

5. Prenatální vývoj a těhotenství

Jako období nitroděložního (*intrauterinního*) nebo také prenatálního vývoje označujeme období individuálního vývoje placentárních savců od splnutí vajíčka do porodu. Prenatální období vývoje je z hlediska matky obdobím těhotenství (*gestace*).

Od splnutí gamet až po porod trvá těhotenství u člověka 266 dní čili 38 týdnů (tzv. *koncepční* nebo *gestační stáří*). V klinické praxi se častěji využívá tzv. *menstruační stáří*, tj. stáří embrya od prvního dne poslední menstruace matky. Udávané trvání těhotenství je v tom případě o 14 dní delší (tj. o dobu od začátku menstruace po ovulaci a oplození), tedy 280 dní, 40 týdnů. Během této doby se z jediné buňky vyvine *zralý plod*, po narození je to *novorozenec*.

Prenatální vývoj a těhotenství můžeme dělit z různých hledisek. V porodnictví se používá dělení na *trimestry*, těhotenství je rozděleno na třikrát tři kalendářní měsíce. Některé poruchy, komplikace či obtíže jsou přitom typické právě pro určitý trimestr (např. ranní nevolnost pro první trimestr, EPH gestóza pro třetí trimestr). V biologii je častější dělení prenatálního období podle nejdůležitějších změn, ke kterým v jeho průběhu dochází, na období *germinální*, *embryonální* a *fetální*. Někdy se před tyto fáze přidává také *gametogeneze*.

Těhotenství vyžaduje alokaci matčiny energie do rostoucího plodu a ochránění vyvíjejícího se plodu před imunitním systémem matky. Tyto procesy jsou zprostředkovány hormonální komunikací plodu, děložní tkáně, vaječníků a mozku matky. Syncytiotrofoblast a v pozdějších fázích placenta produkují hormony důležité pro udržení těhotenství (Ganong 1999, s. 369-379). Jsou jimi:

- lidský choriový gonadotropin – zabraňuje zániku žlutého tělíska a stimuluje jeho přeměnu na *corpus luteum graviditatis*;
- lidský chorionsomatotropin – který má slabý laktogenní účinek, zvyšuje obsah cukru v matčině krvi a má také mírný růst stimulující účinek;
- progesteron – tlumí aktivitu myometria a jeho citlivost na oxytocin, v prsech matky stimuluje růst alveolů a lobulů;
- estrogen – mimo jiné zvyšuje průtok krve dělohou;
- relaxin – tlumí děložní kontrakce, změkčuje děložní krček a relaxuje pánevní klouby.

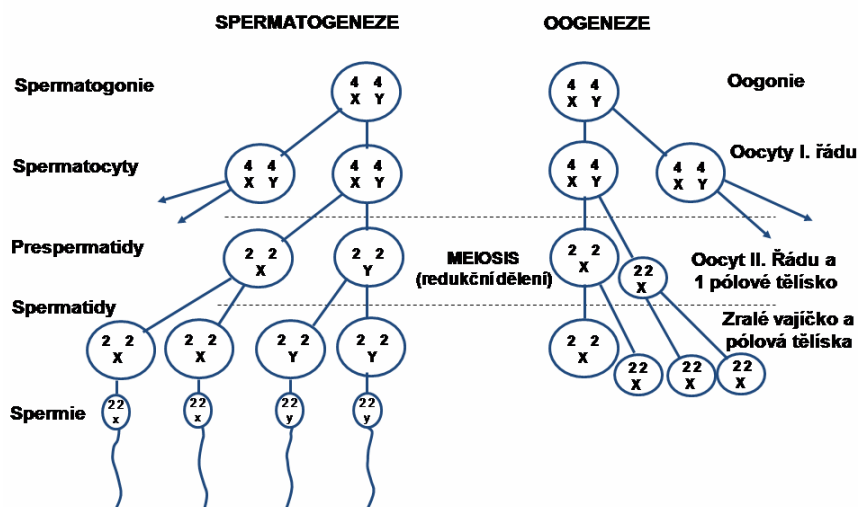
V počátečních fázích těhotenství produkuje většinu progesteronu, estrogenu a relaxinu těhotenská žlutá tělíska (*corpus luteum graviditatis*), po 6. týdnu gravidity však úlohu žlutého tělíska přejímá placenta (od této doby již odstranění vaječníků nezpůsobí potrat (Ganong 1999, s. 378).

5.1. Gametogeneze

Gametogeneze rodičovské generace předchází vzniku diploidní fáze generace následující. Gametogeneze (nebo také progeneze) je proces vývoje zralých pohlavních buněk (gamet) z příslušných buněk kmenových. Hlavním smyslem gametogeneze je redukce počtu chromozómů na poloviční (haploidní) počet redukčním dělením, meiózou (Vacek 1992). Jedná se tedy o haploidní fázi našeho diplontického životního cyklu. Meióza je základem jak mužské (spermatogeneze), tak ženské (oogeneze) gametogeneze, oba procesy jsou však v mnohých rysech odlišné.

Vývoj spermii začíná v pubertě. Mužské pohlavní buňky se vyvíjejí v semenotvorných kanálcích varlete pohlavně dospělého muže z kmenových buněk spermiogonií ($2n$). To jsou kulovité buňky, uložené při bazální membráně semenotvorných kanálků. Mitotickým dělením

spermiogonií vznikají jednak další kmenové buňky a jednak spermioocyty (spermatocyty) I. řádu ($2n$), z nichž následně první fází meiotického dělení vznikají spermioocyty II. řádu ($1n$) a druhou fází meiózy spermatidy ($1n$). Následně prodělávají spermatidy poblíž lumen semenotvorných kanálků přeměnu na zralé spermie. Z jednoho spermioocyty vznikají tímto procesem 4 rovnocenné spermie (Vacek 1992, s. 20-24). Na rozdíl od oogeneze probíhá druhá fáze meiotického dělení (tj. přeměna spermatocyty I. řádu na spermatocyt II. řádu) bezprostředně po fázi první. Celý cyklus od dělení spermatogonie ve spermatocyty až po uzrání spermie trvá přibližně 64 dní (Vacek 1992, s. 20-24). Pro správný průběh spermatogeneze je nezbytná přítomnost *Sertoliho buněk*, *testosteronu* (zejména pro přeměnu spermioocytů v prespermatidy) a *folikuly stimulujícího hormonu* (přeměna prespermatid ve zralé spermie).



