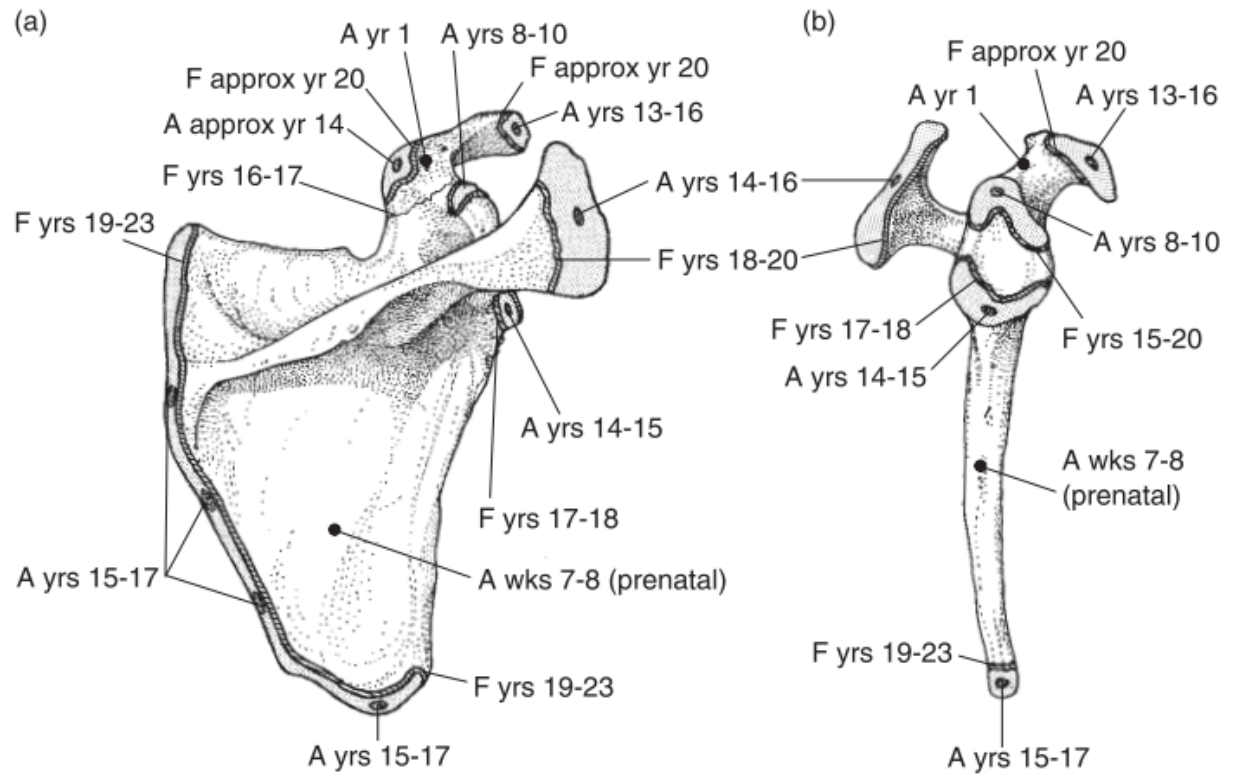
## ***Morphological summary (Fig. 8.2)***

### *Prenatal*

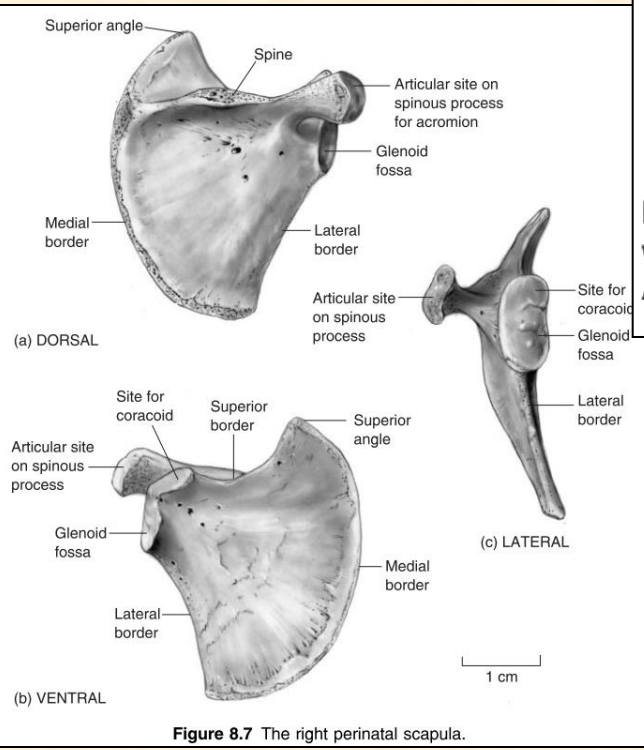
Wks 5–6	Primary ossification centres appear
Wk 7	Two centres fuse to form a single mass
Wks 8–9	Clavicle becomes 'S' shaped
Wk 11	Clavicle adopts adult morphology



# Scapula



**Figure 8.15** The principal primary centre of ossification of the scapula appears during weeks 7–8 of prenatal life and that for the coracoid process during the first year of life. Appearance (A) and fusion (F) of secondary centres – (a) dorsal; (b) lateral.

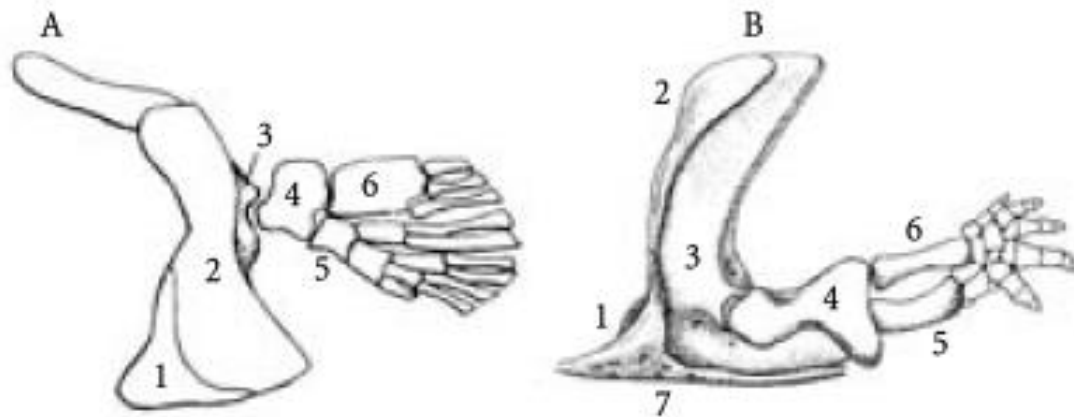


**Figure 8.7** The right perinatal scapula.

**Morphological summary (Fig. 8.15)**

<b>Prenatal</b>	
<b>Wks 7–8</b>	Primary ossification centre appears
<b>Wks 12–14</b>	Main body of the scapula has adopted close to adult morphology

