

Základy biologie člověka pro pedagogické obory 1

obecně biologický úvod, růst a vývoj člověka

Michal Živný

Ostrava 2022

Název: Základy biologie člověka pro pedagogické obory 1
Autor: Michal Živný
Vydání: první, 2022
Počet stran: 41

Jazyková korektura nebyla provedena, za jazykovou stránku odpovídá autor.

Čtyřdílný studijní text *Základy biologie člověka pro pedagogické obory* pokrývá svým obsahem učivo biologie člověka v rozsahu, který odpovídá požadavkům na základní znalosti této problematiky u vysokoškolských studentů pedagogických (nebiologických) oborů, odborných i učitelských. Skriptum prezentuje anatomický popis a základy fyziologie jednotlivých orgánů a orgánových soustav člověka a základy ontogeneze člověka. Na začátku, v prvním díle, však obsahuje rovněž obecně biologický úvod, který má za cíl usnadnit pochopení anatomie a fyziologie jednotlivých orgánových systémů prezentované v dalších dílech a který nahrazuje absenci jiných (obecnějších) biologických předmětů ve studijních plánech pedagogických oborů.

Studijní text je rozdělen do čtyř dílů:

- První díl je složen z *obecně biologického úvodu* (charakteristika biologie jako oboru, základy látkové, buněčné a tkáňové stavby těla a základy genetiky) a vzhledu do *ontogeneze člověka* (tedy jeho vývojové a růstové biologie).
- Druhý díl obsahuje popis tzv. *somatického oddílu* lidského těla (resp. stěny „tělesné schránky“), tedy anatomii kosterní soustavy, svalové soustavy a kůže.
- Třetí díl zahrnuje popis tzv. *viscerálního oddílu* lidského těla (útroby, resp. obsahu „tělesné schránky“), tedy orgánové soustavy, které tvoří obsah zejména hrudní a břišní dutiny. Jedná se o soustavu trávicí, dýchací, vylučovací, pohlavní a soustavu endokrinních žláz.
- Čtvrtý díl představuje popis cévní soustavy (krevního i mízního systému, včetně mízních orgánů) a nervové soustavy (včetně orgánů smyslových), tedy systémů, které *prostupují somatický i viscerální oddíl* lidského těla a zajišťují jejich zásobení a řízení.

Studijní text je úplným přehledem učiva biologie člověka v rozsahu nutném pro úspěšné složení zkoušky z tohoto předmětu či předmětů jemu podobných u vysokoškolských studentů pedagogických (nebiologických) oborů. Studium této problematiky nevyžaduje hlubší vstupní znalosti biologie, předchozí poznatky z biologie člověka i obecné biologie na úrovni středoškolského (gymnaziálního) učiva jsou nicméně pro studium výhodou. Během čtení textů a jejich studia je však nezbytné využívat i obrazové materiály, které názorně prezentují danou problematiku. K tomuto účelu slouží řada anatomických atlasů či obsahově adekvátní obrazové učebnice biologie člověka (přehled některých osvědčených a běžně využívaných titulů je součástí přehledu použité literatury).

Studium biologie člověka na vysokoškolské (a to i nebiologické) úrovni se neobejde bez používání odborné, zejména latinské terminologie. Odborná anatomická latina nutně nevyžaduje vstupní znalosti tohoto jazyka, byť jejich osvojení je samozřejmě výhodou. I pro studenta bez znalostí latiny se však odborná terminologie po krátké době intenzivního studia anatomie člověka a po pochopení základních jazykových principů snadno stane rutinní záležitostí (to je nicméně i jedním z cílů studia biologie člověka). Při studiu je rovněž důležité respektovat přísně systémový přístup. Anatomické popisy jednotlivých orgánů, a to jak vnější (makroskopické), tak vnitřní (mikroskopické či histologické), vycházejí často z podobného stavebního principu, který se s určitými obměnami opakuje a jehož pochopení výrazně usnadňuje vstřebání poměrně rozsáhlého souboru odborných pojmů.