Obr. 5.1. Schéma gametogeneze

Ženské pohlavní buňky se vyvíjejí ve vaječniku (ovariu) ze zárodečných buněk oogonií. Mitotické množení oogonií neprobíhá po celý život, ale pouze mezi 2. a 6. měsícem prenatálního života. Během této doby vznikne přibližně 6-7 miliónů oogonií, z nichž však polovina v dalším vývoji zaniká. Oogonie se dělí v oocyty I. řádu, které ihned, ještě v prenatálním období, vstupují do profáze prvního meiotického dělení. V ní se však jejich vývoj na dlouhou dobu zastaví, oocyt se nachází v tzv. diktyotenním stádiu, a dále pokračuje až v pubertě. První zrací dělení je u vybraného oocyty dokončeno těsně před ovulací. Vzniká oocyt II. řádu ($1n$) a polocyt I. řádu (také $1n$). Ještě v průběhu ovulace se vytvoří dělicí vřeténko druhé fáze zracího dělení. Samotné druhé zrací dělení, při kterém vzniká pólóvé tělíčko (polocyt) II. řádu a vajíčko, pokračuje až po případném oplození vajíčka spermii (Vacek 1992). Ze zárodečné buňky tedy nevznikají 4 rovnocenné zralé pohlavní buňky, ale pouze 1 vajíčko a 2-3 pólóvá tělíška, která po oplození vajíčka zanikají. Celý cyklus probíhá od 6. měsíce prenatálního vývoje až po různý okamžik v reprodukčním období ženy mezi pubertou a menopauzou (Vacek 1992). Během diktyotenního stádia může být vyvíjející se oocyt poškozen externími faktory, což je jedno z možných vysvětlení vyššího výskytu vrozených vývojových vad u dětí matek po 40 roce života, jejichž oocyty se nacházely v diktyotenním stádiu více než 40 let.

5.2. Germinační období

Germinační období je prvním obdobím ontogenetického vývoje, během něhož ze zygoty vzniká embryo (morula za 60 hodin, blastocysta za 96-120 hodin). Někdy bývá toto období také nazýváno jako *blastogeneze*. Zárodek v germinačním období se někdy označuje jako *preembryo*.

Germinační období začíná v okamžiku splnutí vajíčka a spermie, tedy v okamžiku *fertilizace*, oplození. Oplození je procesem, během něhož spermie, která v průběhu průchodu dělohou a vejcovodem prodělala kapacitaci (působením sekretů sliznic pochvy a dělohy dochází k uvolnění látek, zabraňujících předčasnému vyloučení akrozomálního váčku, z povrchu spermie), proniká obaly vajíčka, její povrchová membrána splývá s membránou vajíčka, a haploidní genotypy obou gamet vytváří nové diploidní jádro.

Okamžikem oplození je určeno genetické pohlaví zárodku. Krátce po fertilizaci dochází k replikaci chromozomů a pokračují další fáze mitózy, vajíčko se rýhuje. Rýhováním vajíčka začíná morfogeneze, tedy časově a prostorově naprogramované morfologické a funkční změny, které jsou podkladem vzniku a vývoje tkání a orgánových základů.

V dalším vývoji dochází k tvorbě moruly a blastocysty. Buňky zevní obalové vrstvy syntetizují choriový gonadotropin (hCG), kterým embryo začíná ovlivňovat fyziologii mateřského organismu ve svůj prospěch. hCG především zabraňuje senzibilizaci mateřské tkáně k tvorbě protilátek proti zárodku, který je matčíným tělem vnímán jako cizí objekt. Pokud je tento mechanismus porušen, dochází k selhání nidace a odumření zárodku (z této příčiny dochází ke *spontánnímu potratu* zhruba 15 % embryí; Vacek 1992).

V germinační fázi je vajíčko vyživováno *cytotrofně* z tubární tekutiny a intrauterinního prostředí.

Přibližně 6. den po oplození se vytváří blastocysta, která se následně *implantuje* (*niduje*, *zahnízdí*) do děložní sliznice matky. Současně s nidací probíhá další vývoj samotného embrya, dochází k diferenciaci embryoblastu a vytvoření zárodečného terčíku z vrstev buněk embryonálního ektodermu a entodermu.

5.3. Embryonální období

Jako o embryonálním období (nebo také embryogenezi, časně organogenezi) hovoříme o vývojovém stádiu mezi 2. a 8. týdnem po oplození. Jde o klíčovou fázi ontogeneze, ve které dochází k množení a diferenciaci buněk a formování orgánů a orgánových soustav z entodermu, ektodermu a mezodermu. Dochází k největším relativním změnám ve velikosti těla i v komplexitě organismu.

V těchto počátečních stádiích vývoje je zárodek velmi zranitelný. Jakékoliv narušení jeho vývoje může vést k poškození orgánů plodu a k těžkým nenapravitelným vadám.

5.3.1. Tělesné znaky a jejich vývoj

Na počátku embryonálního období je blastocysta tvořena žlutkovým a amniovým váčkem, mezi kterými leží zárodečný terčík, základ budoucího embrya. Záhy se začíná vytvářet také střední zárodečný list, mezoderm, ve kterém se formuje primitivní chorda a laterálně od ní také prvosegmenty neboli somity. První somity (od poloviny 3. týdne) se zakládají na kraniálním konci zárodku a další se formují v kaudálním směru. Do konce 5. týdne intrauterinního vývoje se postupně zformuje 42 – 45 párů somitů. Od vzniku prvních prvosegmentů hovoříme o somitovém stádiu vývoje (21. – 30. den). V tomto období můžeme podle počtu somitů určovat stáří embrya (Vacek 1992, s. 44-52).