# Srovnání kostry horní končetiny nižších obratlovců



**Obr. 2-14** Srovnání pletence přední končetiny:

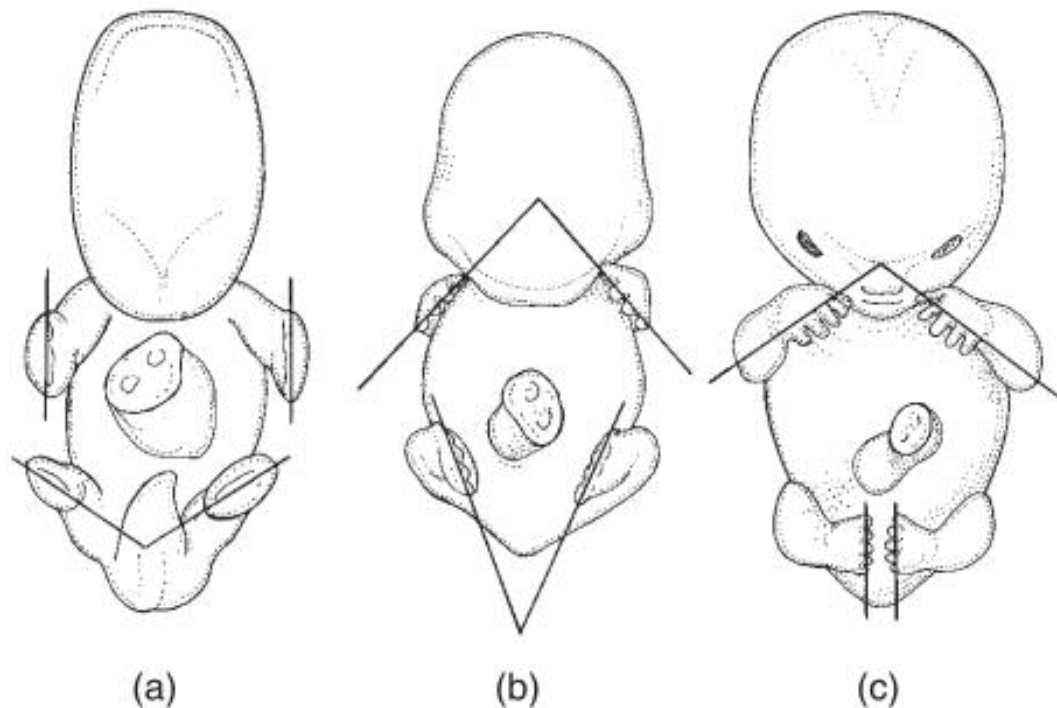
A - lalokoploutvé ryby (*Crossopterygii*), B - primitivního obojživelníka (*Amphibia*),

1 - *clavicula*, 2 - *cleithrum*, 3 - *scapula*, 4 - *humerus*,

5 - *ulna*, 6 - *radius*, 7 - *interclavicula*; kraniální směr je vlevo

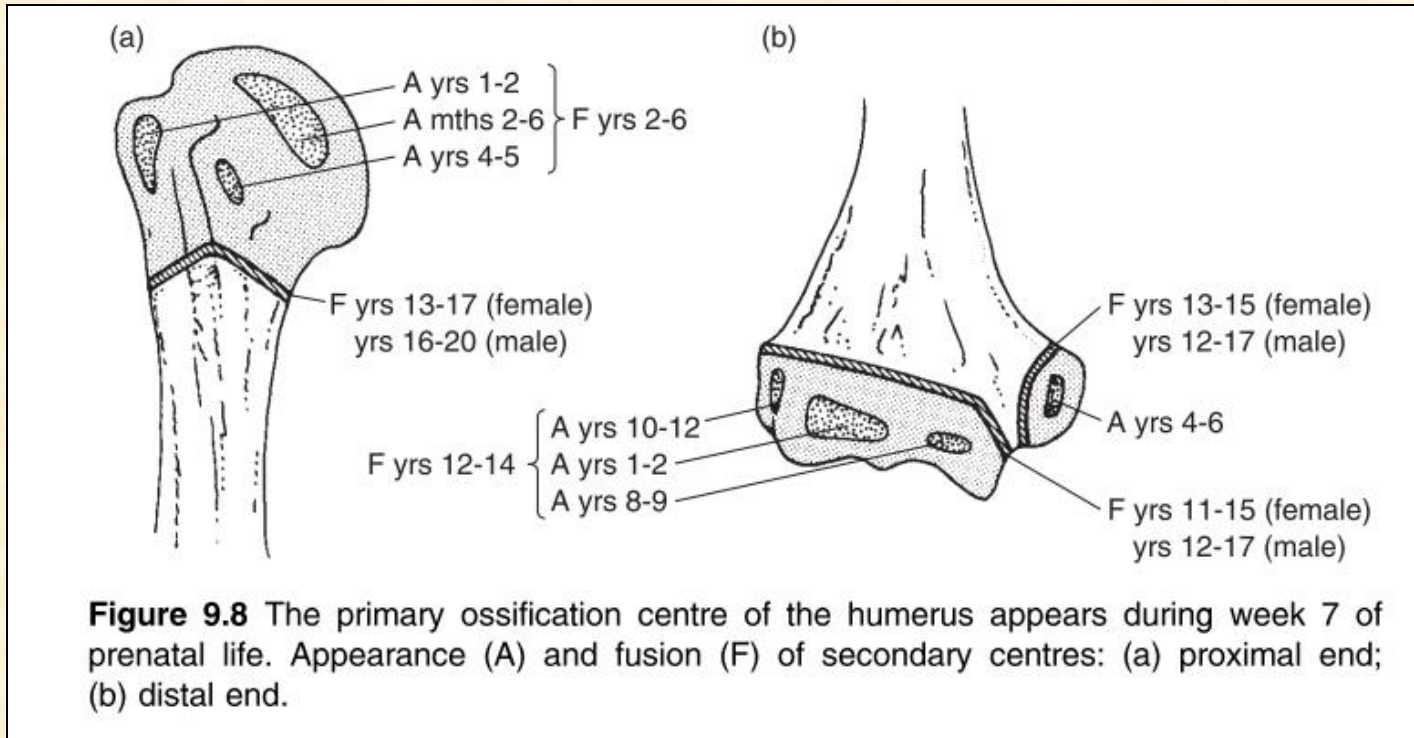
(podle Gregoryho 1923 a Romera 1977)

# Vývoj končetin embrya



**Figure 9.4** (a) Stage 17; (b) Stage 19; (c) Stage 23 embryos to show rotation of the developing limbs (redrawn after O'Rahilly and Gardner, 1975).