V textu skript se objevuje několik forem grafické úpravy písma, které se liší v požadavcích na hloubku znalostí pro účely zkoušky (ta bude upřesněna vyučujícím).

Přeji všem studujícím co nejhladší průběh studia.

Michal Živný

OBSAH

1 ÚVOD DO BIOLOGIE	6
1.1 Vymezení problematiky	6
1.2 Biologické obory.....	6
1.2.1 Obecné obory	6
1.2.2 Systematické obory	7
1.2.3 Aplikované obory.....	7
1.3 Hierarchické uspořádání lidského těla.....	7
1.4 Orientace na lidském těle.....	8
1.4.1 Obecná charakteristika.....	8
1.4.2 Roviny souměrnosti.....	8
1.4.3 Osy a směry na trupu	8
1.4.4 Osy a směry na končetinách.....	9
2 LÁTKOVÁ STAVBA LIDSKÉHO TĚLA	10
2.1 Vymezení problematiky	10
2.2 Chemické prvky.....	10
2.2.1 Úvod	10
2.2.2 Makrobiogenní prvky	10
2.2.3 Oligobiogenní prvky.....	10
2.2.4 Mikrobiogenní prvky	10
2.3 Chemické sloučeniny.....	11
2.3.1 Úvod	11
2.3.2 Anorganické látky	11
2.3.3 Sacharidy	11
2.3.4 Tuky	12
2.3.5 Bílkoviny	13
2.3.6 Nukleové kyseliny.....	13
3 BUNĚČNÁ STAVBA LIDSKÉHO TĚLA	14
3.1 Vymezení problematiky	14
3.2 Stavba buňky	14
3.2.1 Úvod	14
3.2.2 Buněčná membrána	14
3.2.3 Cytoplazma	14
3.2.4 Cytoskelet.....	14
3.2.5 Ribozomy.....	15
3.2.6 Mitochondrie.....	15
3.2.7 Jádro.....	15
3.3 Dělení buněk.....	16
3.3.1 Úvod	16
3.3.2 Mitóza	16
3.3.3 Meióza.....	17
3.3.4 Chyby v počtu chromozomů.....	17
4 TKÁŇOVÁ STAVBA LIDSKÉHO TĚLA	18
4.1 Úvod do problematiky.....	18
4.2 Typy tkání	18
4.2.1 Tkáně krycí a výstelkové	18
4.2.2 Tkáně opěrné a pojivové	19
4.2.3 Tkáně svalové	19
4.2.4 Tkáně nervové	20
4.3 Vývoj tkání	21
4.3.1 Úvod	21
4.3.2 Pohlavní buňky	21
4.3.3 Fertilizace	22
4.3.4 Rýhování.....	22
4.3.5 Histogeneze.....	23
4.3.6 Implantace.....	23

5 ZÁKLADY GENETIKY	24
5.1 Vymezení problematiky	24
5.2 Geny.....	24
5.2.1 Definice genu.....	24
5.2.2 Formy genů.....	25
5.3 Znaky	25
5.3.1 Definice znaku	25
5.3.2 Monogenní znaky	25
5.3.3 Polygenní znaky	26
5.3.4 Distribuce znaků v populaci	26
6 ZÁKLADY VÝVOJOVÉ BIOLOGIE	28
6.1 Vymezení problematiky	28
6.2 Prenatální vývoj	28
6.2.1 Úvod	28
6.2.2 Embryonální období	28
6.2.3 Fetální období.....	29
6.3 Postnatální vývoj.....	29
6.3.1 Úvod	29
6.3.2 Dětství	29
6.3.3 Dospívání	30
6.3.4 Dospělost.....	31
6.3.5 Stáří	31
7 ZÁKLADY RŮSTOVÉ BIOLOGIE	32
7.1 Vymezení problematiky	32
7.2 Tělesná výška	32
7.2.1 Úvod	32
7.2.2 Dědičnost a proměnlivost tělesné výšky	32
7.2.3 Individuální vývoj tělesné výšky	33
7.2.4 Individuální hodnocení tělesné výšky.....	34
7.2.5 Populační vývoj tělesné výšky	35
7.2.6 Populační hodnocení tělesné výšky.....	36
7.3 Tělesná hmotnost	37
7.3.1 Úvod	37
7.3.2 Individuální vývoj tělesné výšky	37
7.3.3 Hmotnostně výškové poměry.....	38
7.4 Další typy růstu	39
7.4.1 Cefalický růst	39
7.4.2 Růst končetin.....	39
7.4.3 Genitální růst.....	40
Literatura	41