V dalším vývoji se každý ze somitů rozdělí na *myotom*, z jejichž buněk se vytváří kosterní svalstvo, *sklerotom*, dávající vznik osovému skeletu, a *dermatom*, z něhož se vytváří pojivová složka kůže. Mezodermového původu je rovněž cévní systém, soustava vylučovací (s výjimkou močového měchýře), slezina a nadledvina (Sadler *et al.* 2006, s. 72-79). V osmém týdnu jsou zřetelné základy většiny budoucích kostí.

Souběžně s utvářením somitů se na dorzální ploše zárodečného terčíku diferenciací části ektodermu v neuroektoderm formuje základ nervového systému v podobě neurální ploténky, která se záhy (přibližně ve 4. týdnu těhotenství) uzavírá a formuje medulární trubici. Na předním konci zárodka je již zformována mozková část medulární ploténky, základ mozku, na níž lze rozlišit *prosencephalon*, *mesencephalon* a *rhombencephalon* a od pátého týdne vývoje také obě mozkové hemisféry. Kromě centrálního a periferního nervového systému vzniká v dalším vývoji z materiálu ektodermu senzorický epitel sluchového, zrakového a čichového ústrojí, pokožka včetně kožních derivátů, hypofýza, mléčné a potní žlázy a sklovina (Sadler *et al.* 2006, s. 79-81; Vacek 1992, s. 44-52).

Třetí zárodečný list, entoderm, poskytuje materiál pro epitelovou výstelku trávicího traktu, dýchacích cest, močového měchýře, středního ucha a Eustachovy trubice. Rovněž se z něj vytváří parenchym štítné žlázy, jater a slinivky břišní (Sadler *et al.* 2006, s. 79-81).

Současně s formováním výše zmíněných struktur dochází ke změnám vnějšího tvaru zárodka, který roste do délky, zvedá se a nabývá vejčitého tvaru. Kraniální konec zárodka, v němž se vytváří základ mozku, se ohýbá ventrálně, čímž vzniká hlavová rýha. Dalším růstem se zárodek čím dál více zakřivuje, ohýbá. Kaudálně od hlavové rýhy se vyklenuje srdeční hrbol obsahující relativně velké primitivní srdce. Od konce 4. týdne je patrný také jaterní hrbol. Mohutným růstem srdce a jater se zárodek opět napřimuje. Na budoucí hlavě záhy prosvítají oční váčky, základy budoucích očí, formují se struktury obličeje a od 6. týdne také základy ušních boltců. Horní končetiny se začínají utvářet přibližně ve 4. týdnu nitroděložního vývoje, končetiny dolní pak přibližně s týdenním zpožděním (Vacek 1992, s. 55-58).

Zpočátku zprostředkovává výživu vyvíjejícímu se zárodku syncytiotrofoblast, který rozrušuje děložní sliznici a vstřebává uvolněné živiny, které se difúzí dostávají k embryu (*histiotrofní výživa*). Ještě v průběhu implantace se syncytiotrofoblast dostává do styku s mateřskou krví, od této chvíle až do konce těhotenství je vyživováno *hemotrofně*. S rostoucí velikostí zárodka přestává difúze živin k jeho vyživování stačit, proto se jako jeden z prvních orgánových systémů zformuje krevní oběh, ve kterém začíná krev cirkulovat již začátkem 4. týdne vývoje, mezi 4. a 5. týdnem pak začíná tlouct srdce embrya. Současně s vývojem cévního řečiště se začíná vytvářet placenta (vyživuje plod, odstraňuje odpadní látky, poskytuje plodu protilátky z matčiny krve) a pupeční šňůra, které zprostředkovávají kontakt mezi plodem a matkou.

Koncem druhého měsíce těhotenství měří zárodek přibližně 30 mm, jsou vytvořeny hlavní orgánové soustavy a má už zřetelně lidský tvar (Hughes 1998, s. 161). Nadále o něj hovoříme jako o plodu.

5.3.2. Motorika

Ke konci embryonálního období (přibližně od sedmého po polovinu devátého týdne) se embryo začíná spontánně pohybovat. Jde o jemné změny kontur embrya trvající v rozmezí od 1,5 do 2 sekund. Tyto pohyby po dvou týdnech vývoje opět ustávají. Dochází také ke slabé flexi a extenzi „páteře“ a tím způsobenému pohybu končetin (Harris, Butterworth 2002, s. 69; Piontelli 1992, s. 29). Od osmého týdne dochází taktéž k „lekavým“ pohybům, rychlému asi sekundu trvajícímu trhnutí celého plodu (Harris, Butterworth 2002, s. 69).