# Humerus

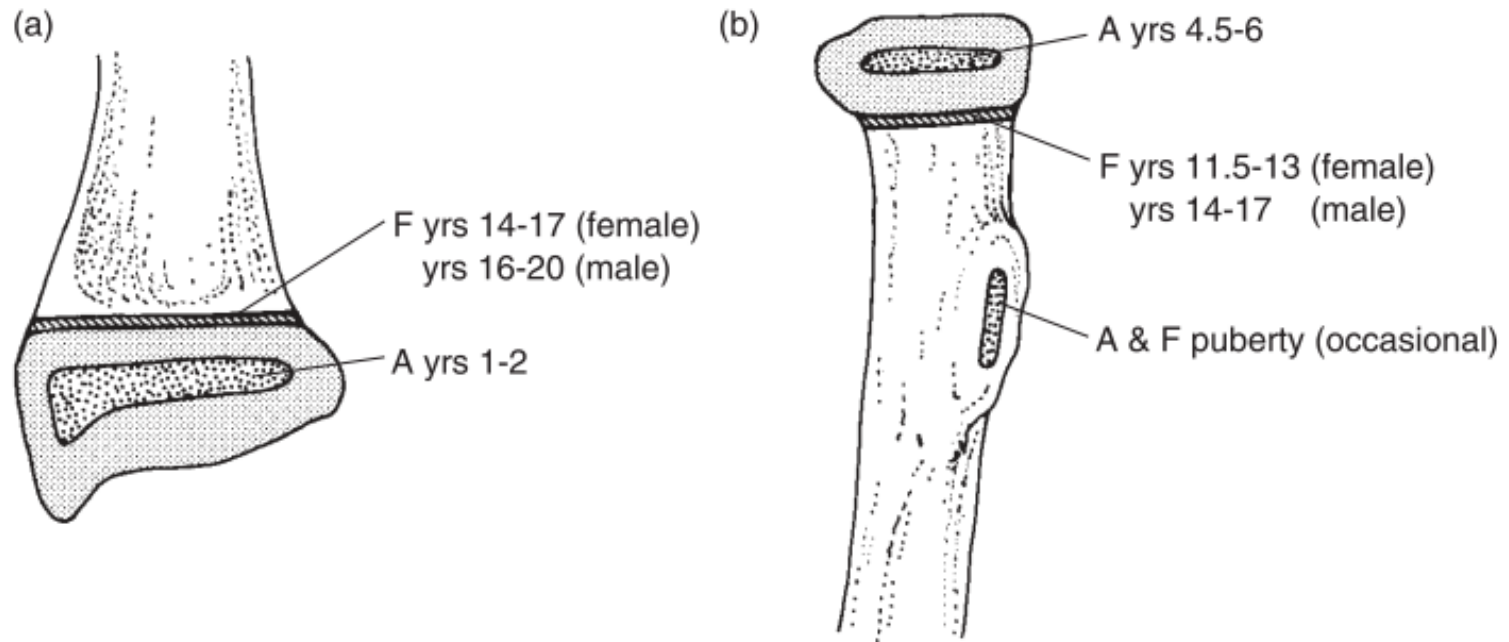


## ***Morphological summary (Fig. 9.8)***

### *Prenatal*

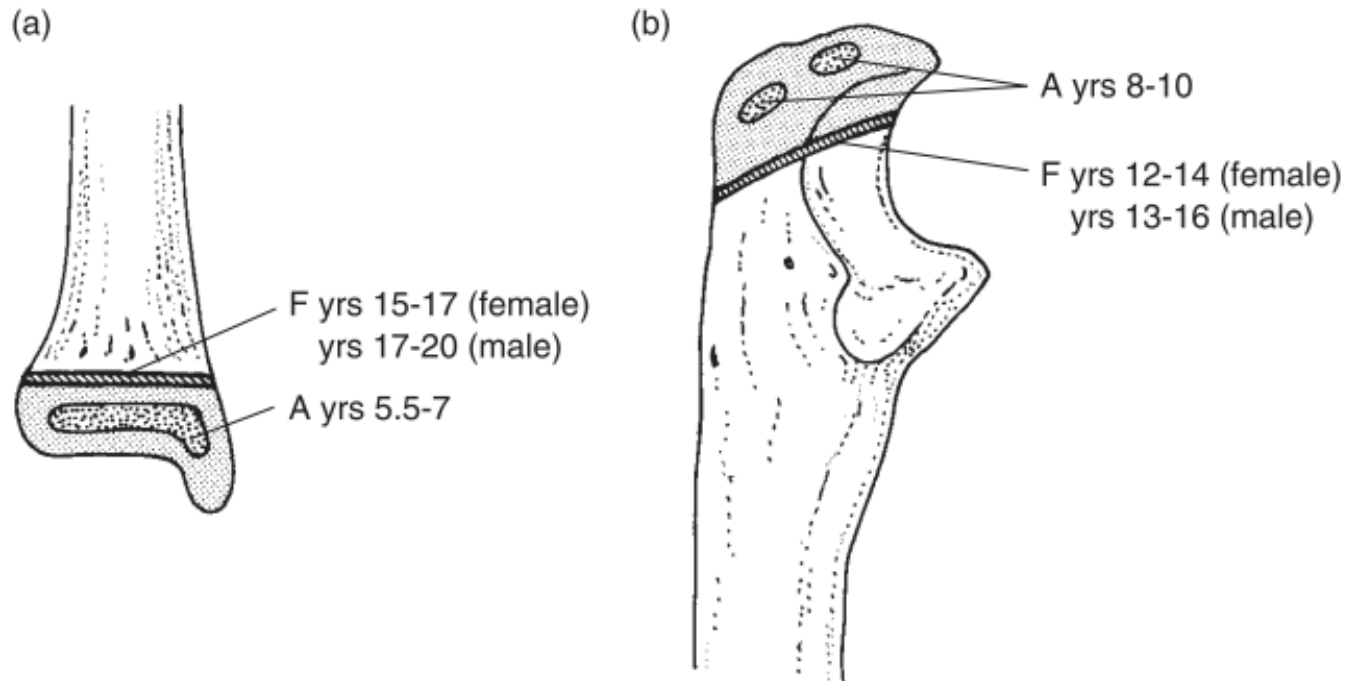
Wk 7	Primary ossification centre appears
Wks 36–40	Secondary ossification centre for the head may be visible

# Radius



**Figure 9.14** The primary ossification centre of the radius appears during week 7 of pre-natal life. Appearance (A) and fusion (F) of secondary centres – (a) distal end; (b) proximal end.

# Ulna



**Figure 9.19** The primary ossification centre of the ulna appears during week 7 of prenatal life. Appearance (A) and fusion (F) of secondary centres – (a) distal end; (b) proximal end.