1 ÚVOD DO BIOLOGIE

1.1 Vymezení problematiky

Biologie (z řečtiny: *bios* = život) je věda, která se zabývá životem z fyzického (materiálního) hlediska. Předmětem jejího zájmu je tedy **živá příroda**, resp. **živé organizmy**. Život je velmi složitý přírodní proces, který se (zůstaneme-li u aktuálního vědeckého výkladu) vyvinul uvnitř neživé přírody planety Země, a to evolučním vývojem s počátkem asi před 4 miliardami let. Neživá příroda je tedy z hlediska vývojového prvotní a život vznikl z ní a je na ní závislý. Život vykazuje několik charakteristických znaků, kterými se liší od neživých systémů:

- **metabolismus:** Živé organizmy metabolizují (realizují látkovou výměnu) – přijímají ze svého okolí látky, jako je potrava, kyslík atd., ty dále zpracovávají, tedy mění je na látky tělu vlastní, které zabudovávají do svého těla, a na energii, potřebnou pro fungování těla, a vylučují odpadní látky a přebytečnou energii opět ven, do neživé přírody. Na základě toho mohou živé organizmy růst, vyvíjet se a rozmnožovat.
- **obrana:** Živé organizmy se aktivně brání před jinými živými organizmy.
- **pohyb:** Pohyb je nutný pro získávání látek pro metabolismus a únik před nebezpečím.
- **reprodukce:** Tou pravděpodobně základní vlastností, kterou se život liší od neživých systémů, je schopnost autoreplikace – vytváření kopií sebe sama (jinými slovy rozmnožování, reprodukce). Aby mohl organismus vytvářet svoje vlastní kopie, musí mít k dispozici lán, kde by byly trvale zapsané a archivované informace o stavbě (a funkci a všech dalších aspektech) těla. Tuto funkci zastávají ve všech živých organizmech molekuly *nukleových kyselin* (RNA, DNA), kde jsou informace o živém těle specifickým způsobem chemicky kódované. **Základním znakem života je tedy schopnost archivovat informace o svém vlastním těle a předávat je reprodukcí do dalších generací.** Všechny ostatní životní funkce jsou podřízeny tomuto principu.

1.2 Biologické obory

1.2.1 Obecné obory

- **morfologie:** Jde o obor, který se zabývá popisem stavby těl živých organismů (z řečtiny: *morfé* = tvar). Jiným používaným názvem s podobným významem je anatomie (z řečtiny: *anatemnein* = rozřezávat; pojí se s pitvou jako základní výzkumnou metodou). Morfologii je někdy definována jako popis vnějšího tvaru těla, zatímco anatomie jako popis jeho vnitřní struktury. Někdy se setkáváme i s označením somatologie (z řečtiny: *soma* = tělo), jde však spíše o zastaralé označení vědy o (lidském) těle, která studuje nejen anatomii, ale i jiné aspekty (např. fyziologii či vývoj).
- **fyziologie:** Jde o obor, který se zabývá fungováním živých organismů, resp. jejich buněk, tkání a orgánů. Studuje jevy jako trávení, dýchání, oběh tělních tekutin, termoregulaci, práci svalů, hormonální regulaci, nervové řízení atd.
- **vývojová biologie:** Jde o obor zabývající se *ontogenezí* – individuálním vývojem živého organismu od jeho vzniku po jeho zánik. Jeho součástí je embryologie (obor zaměřený na vývoj živého organismu před narozením).
- **evoluční biologie:** Jde o obor, který se zabývá *fylogenezí* – evolučním („historickým“) vývojem živých organismů. Studuje tedy původ a vývoj jednotlivých druhů živých organismů.
- **ekologie:** Jde o obor, který se zabývá vztahem živých organismů k jejich prostředí a k jiným organismům (z řečtiny: *oikos* = dům, přeneseně životní prostor, životní prostředí).