Mezníky embryonálního vývoje		
dny	délka	znaky
14-15	0,2	na dolním konci zárodečného terčíku se formuje primitivní proužek
16-18	0,4	mezodermální buňky se vsunují mezi ektoderm a entoderm a formují chordomezodermový výběžek, v mezenchymu žlutkového váčku se diferencují první hemopoetické buňky
19-20	1-2	buňky embryonální mezodermy dosáhly hlavového konce zárodku, začínají se utvářet cévy pupečnicku a medulární ploténka
20-21	2-3	množením ektodermálních buněk dochází ke zvedání okrajů medulární ploténky, čímž se v sagitální čáře ploténka prohlubuje v medulární rýhu; embryo se začíná ohýbat
22-23	3-3,5	medulární rýhá se začíná uzavírat v krční oblasti (přibližně v úrovni 4. prvosegmentu) a vzniká tak medulární trubice, která je na kraniiálním a kaudálním konci otevřená (neuroporus anterior, neuroporus posterior); začíná se utvářet srdeční trubice
24-25	3-4,5	pokračuje uzavírání neurální trubice, cranioporus anterior se uzavírá nebo je uzavřen, je zformován oční váček i sluchová jamka
26-27	3,5-5	zavírá se neuroporus posterior; jsou zřetelné končetinové pupeny
28-30	4-6	jsou zřetelné pupeny vyvíjejících se dolních končetin; je vytvořen ušní váček a ploténka čochky
31-35	7-10	horní končetiny ploutvovitého tvaru; mezi laterálními a mediálními nosními valy se prohlubují čichové jamky; embryo je výrazně ohnuté téměř ve tvaru písmene c
36-42	9-14	v základech budoucích rukou a nohou jsou naznačeny prsty; v hlavové oblasti prominují mozkové váčky (proencephalon, mezencephalon, rombencephalon); z ušních hrbolků (deriváty žaberních oblouků) se začíná vyvíjet ušní boltec; formuje se fyziologická pupeční hernie (kličky střeva vystupují z břišní dutiny, která je pro ně dočasně příliš malá do extraembryonálního celomu)
43-49	13-22	viditelná pigmentace sítnice; prsty se od sebe začínají oddělovat; jsou zformovány bradavky a oční víčka; mediální nosní valy srůstají navzájem a s maxilárními valy a vytváří definitivní základ horního rtu; silně prominující pupeční hernie
50-56	21-31	končetiny jsou dlouhé ohýbající se v loktech (resp. v kolenou); dobře vytvořeny prsty; pupečnicková hernie přetrvává; ocas je vtažen do kaudálního konce těla;

Obr. 5.2. Mezníky embryonálního vývoje (Sadler *et al.* 2006).

5.4. Fetální období

Na embryonální období navazuje *období fetální*, tj. období plodu, trvající od 9. týdne po oplození až do konce těhotenství. V tomto období jsou již vytvořeny všechny důležité orgány, a proto jde spíše o fázi zrání tkání a orgánů a intenzivního růstu (Sadler *et al.* 2006; s. 89).

5.4.1. Tělesný vývoj

Ve čtvrtém a pátém měsíci vývoje začíná plod rapidně růst do délky, maxima dosahuje tento délkový růst přibližně ve dvacátém týdnu vývoje (Hughes 1998, s. 151), poté se zpomaluje, ale etapa rychlého růstu pokračuje i postnatálně, jako tzv. kojenecká růstová komponenta. Fetální růst je nezávislý na koncentracích růstového hormonu a jeho řízení není zcela jasné, zřejmě se na něm podílejí inzulinu podobné růstové faktory, ale žádný hlavní regulační hormon identifikován nebyl (Ulijaszek 1998, s. 108 a 195).

Významnou charakteristikou fetálního růstu je relativní zpomalení růstu hlavičky oproti trupu a končetinám, které má za následek postupné změny v proporcích plodu. Zatímco ve třetím měsíci vývoje zaujímá hlava přibližně polovinu velikosti plodu, v době porodu je to už pouze čtvrtina jeho celkové délky. Dolní končetiny jsou stále menší a méně vyvinuté než končetiny horní (Sadler *et al.* 2006; s. 89).

Hmotnostní přírůstek je markantní zejména v posledních dvou měsících těhotenství, kdy plod celkově zesiluje a přibírá na váze (ca 0,23 kg za týden). V této době se také začínají vytvářet tukové zásoby a plod se celkově zakulacuje. Zatímco v polovině těhotenství obsahuje plod okolo 1% tukové tkáně, až do narození stoupne její podíl na 15% (Hughes 1998, s. 151; Malina 1998, s. 214; Sadler *et al.* 2006, s. 90).

Ve druhém trimestru se upravuje podoba obličeje, laterálně položené oči se přesouvají na přední stranu hlavy a také uši zaujímají svou konečnou polohu. Přibližně od 4. měsíce se na povrchu těla začíná tvořit *lanugo*, které mizí do porodu nebo krátce po něm. Od stejné doby jsou již také zřetelné řasy a obočí. Kůže je sice vyvinuta, ale podkožní vazivo ještě zcela vytvořeno není a proto je kůže načervenalá a svraštělá (Sadler *et al.* 2006, s. 89). Ve dvacátém týdnu těhotenství je vnější genitál vytvořen natolik, že lze ultrazvukovým vyšetřením určit genitální pohlaví plodu. Ve stejné době se také v dlouhých kostech a kostech lebky objevují první osifikační centra (Sadler *et al.* 2006; s. 89).

V posledním trimestru již k žádným dramatickým morfologickým změnám nedochází. Téměř všechny orgánové soustavy jsou již dobře vyvinuté a funkční a pouze dozrávají a zefektivňují svou činnost. Výjimku tvoří pouze dýchací a nervová soustava. Dochází k dokončování vývoje plicních váčků a zvyšuje se krevní průtok plicním oběhem. V míše postupuje myelinizace nervových vláken (započatá ve druhém trimestru), která není kompletně dokončená ani na konci těhotenství a pokračuje postnatálně (Sadler *et al.* 2006, s. 89; Vacek 1992, s. 267).

Díky brzkému vývoji orgánových soustav mají v šestém měsíci narozené děti velmi dobré vyhlídky na přežití, v sedmém měsíci je pravděpodobnost přežití až 90% (Sadler *et al.* 2006, s. 90).