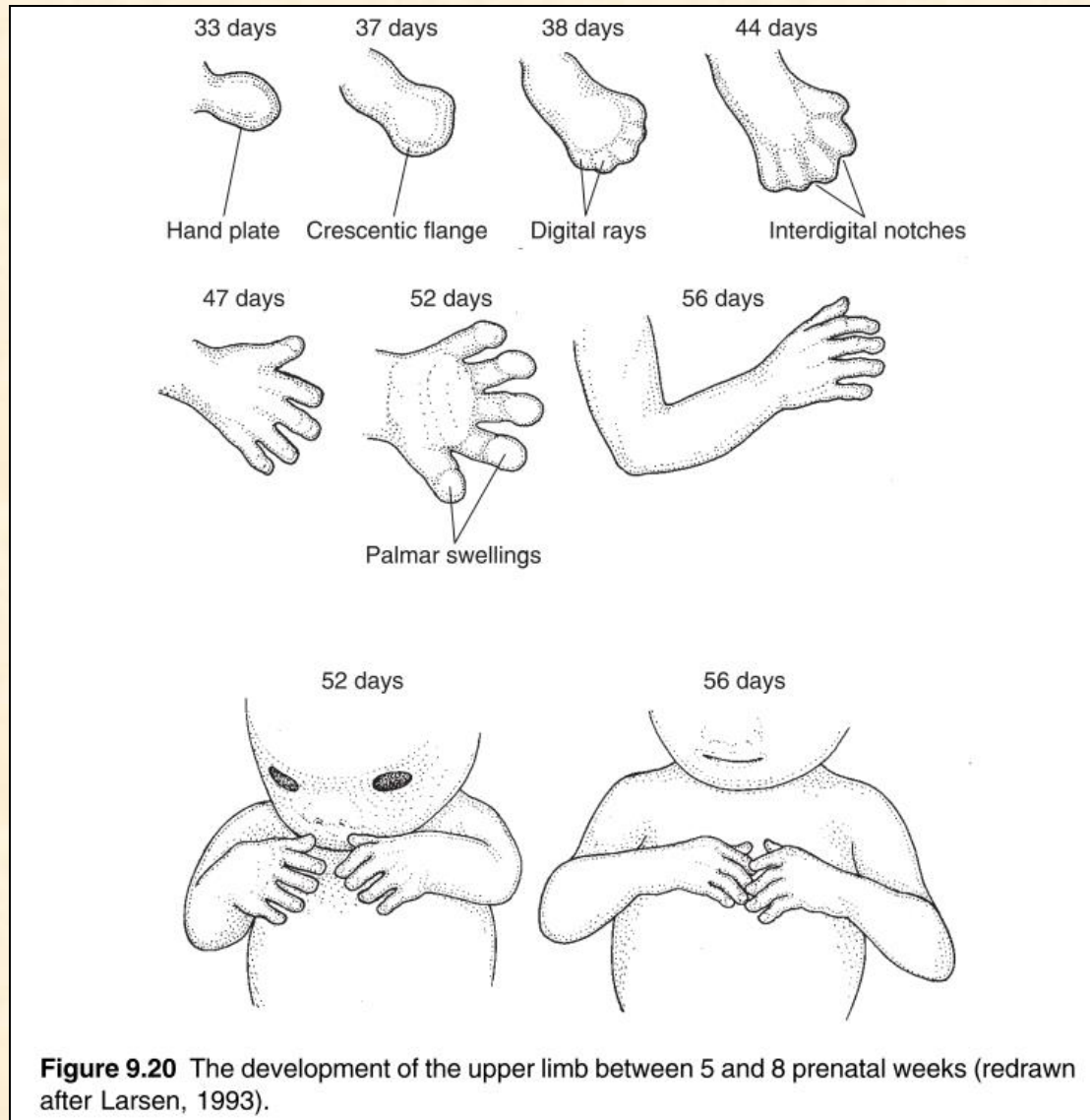
## ***Morphological summary (Fig. 9.19)***

*Prenatal*

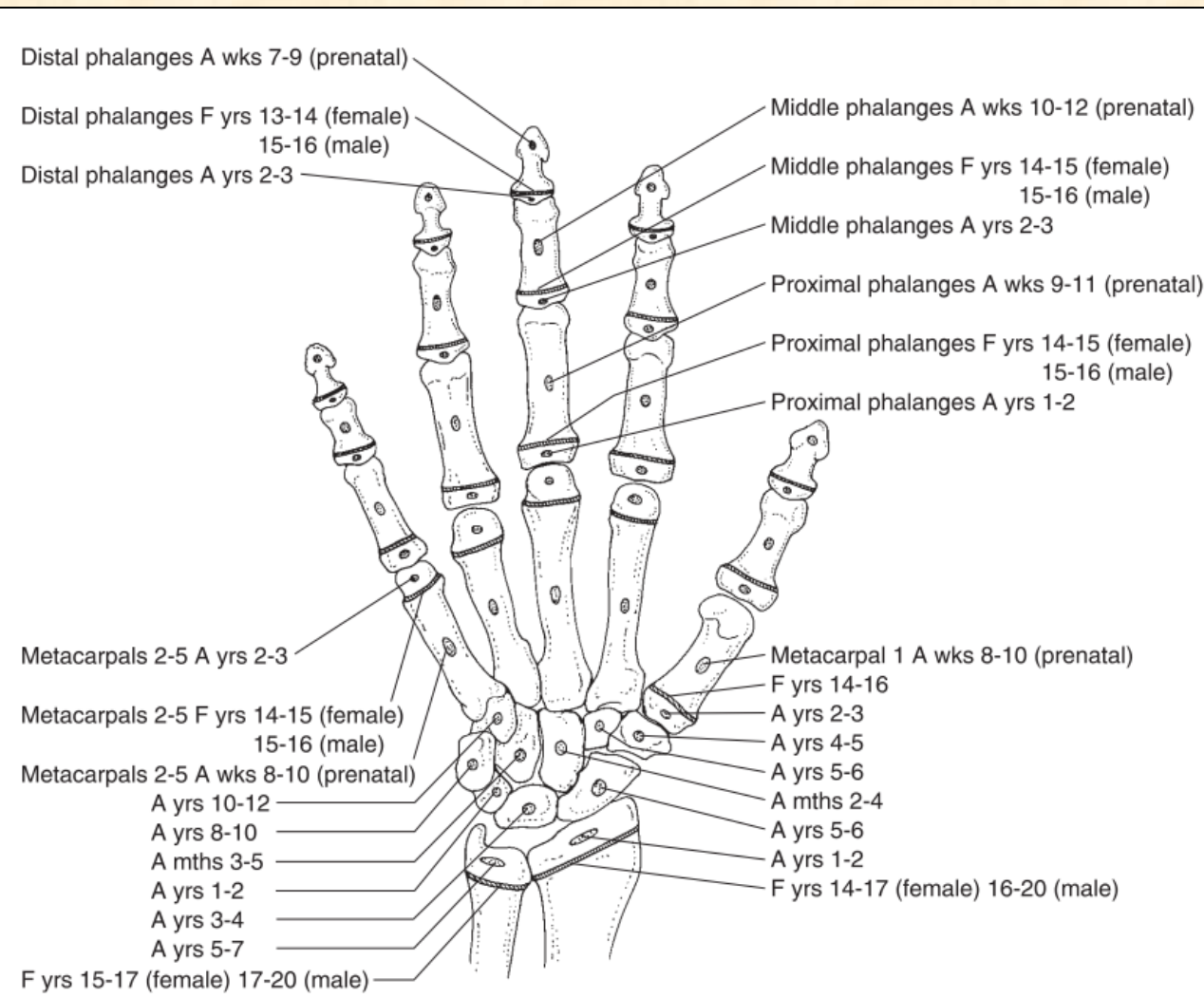
Wk 8

Primary ossification centre appears

# Vývoj horní končetiny - ruka



# Kostra ruky



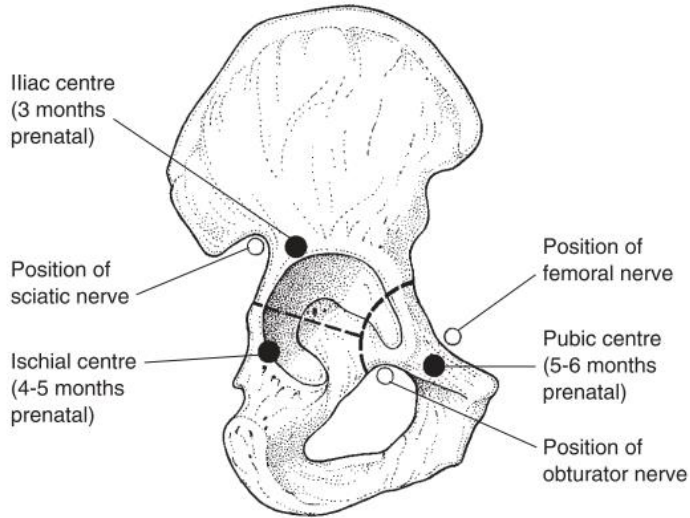
**Figure 9.32** Appearance (A) and fusion (F) times of the ossification centres of the hand.