1.2.2 Systematické obory

Systematické obory studují jednotlivé skupiny (taxony) živých organizmů. Základními jsou:

- **virologie:** Studuje viry (jakožto nejjednodušší organizmy).
- **bakteriologie:** Studuje bakterie (jedbuněčné organizmy).
- **botanika:** Studuje rostliny.
- **mykologie:** Studuje houby.
- **zoologie:** Studuje živočichy.
- **antropologie:** Studuje člověka.

Problematika studia člověka je složitější. Člověk je sice ve své primární podstatě biologický tvor (mohl by být proto předmětem studia zoologie, podobně jako jiní živočichové, mezi které systematicky patří jakožto druh *Homo sapiens*), avšak v jeho vývoji a formování v minulosti i v současnosti hraje nezapomenutelnou roli i sociokulturní stránka jeho podstaty. Proto je třeba vědu o člověku – antropologii – chápat daleko širěji než jako pouze vědu biologickou. Biologická antropologie, studující člověka z jeho biologické stránky, je tedy pouze jednou disciplínou této vědy vedle další, tzv. sociokulturní antropologie, která se zabývá chováním člověka a strukturou a vývojem lidské společnosti v minulosti (archeologie) i v současnosti (etnologie, sociologie).

1.2.3 Aplikované obory

Poznatky biologických věd jsou široce aplikovatelné a využitelné v mnoha oborech lidské činnosti. Jde např. o lékařství (humánní i veterinární), agrobiologii, rozmanité formy biotechnologií (využívané v potravinářském průmyslu, farmacii, odpadovém hospodářství atd.) či ochranu přírody (využívající aplikace ekologických poznatků). Biologických poznatků využívají i tzv. *hraniční obory* mezi biologii a jiným vědeckým odvětvím, např. biochemie, biofyzika, bioinformatika atd.

1.3 Hierarchické uspořádání lidského těla

Lidské tělo je velmi složitý organizmus tvořený několika orgánovými systémy, mezi nimiž probíhá mnoho vzájemných vztahů (interakcí). Stavbu (a funkci) lidského těla můžeme zkoumat na několika hierarchicky uspořádaných úrovních:

- **látková (molekulární) úroveň:** Jejím základem jsou chemické sloučeniny, které tvoří živou hmotu, jedná se tedy jak o minerální, tak o organické látky. Hlavní důraz je kladen především na studium organických makromolekul (bílkoviny, nukleové kyseliny a další). Látková stavba těla je předmětem studia *molekulární biologie*.
- **buněčná úroveň:** Jejím stěžejním bodem je buněka – základní stavební a funkční jednotka organismu. Buněka je předmětem studia *cytologie*.
- **tkáňová úroveň:** Jejím základem je tkáň – soubor buněk stejného či podobného tvaru, funkce a původu. Je předmětem studia *histologie*.
- **orgánová úroveň:** Jejím základem jsou orgány – soubory tkání s definovaným vzájemným uspořádáním. Funkčně spjaté orgány tvoří orgánové soustavy. Jsou předmětem studia *organologie*, která se dále dělí podle konkrétního objektu studia na více oborů, např.
 - *osteologie* – nauka o kostech
 - *myologie* – nauka o svaletch
 - *kardiologie* – nauka o srdci
 - *angiologie* – nauka o cévní soustavě
 - *neurologie* – nauka o nervové soustavě
 - *dermatologie* – nauka o kůži

1.4 Orientace na lidském těle

1.4.1 Obecná charakteristika

Člověk (*Homo*) je systematicky řazen mezi obratlovce (*Vertebrata*). Základní anatomická stavba lidského těla proto vychází z archetypální stavby těla obratlovců. Lidské tělo je proto, podobně jako těla většiny ostatních obratlovců, tvořeno ze dvou základních stavebních částí, a to nepárové osově části a párové končetinové části.