5.4.2. Motorika

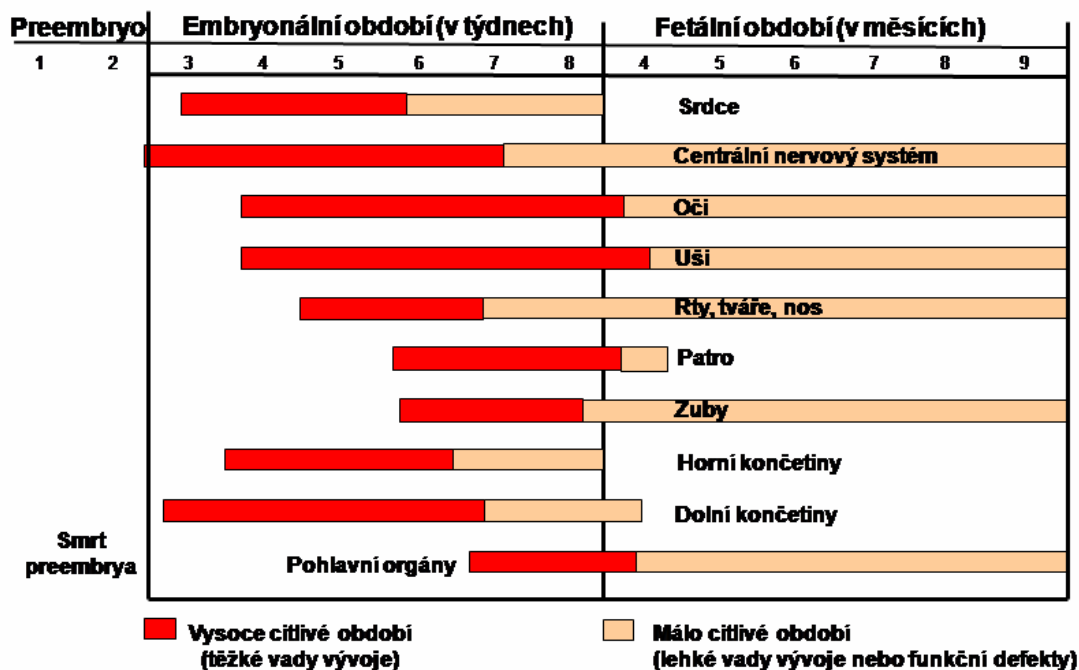
V devátém týdnu se objevuje „škytání“, přibližně sekundu trvající prudké záchvěvy bránice, na které v desátém týdnu vývoje navazují dýchací pohyby, tedy pravidelné pohyby bránice, hrudníku a břicha, někdy spojené s pohyby čelistí. Od devátého týdne můžeme také pozorovat pohyby končetin a hlavy (Piontelli 1992, s. 30).

Od desátého týdne vývoje dochází k prudkému rozvoji pohybových schopností (dotyky obličeje a rukou se současnými pohyby prstů, protahování, zívání a pohyby čelistí i pohyby jazyku, rotace celého plodu) a repertoár pohybů se rychle rozrůstá. Ve 12 týdnu se objevují

dotyky rukou a úst, cucání, polykání, rotace ruky v zápěstí a také jemnější pohyby jednotlivých prstů. V 15. týdnu vývoje, kdy je pohybový rejstřík již téměř kompletní (Harris, Butterworth 2002, s. 68; Piontelli 1992, s. 30), dochází k dočasnému snížení pohybové aktivity, snad kvůli reorganizaci nervové soustavy a dotváření vyšších nervových oblastí nebo kvůli stísněnějšímu prostředí. Po 24. týdnu jsou pozorovatelné i jemné pohyby, například obličejových svalů (Harris, Butterworth 2002, s. 68).

Ke spontánním pohybům dochází z nutnosti procvičit vyvíjející se systémy a poskytnout jim zpětnou vazbu. Důležité jsou pohyby také z důvodů stimulace některých smyslů a zamezení srůstu s plodovými obaly. Nutnost pohybu pro správný vývoj pohybového systému dokazují špatně vyvinuté klouby u novorozenců s fetálním alkoholovým syndromem. Alkohol, který se přes placentu dostává do organismu plodu, totiž tlumí jeho pohyblivost, což vede k malformaci kloubů (Harris, Butterworth 2002, s. 68).

Již prenatálně se vyvíjí některé reflexy, od 28. týdne je to například tonický šíjový a také uchopovací reflex (Harris, Butterworth 2002, s. 68). Správné a okamžité fungování nepodmíněných reflexů bezprostředně po porodu je nezbytné pro přežití novorozence.



Obr. 5.3. Kritická období prenatálního vývoje člověka.

5.4.3. Denní aktivita

Každý plod má vlastní individuální vzorec denní aktivity, vzorce aktivity různých plodů stejného stáří jsou identické, liší se však výrazně v kvantitativním zastoupení různých pohybů (Piontelli 1992, s. 30). Po 30. týdnu můžeme u plodu zaznamenat REM spánek, ve kterém plod stráví přibližně 70-80% času.

5.4.4. Percepce

Senzorické dráhy bolesti jsou funkční již od 20. týdne vývoje (Langmeier, Krejčířová 2006, s. 24).

Chuťové ústrojí je funkční pravděpodobně od třetího trimestru, v této době se také dá pokusně dokázat preference sladké chuti (Langmeier, Krejčířová 2006, s. 24).

Sluchový aparát je plně vyvinut přibližně ve 37. týdnu těhotenství. Dítě pravděpodobně již prenatálně slyší ostré hlasité zvuky z venčí, nesené matčinými tkáněmi – matčin hlas, tlukot jejího srdce a cirkulaci krve v cévách. Matky popisují reakce plodu na takové zvuky přibližně od 32. týdne těhotenství.

K dokončení vývoje oka dochází mezi 7. – 8. měsícem těhotenství, kdy se od sebe oddělují dočasně srostlá oční víčka (Vacek 1992; s. 287). Dítě také reaguje na uměle vyvolané vizuální podněty, například na bleskové světlo procházející břišní stěnou matky (Langmeier, Krejčířová 2006, s. 24).

5.4.5. Psychický vývoj

Bioelektrickou aktivitu mozku plodu lze vysledovat již od začátku fetálního období. Záhy plod reaguje na dráždění. Již prenatálně, zhruba od 22. týdne těhotenství, byla prokázána schopnost plodu habituace (postupné vymizení reakce na opakující se podnět), tedy jednoduchého způsobu učení (Langmeier, Krejčířová 2006; s. 25). V posledních dvou měsících těhotenství je plod schopen vytvářet podmíněné spojení mezi zvukovým a dotykovým podnětem (Langmeier, Krejčířová 2006; s. 25).