## **Morphological summary (Fig. 9.32)**

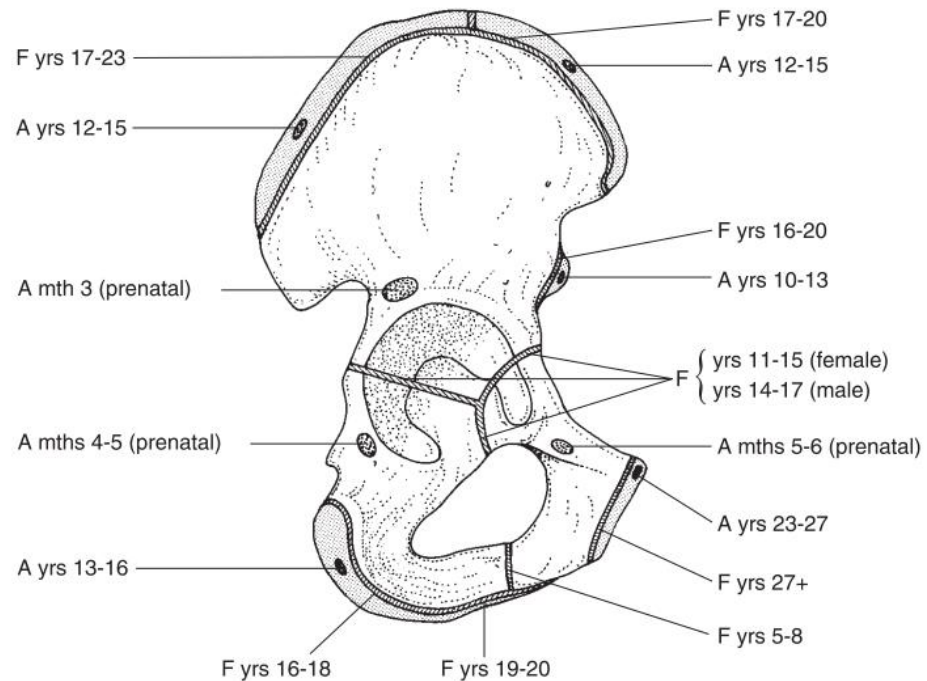
<i>Prenatal</i>	
Wks 7–9	Primary ossification centres appear for distal phalanges
Wks 8–10	Primary ossification centres appear for metacarpals
Wks 9–11	Primary ossification centres appear for proximal phalanges
Wks 10–12	Primary ossification centres appear for middle phalanges



# Pelvis



**Figure 10.2** The position of the primary centres of ossification (and indeed chondrification) and the principal nerves of the lower limb in relation to the right innominate.



Appearance (A) and fusion (F) times of the innominate ossification centres

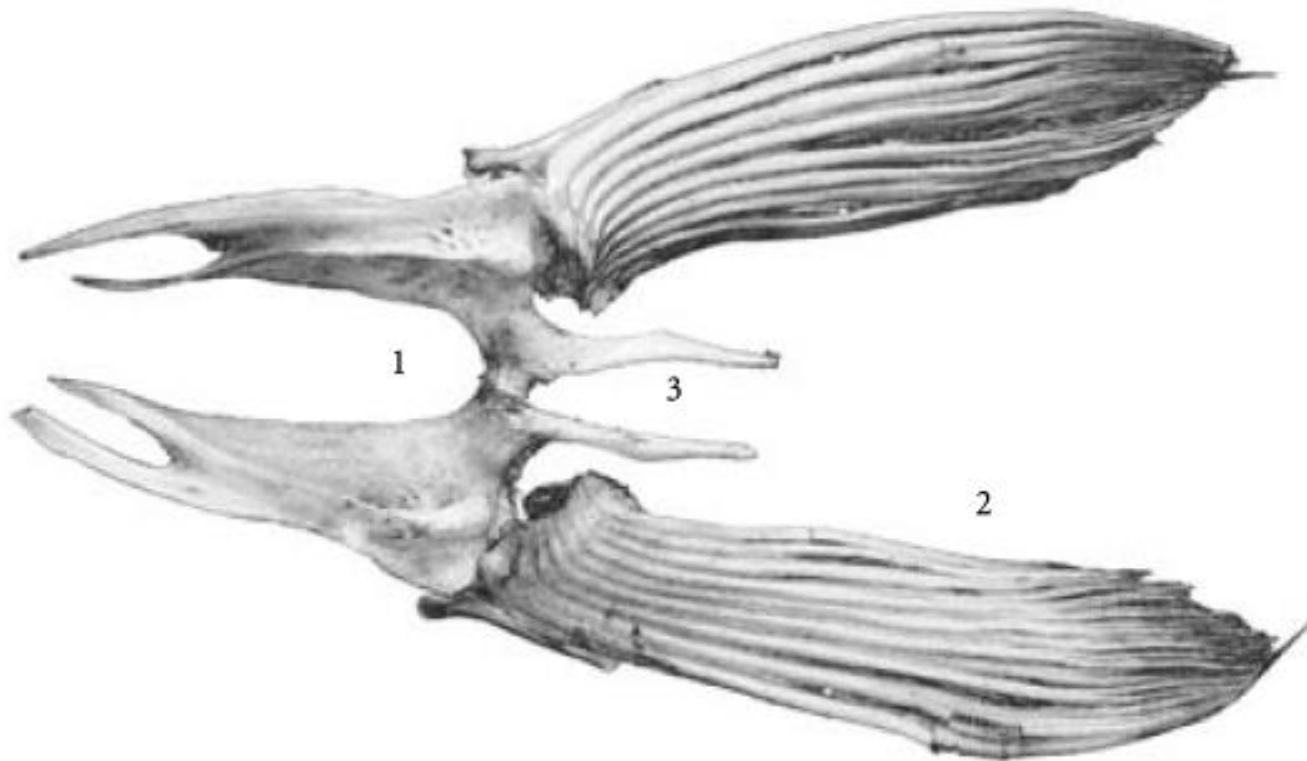
## Morphological summary (Fig. 10.22)

### Prenatal

Mths 2-3	Ilium commences ossification
Mths 4-5	Ischium commences ossification and ilium is recognizable
Mths 5-6	Pubis commences ossification
Mths 6-8	Ischium is recognizable in isolation