- **část osová** (axiální): Je nepárová a obsahuje následující části:

- hlava
- krk
- trup, ten se dále dělí na:
 - zadní část (záda)
 - přední část, ta se dále dělí na:
 - horní část (hrudník, jeho přední plocha je hrud')
 - dolní část (břicho)
- pánev (přechodná oblast mezi trupem a dolní končetinou)

U většiny ostatních obratlovců je zakončením tělní osy ocas, který je u člověka rudimentární.

- **část končetinová** (apendikulární): Je párová a rozdělená na párové horní končetiny a párové dolní končetiny. Končetiny obsahují tři hlavní úseky oddělené velkými klouby (klouby níže v závorce):

- na horní končetině je to: (rameno) – paže – loket – předloktí – (zápěstí) – ruka
- na dolní končetině je to: (kyčel) – stehno – (koleno) – bérce – (hlezno) – noha

1.4.2 Roviny souměrnosti

Lidské tělo je trojrozměrný útvar, proto jím můžeme proložit tři základní na sebe kolmé roviny souměrnosti a tři základní na sebe kolmé osy (souřadnice). Na každé ose následně rozlišujeme a popisujeme dva protichůdné směry.

Aby bylo možno lidské tělo a jeho části popisovat jednoznačně, je třeba vycházet z tzv. **základní anatomické polohy**. Jedná se o vzpřímený postoj s dolními končetinami podél těla, s horními končetinami podél těla a s dlaněmi obrácenými směrem dopředu (tedy se supinovaným předloktím).

- **rovina šípová**: Jinak také *rovina sagitální*. Je to jakákoliv rovina, která dělí tělo na pravou a levou část, symetricky i asymetricky. Speciálním případem této roviny je rovina středová (jinak také *rovina mediální*), která prochází přesně středem těla a dělí jej tedy symetricky (zrcadlově) na pravou a levou část. Ostatní sagitální roviny jsou s ní rovnoběžné.
- **rovina čelní**: Jinak také *rovina frontální*. Je to jakákoliv rovina, která dělí tělo na přední a zadní část. Je kolmá na rovinu předchozí.
- **rovina příčná**: Jinak také *rovina transversální*. Je to jakákoliv rovina, která dělí tělo na horní a dolní část. Je kolmá na obě roviny předchozí.

1.4.3 Osy a směry na trupu

- **osa podélná**: Jinak také *osa longitudinální*. Je to osa probíhající tělem podélně odshora dolů. Na ose rozlišujeme směry:
 - *cranialis* – směr k hlavě (od *cranium* = lebka), také *superior* (= horní)
 - *caudalis* – směr ocasní (od *cauda* = ocas), také *inferior* (= dolní)

- **osa šípová:** Jinak také *osa sagitální*. Je to osa probíhající tělem zepředu dozadu. Je kolmá na předchozí. Na ose rozlišujeme směry:
 - *ventralis* – směr k břichu (od *venter* = břicho), také *anterior* (= přední)
 - *dorsalis* – směr k zádom (od *dorsum* = záda), také *posterior* (= zadní)
- **osa příčná:** Jinak také *osa transversální*. Je to osa probíhající tělem zprava doleva. Je kolmá na obě předchozí. Na ose rozlišujeme směry:
 - s ohledem na středovou rovinu těla
 - *medialis* – směr zevnějšku ke středové rovině
 - *lateralis* – směr od středové roviny ven
 - bez ohledu na středovou rovinu
 - *dexter* – směr doprava
 - *sinister* – směr doleva