5.4.6. Imunita

Zárodečné buňky, ze kterých se diferencují jak buňky lymfoidní tkáně, tak krevní buňky, se prvně objevují od 21. dne ve stěně žloutkového vaku, v 60. dni vývoje migrují do jater a od 90. dne vývoje do kostní dřeni. Zárodečné buňky B lymfocytů jsou přibližně od 14. týdne vývoje uloženy v játrech, plicích, ledvinách a kostní dřeni a tato místa jsou také centry produkce b-lymfocytů přibližně od 19. týdne vývoje (Hughes 1998, s. 167). Thymus je zformován z migrujících epitelových buněk okolo 8. týdne vývoje a první lymfocyty jsou pozorovatelné přibližně ke konci 9. týdne (Hughes 1998, s. 168).

Prenatální rozvoj specifické imunity zahrnuje produkci lymfocytů a buněk zodpovědných za zprostředkování antigenů. Stejně jako po celý následující život dochází k eliminaci příliš aktivních lymfocytů (které by mohly způsobit autoimunitní chorobu) a lymfocytů, které nereagují na antigeny (v thymu). Imunitní systém je již prenatálně schopen reagovat na antigeny, již u 20 týdenních plodů můžeme v případě infekce pozorovat zvýšení počtu plazmatických buněk (Hughes 1998, s. 168).

5.4.7. Komunikace

Od samého počátku těhotenství embryo a později plod komunikují s organismem matky prostřednictvím hormonů. Již prenatálně je také plod schopen sociální interakce. Svými pohyby plod aktivně ovlivňuje chování matky a zpětně reaguje na její emoce (Langmeier, Krejčířová 2006; s. 25).

5.5. Porod

V prenatálním období byl člověk absolutně závislý na matce, přijímal od ní výživu nezbytnou pro vývoj a růst, a byl v děloze chráněn před vnějšími vlivy. Porod je kritickým přechodem mezi prenatálním a postnatálním obdobím. Novorozenec se dostává z tekutého prostředí o konstantní teplotě (cca 37°C), ve kterém má zajištěn přísun všech důležitých látek, výměnu dýchacích plynů a odvod zplodin metabolismu, do plynného prostředí proměnlivých podmínek, kde si musí dýchání, trávení a vylučování zajistit sám (Bogin 1999, s. 58-59). Kritická je jednak (a) *změna vnějších podmínek* a nároků na jedince kladených (na kterou

musí být novorozenec již prenatálně připraven), u některých druhů je kritický (b) i *samotný porod*, tj. proces, při kterém se plod dostává z těla matky a stává se novorozencem.

5.5.1. Délka gestace

Základní otázkou je, kdy má k porodu dojít. Čím víc času a energie je plodu v tomto období přerozděleno, tím větší jsou po narození jeho šance na přežití. Gestace ovšem matku výrazně zatěžuje výdejem energie, což ji činí zranitelnější (v přírodních podmínkách ze strany predátorů a patogenů) a prodlužuje čas, kdy bude moci mít dalšího potomka. Naopak plod bude mít větší šance na přežití, když setrvá v těle matky co nejdéle. *Optimální délka gestace* z hlediska matky a z hlediska plodu je tedy jiná. Protože zrající plod pro matku představuje stále větší náklady, měly by v jednom bodě tyto náklady převážit výhody plynoucí plodu ze setrvání v děloze. Načasování porodu je proto určitým kompromisem mezi nároky matky a plodu (Langdon 2005, s. 275-276).

Délka gestace savců závisí na velikosti těla v dospělosti a celkové délce života. V tomto smyslu není délka těhotenství u člověka nijak neobvyklá. Je však neobyčejně krátká ve vztahu k velikosti lidského mozku a vzorci jeho růstu. Pokud bychom délku gestace u člověka odhadli na základě růstu mozku, činila by přibližně 21 měsíců, tj. necelé dva roky. U ostatních primátů roste mozek především ve fetálním období a po narození se jeho růst výrazně zpomaluje. U člověka pokračuje růst mozku stejnou rychlostí jako ve fetálním období přibližně ještě prvních dvanáct měsíců po narození. Při narození má mozek člověka pouze 25% dospělé velikosti, ve srovnání s 47% u šimpanze. Člověk se rodí s mozkem nehotovým a to může mít dvě příčiny. První souvisí se *schopností placenty předávat výživu* od matky plodu a mozek vyživovat, druhá s *velikostí mozku vůči rozměrům porodních cest*.

Placenta má danou konečnou horní mez kapacity, intenzivně rostoucí mozek lidského plodu však vyžaduje stále větší absolutní množství živin. V určitém okamžiku již množství výživy z placenty rostoucímu mozku nestačuje. V té chvíli je z hlediska plodu výhodnější přejít z placentární výživy na kojení. K dosažení mezní kapacity placenty dochází u lidského plodu v 9. měsíci těhotenství a s touto dobou koinciduje také doba porodu (Langdon 2005, s. 275-276).

Jiným důvodem zkrácené gestace u člověka může být přizpůsobení lidské páneve vzpřímenému postoji a dvounohé chůzi (bipedii). Novorozenec s plně vyvinutým mozkem by nebyl schopen projít zmenšeným porodním kanálem. Velký mozek člověka si vyžádal změny v prenatální životní historii – z hlediska vývoje mozku je porod začleněn ve chvíli, kdy je hlavička novorozence ještě s to porodním kanálem projít (Leutenegger 1982).

Skutečný spouštěč porodu není znám, a pravděpodobně se u různých druhů savců liší. U člověka ke spuštění porodu přispívají fyziologické pochody jak na straně matky, tak na straně plodu. Během těhotenství jsou kontrakce děložní svaloviny tlumeny hormony progesteronem a relaxinem.