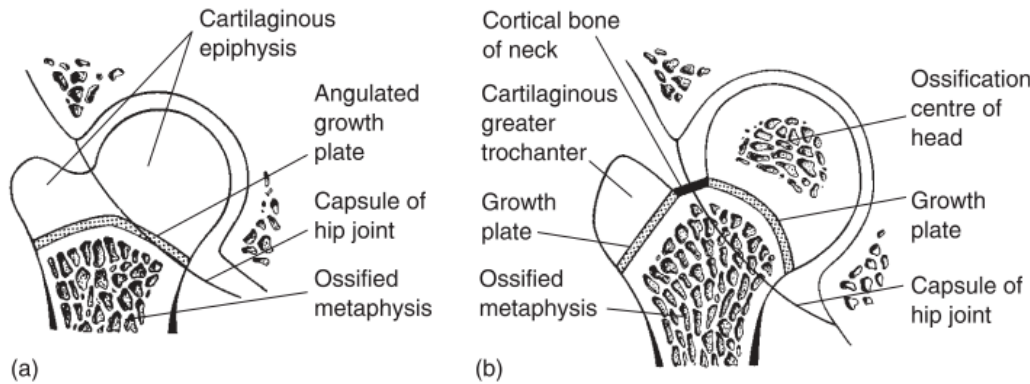
# Pánevní kosti a „končetiny“ ryby

Pitx 1 geny ovlivňují vznik „pánve“ už u některých ryb

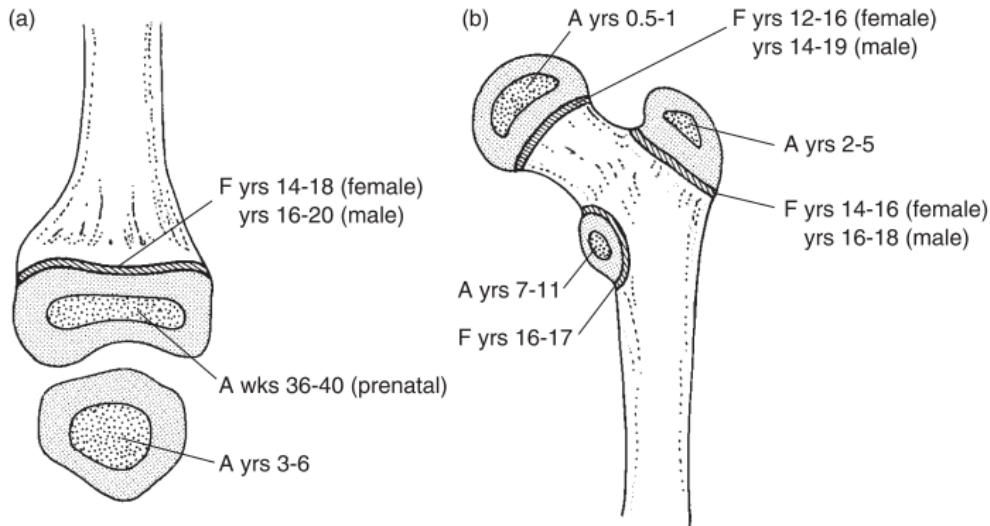


**Obr. 2-12** Kostra pánevního pásma kostnatých ryb: kapr obecný (*Cyprinus carpio*):  
1 – kosti pánevního pásma chondrálního původu, které jsou homologické pánevním kostem tetrapodů (*ilium*, *ischii* a *pubis*), 2 – paprsky břišních ploutví, 3 – symfýza párových kostí  
(orig.)

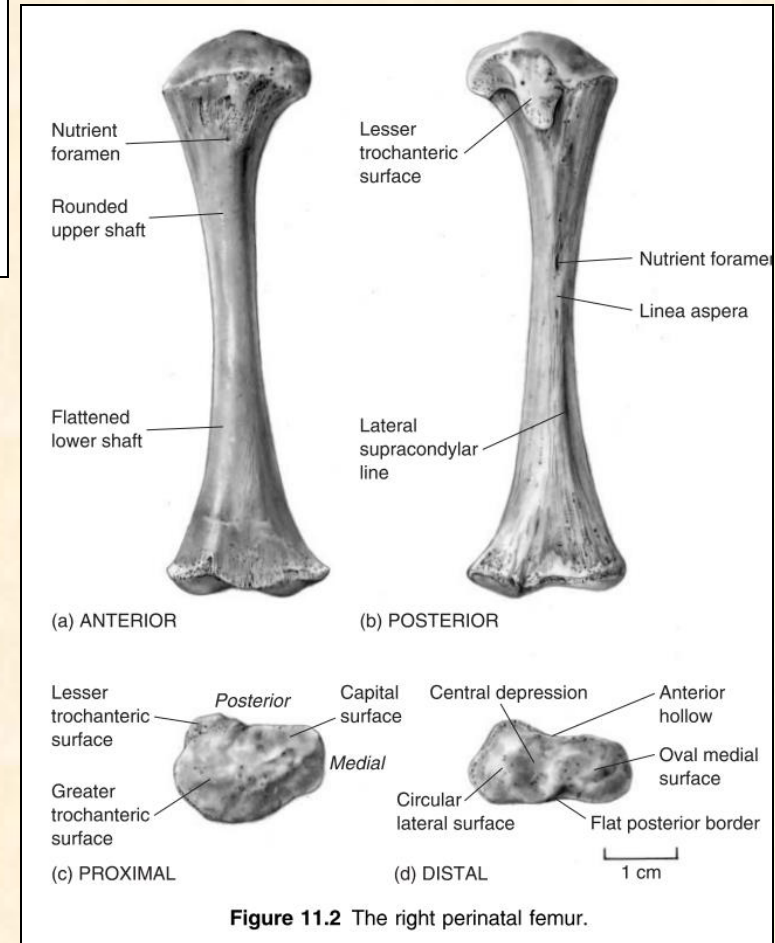
# Femur



**Figure 11.3** The development of the proximal end of the femur. (a) At birth; (b) 3–4 years.



**Figure 11.9** The primary ossification centre of the femur appears during weeks 7–8 of prenatal life and the centre for the patella in years 3–6 of postnatal life. Appearance (A) and fusion (F) times of the secondary centres of the femur – (a) proximal end; (b) distal end.