Vývoj, který měl proběhnout ještě v děloze, se pak dokončuje během prvního roku života po narození mimo dělohu. Změny v časování porodu v lidské životní historii (ať už je podstatnějším důvodem kapacita placenty nebo velikost porodního kanálu) musely být provázány urychlením vývoje ostatních životně důležitých tělních systémů, aby mohl nezralý novorozenec mimo dělohu přežít. Gestace je aktivně urychlena a lidé se tedy rodí předčasně. Přestože jsou primáti obecně skupinou prekociálních živočichů, člověk je v důsledku změn v délce gestace *sekundárně altriciálním* druhem (Gould 1985). Na druhou stranu má lidský novorozenec ve srovnání se šimpanzím přibližně 3,75x větší tukové zásoby (Kaplan, Gangestad 2004, s. 20).

5.5.2. Cefalopelvický nepoměr a porod u člověka

U placentálních savců obecně představuje porod riziko pro matku i potomky (Rosenberg 1992). Jeho úspěšnost závisí z velké části na adekvátním vztahu mezi rozměry malé pánve matky a lebky novorozence (Leutenegger 1982). Ten závisí na relativní velikosti novorozence vzhledem k velikosti matky a stupni encefalizace. Druhy s menší tělesnou velikostí mají relativně větší novorozence s relativně větším mozkem vzhledem k velikosti těla než druhy s větší velikostí těla.

Takzvaný *cefalopelvický nepoměr* je u člověka důsledkem přestavby pánve spojené s přizpůsobením vzprámenému postoji a bipední lokomoci. Cefalopelvický nepoměr není vlastní pouze lidem. Mezi primáty mají novorozenci menších druhů vzhledem k rozměrům pánevního vchodu (hranicí mezi malou a velkou pánví) relativně větší velikost lebky než druhy tělesně větší. S relativně největší velikostí lebky vzhledem k rozměrům malé pánve se setkáme u primátů Nového světa z čeledi kosmanovitých (*Callithricidae*, rod *Callithrix*) a malpovitých (*Cebidae*, rod *Saimiri*), u jejichž novorozenců rozměry lebky značně přesahují příslušné rozměry pánevního vchodu. Situace u člověka se blíží poměrům, jaké nacházíme u zástupců čeledi kočkodanovitých (*Cercopithecidae*, rody *Macaca* a *Nasalis*) a gibbonovitých (*Hylobatidae*), popřípadě chápanovitých (*Atelidae*, rody *Brachyteles* a *Lagothrix*), u kterých je cefalopelvický nepoměr příznivější. Zcela odlišná situace je u velkých lidoopů, kde je velikost porodního kanálu ve vztahu k velikosti hlavičky novorozence více než dostatečná; v tomto směru má tedy člověk blíže k opicím než k našim nejbližším žijícím příbuzným.

Porod u člověka se od porodu u ostatních savců a primátů odlišuje ve třech základních aspektech (Rosenberg 1992):

- a) v porodním mechanismu, jakým plod a jeho části procházejí porodními cestami,
- b) v délce a stupni obtížnosti porodu;
- c) v chování matky a dalších členů skupiny v době porodu.

Vzhledem ke kvadrupedním primátům prodělala lidská pánev v průběhu evoluce výrazné změny. V rámci *malé pánve* (tvrdých cest porodních) lze rozlišit čtyři roviny: (a) pánevní vchod, jenž je příčně oválný a jehož největším rozměrem je průměr příčný, (b) šíři pánevní, která má tvar kruhovitý, (c) úžinu a (d) východ pánevní, jejichž největšími rozměry jsou průměry předozadní. Průsvit pánevních cest navíc směřuje v horních oddílech distálně, zatímco v dolních oddílech ventrálně, na rozdíl od porodního kanálu ostatních primátů, jehož průběh je více méně přímý a ve všech úrovních delší v rovině předozadní. Lidský plod a části jeho těla se při porodu přizpůsobují prostorovým podmínkám v daných úsecích porodních cest, přičemž nejdelší rozměr lebky (jak u člověka, tak u ostatních primátů jsou to rozměry sagitální) se klade vždy do nejdelších rozměrů jednotlivých oddílů pánve. Zatímco u ostatních primátů vstupuje hlavička novorozence do pánevního vchodu v rovině sagitální a v této rovině rovněž z pánve vystupuje, u člověka je pro průchod plodu nezbytná *rotace hlavičky*.

Při porodu v *poloze podélné záhlavím* (typické pro všechny primáty), v postavení se záhlavím směřujícím dopředu a hřbetem v levé hraně děložní (u moderního člověka nejčastějším) vstupuje hlavička do malé pánve v průměru příčném či šikmém. Hlavička se předklání, brada se dostává do kontaktu s hrudníkem a vedoucím bodem se stává záhlaví. Dále postupuje přes šíři do úžiny pánevní, kde se vnitřně otáčí tak, že v pánevním východu je předozadní rozměr v průměru přímém. Záhlaví se stáčí dopředu za sponu stydkou (obličej tedy směřuje k matčině páteři), okolo které se otáčí, přičemž konkavita porodních cest nutí hlavičku ve vztahu k trupu k záklonu. Na rozdíl od ostatních primátů, u nichž je záhlaví při vstupu i výstupu z malé pánve orientováno dozadu a obličej směřuje k matce, u člověka se prořezává nejdříve oblast záhlaví, pak oblast předhlaví, čelo, obličej a nakonec brada.

U některých opic může hlavička novorozence vstupovat do malé pánve i v poloze deflexní

(příčemž prostupujícím rozměrem je menší výška obličeje, nikoli délka lebky), vystupuje však vždy s obličejem směřujícím k matce (Rosenberg, Trevathan 2002). Porozená hlavička se poté stáčí svým záhlavím na stranu (vnější rotace), kde je ještě neporozený hřbet (v důsledku vnitřní rotace rigidních ramen, jejichž delší osa musí rovněž procházet nejdelšími rozměry malé pánve), a dostává se tak do pozice, v jaké vstupovala do pánevního vchodu.