**Figure 11.2** The right perinatal femur.

## Morphological summary (Fig. 11.9)

### Prenatal

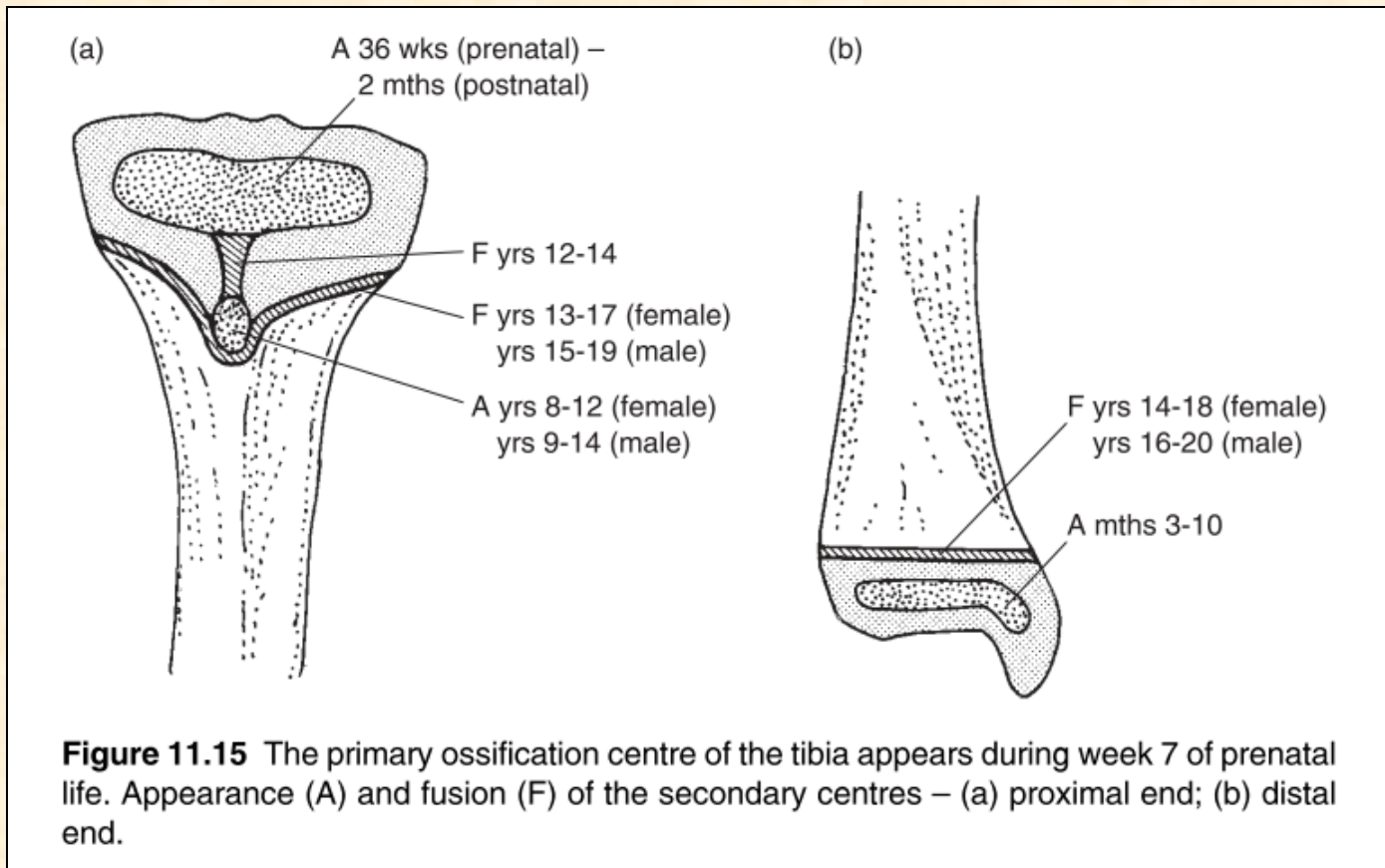
Wk 7–8

Primary ossification centre appears in shaft

Wks 36–40

Secondary centre for distal epiphysis appears

# Tibia



## ***Morphological summary (Fig. 11.15)***

### *Prenatal*

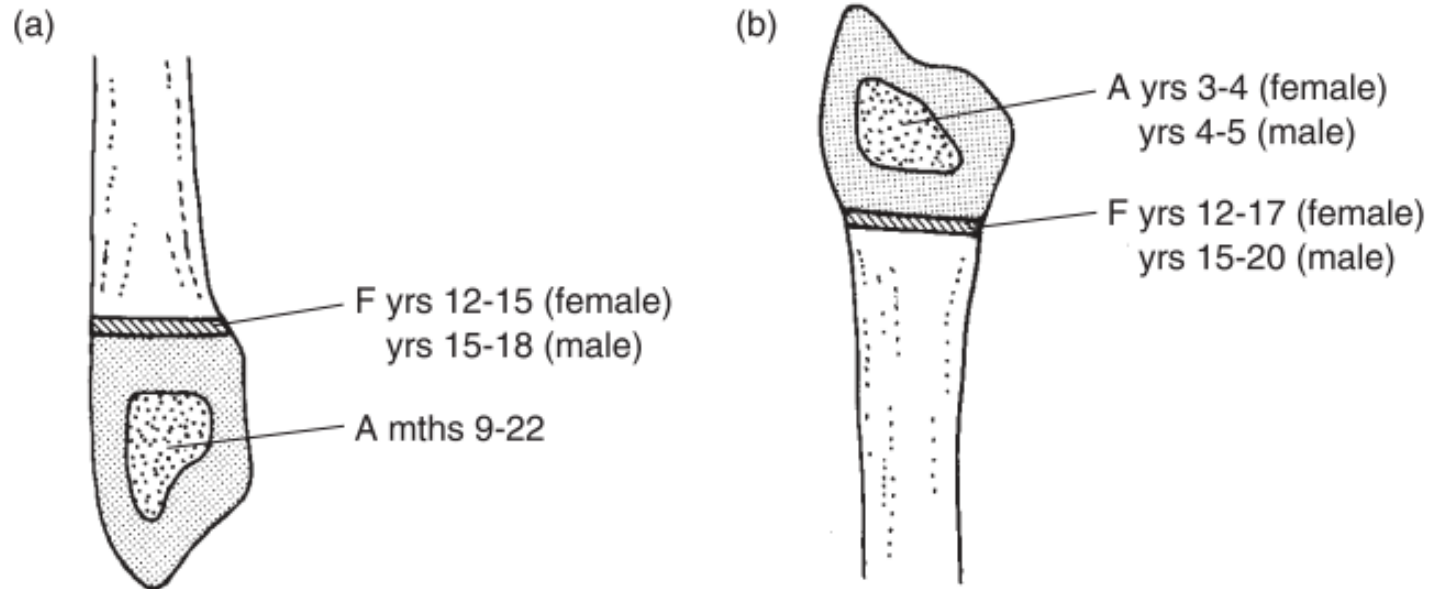
Wks 7–8

Primary ossification centre appears in the shaft

Wks 36–40

Secondary centre for proximal epiphysis appears

# Fibula



**Figure 11.20** The primary ossification centre of the fibula appears during week 8 of pre-natal life. Appearance (A) and fusion (F) of the secondary centres – (a) distal end; (b) proximal end.