U člověka se vyvinuly fyziologické mechanismy, které obtížný porod usnadňují. Patří mezi ně rozvolnění pánevních vazů v průběhu těhotenství působením ovariálních a placentálních hormonů. Toto rozvolnění, vedoucí ke zvýšené mobilitě pánevních spojů a přetrvávající i po porodu, má u žen velký klinický význam, neboť je příčinou symptomů pánevní nestability spojené s bolestivými stavy. Při průchodu porodním kanálem dochází ke změnám v konfiguraci hlavičky novorozence. Tyto fyziologické změny spočívají ve stlačení hlavičky v místě prostupujícího obvodu a v příslušném prodloužení v opačném směru. V případě výrazného cefalopelvického nepoměru dochází ke konformaci hlavičky, kdy se (na rozdíl od konfigurace) mění její objem vzájemným posunutím lebních kostí, což může vést k závažnějším poraněním, která ohrožují zdraví i život dítěte.

Rodičky, ať už jde o člověka či ostatní primáty, zauímají při porodu pozice, které rozšiřují rozměry malé pánve (zejména východu pánevního) a usnadňují průchod plodu. Pro samice primátů je typický dřep, u žen rodících v přirozených podmínkách byla kromě dřepu zaznamenána řada dalších pozic (Rosenberg, Trevathan 2002).

Samice primátů rodí zpravidla osamoceně a samy aktivně pomáhají svým potomkům na svět. Porodu mohou být přítomni i další jedinci, nejčastěji samice nebo nedospělci, kteří přihlížejí a mohou se rodičky a novorozence dotýkat. Přímé funkční zasahování do průběhu porodu nebo jeho napomáhání je však ojedinělé (Rosenberg 1992). Pro rodící ženu je v důsledku orientace vystupující hlavičky obtížné zajistit bezprostřední potřeby novorozence po průchodu porodním kanálem, jakými jsou očistění nosu a úst pro přísun vzduchu, odstranění pupeční šňůry, pokud je otočena okolo krku novorozence, či pouze bezpečné vyzdvižení novorozence k sobě (Trevathan 1987). Wendy Trevathan (1987) soudí, že asistence ostatních členů skupiny při porodu, rozšířená ve většině lidských společností, představuje adaptivní chování snižující mateřskou a novorozeneckou úmrtnost.

Rosenberg (1992) soudí, že jedinečné aspekty lidského porodu se neobjevily najednou, ale postupně jako odpověď na nároky porodu v interakci s dalšími evolučními změnami skeletu. Zatímco odlišná orientace hlavičky při vstupu do pánevního vchodu se objevuje spolu s adaptací homininní pánve na bipední lokomoci, specifická rotace hlavičky a její výstup záhlavím směřujícím k matce je důsledkem zvyšující se encefalizace, jež se objevuje v evoluci rodu *Homo* později. Účast dalších jedinců při porodu pak nabývá na významu spolu se zvyšováním obtížnosti porodu spojeným se zvětšováním mozku. I když obtíže při porodu nejsou výsadou člověka, u většiny primátů je porod obecně jednodušší, kratší a méně bolestivý (Rosenberg 1992), což platí zejména pro lidoopy. Nejbliže jsou člověku, co se týče délky a obtížnosti porodu, zástupci menších druhů jihoamerických opic (*Saimiri sciureus*), u kterých je cefalopelvický nepoměr nejméně příznivý.

Obtížnost přechodu z prenatálního do postnatálního života u člověka demonstruje fakt, že dětská úmrtnost je zdaleka nejvyšší v novorozeneckém období a vůbec nejvyšší do několika dnů po porodu. Příčinou těchto úmrtí však většinou není porod sám (poporodní traumata), i když ten hraje svoji roli, ale nedostatečný růst a vývoj plodu v prenatálním období. Jedním z indikátorů nedostatečného prenatálního vývoje je *nízká porodní hmotnost*, tj. hmotnost novorozence nižší než 2500 g. Jiným indikátorem je *předčasný porod*, tj. porod před 37. týdnem těhotenství. V některých případech mají předčasně narozené děti navíc ještě nižší porodní hmotnost, než by odpovídalo jejich gestačnímu stáří. Novorozenecká úmrtnost je nejvyšší právě u těchto dětí. Původem těchto potíží mohou být vrozené (dědičné nebo nově získané) vývojové vady, placentální nedostatečnost nebo špatné podmínky matky. Mezi ty

patří podvýživa, choroby, kouření a konzumace alkoholu (Bogin 1999, s. 59-60). Nízká porodní hmotnost novorozenců je spojena s *nízkým socioekonomickým statutem* matky, a to jak při srovnání mezi státy, tak při srovnání různých sociálních skupin v rámci jednoho státu.

S narozením samotným nedochází ve vyvíjejícím se organismu k žádným přelomovým změnám v růstu, řada funkcí a znaků je připravená již prenatálně. Vývojové procesy započaté prenatálně kontinuálně pokračují i po narození (Piontelli 1992, s. 30). Zdravý donošený novorozenec je vybaven řadou vrozených (nepodmíněných) reflexů, které mu umožňují od prvopočátku života mimo dělohu přežít. Na většinu silných podnětů reaguje novorozenec pláčem, ale neslí.

Donošený lidský novorozenec vykazuje tyto znaky:

- hmotnost 2500 – 4000 g
- výška (délka) 50 cm
- dobře vyvinutý podkožní tuk
- růžová kůže krytá mázkem, lanugo může pokrývat povrch těla, ale pouze zbytkově
- vytvořeny jsou všechny deriváty kůže, hlavičku pokrývají vlasy, nehty přesahují okraje prstů
- varlata jsou sestoupnutá do šourku (u chlapců), *labia majora* překrývají *labia minora* (u dívek)