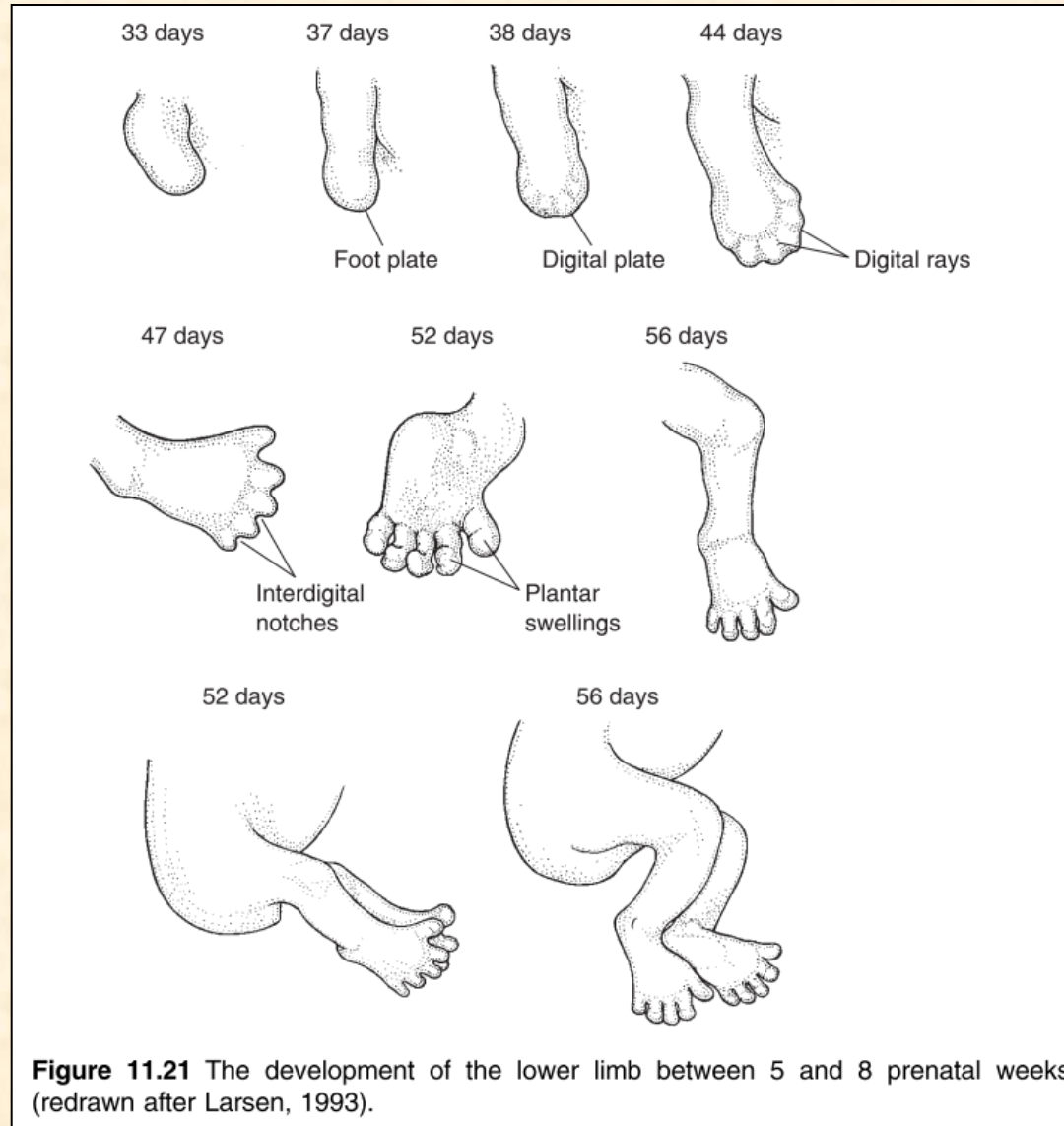
## ***Morphological summary (Fig. 11.20)***

*Prenatal*

Wk 8

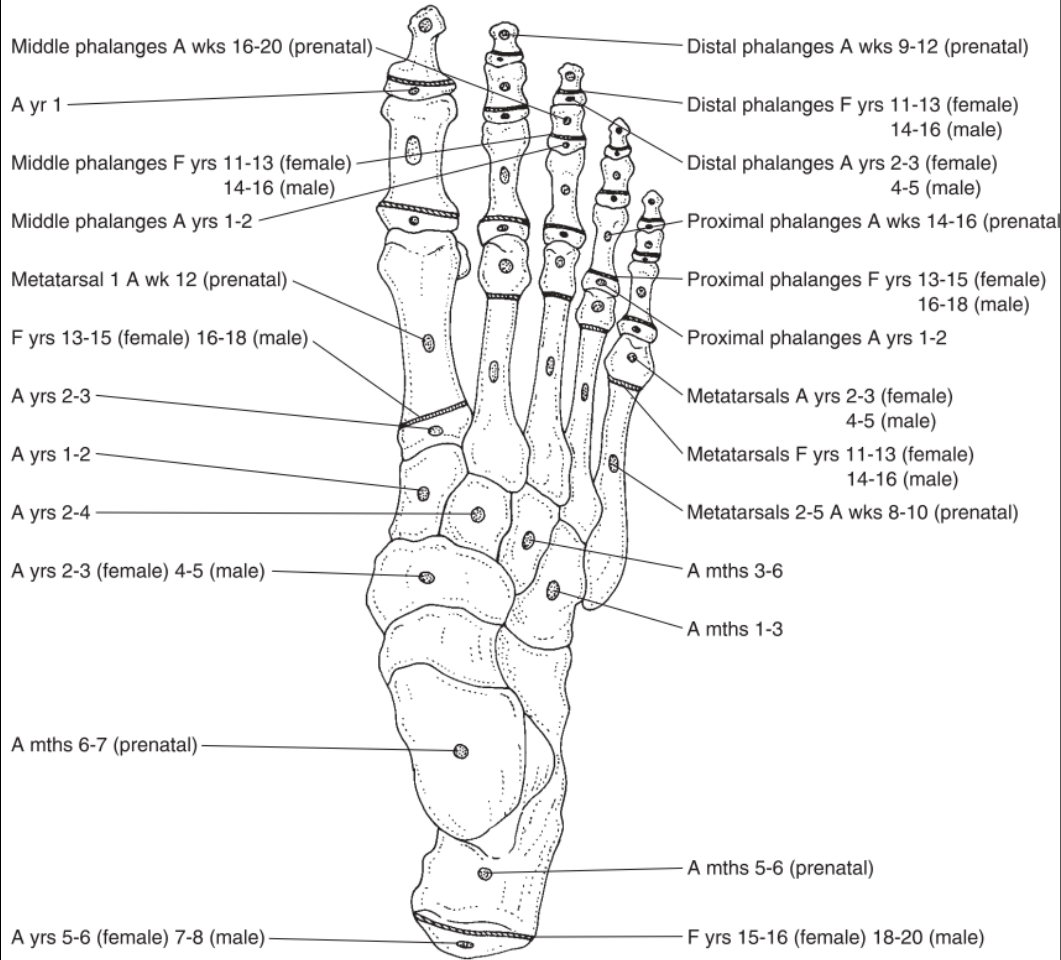
Primary ossification centre appears in the shaft

# Ontogeneze nohy



**Figure 11.21** The development of the lower limb between 5 and 8 prenatal weeks (redrawn after Larsen, 1993).

# Osifikace nohy



**Figure 11.41** Appearance (A) and fusion (F) times of the ossification centres of the foot.

## **Morphological summary (Fig. 11.41)**

### ***Prenatal***

<b>8–10 wks</b>	Primary ossification centres appear for metatarsals 2–5
<b>9–12 wks</b>	Primary ossification centres appear for distal phalanges
<b>12 wks</b>	Primary ossification centre appears for metatarsal 1
<b>14–16 wks</b>	Primary ossification centres appear for proximal phalanges
<b>16–20 wks</b>	Primary ossification centres appear for middle phalanges
<b>5–6 mths</b>	Ossification centre appears for calcaneus
<b>6–7 mths</b>	Ossification centre appears for talus