1.4.4 Osy a směry na končetinách

Na horní a dolní končetině popisujeme, podobně jako na trupu, rovněž tři na sebe kolmé osy. Nejčastěji používané termíny se vztahují k ose podélné, která je na končetinách stěžejní. Jedná se o:

- *proximalis* – směr zevnějšku směrem k trupu
- *distalis* – směr od trupu směrem ven

Např. proximální konec celé končetiny nebo samostatně předloktí nebo samostatně pažní (loketní, vřetenní) kosti je ten, který leží blíže k trupu. Distální konec uvedených útvarů je ten, který leží na končetině dále od trupu.

Anatomické názvosloví

Aby bylo možno jednoznačně a s mezinárodní platností a srozumitelností popisovat lidské tělo a jeho součásti, bylo zavedeno **anatomické názvosloví** (nomenklatura) s dohodnutými pravidly. Názvosloví obsahuje odborné výrazy vycházející především z latiny, někdy však i řečtiny či jiných jazyků. Anatomické názvosloví se vyvíjí již od starověku (zejména z okruhu školy římského lékaře Galéna z 2. stol. n. l.). Počátky tvorby moderní podoby anatomického názvosloví se datují do konce středověku a počátku raného novověku (16. století) v Itálii. Na univerzitách v Boloni a v Padově působil původně vlámský anatom Andries van Wesel (1514–1564), známý pod latinizovaným jménem **Andreas Vesalius**. Jeho stěžejní anatomické dílo, sedmidílná práce *De humani corporis fabrica Libri septem*, bylo vydáno roku 1543 v Basileji. Autor v něm zúročil svoje zkušenosti z pitev na italských univerzitách, které poopravily některé nepřesné původní představy o stavbě lidského těla. Základ dodnes používané anatomické nomenklatury byl položen roku 1895 na anatomickém kongresu v Basileji, kde byl přijem systém zvaný Basilejské anatomické názvosloví (*Basiliensia nomina anatomica*). Roku 1935 byl anatomickou společností tento systém upraven na tzv. Jenské anatomické názvosloví (*Ienaiensia nomina anatomica*). Roku 1955 byl na anatomickém kongresu v Paříži zpětně přijat původní, ale upravený basilejský systém pod názvem Pařížské anatomické názvosloví (*Parisiensia nomina anatomica*), který je po dalších občasných úpravách používán dodnes.

2 LÁTKOVÁ STAVBA LIDSKÉHO TĚLA

2.1 Vymezení problematiky

Těla všech živých organismů, včetně lidského, jsou vystavěna z velkého množství chemických látek. Jejich vzájemné uspořádání má určitý víceméně pevně daný řád a umožňuje tak co nejspolehlivější fungování všech životních funkcí. V následujícím přehledu se tedy podíváme jinak na to, z jakých chemických prvků je tvořeno naše tělo, jednak na to, ve kterých nejdůležitějších chemických sloučeninách se tyto prvky vyskytují.

2.2 Chemické prvky

2.2.1 Úvod

Chemické prvky (elementy), které tvoří lidské tělo (i těla jiných živých organismů), se označují souhrnně jako **biogenní prvky**. Ve všech případech se jedná o stejné prvky, které najdeme i v neživé přírodě – v živých systémech tedy neexistuje prvek, který by byl specifický právě pouze pro živé organismy a nevyskytoval by se v přírodě neživé. Zastoupení (podíl) jednotlivých biogenních prvků uvnitř živých organismů a neživé přírodě se však proporcionálně liší. Podle zastoupení v lidském těle dělíme biogenní prvky na makrobiogenní, oligobiogenní a mikrobiogenní (toto rozdělení, včetně jeho terminologie, se však v různých odborných pramenech i učebnicích může mírně lišit).

2.2.2 Makrobiogenní prvky

Jedná se o majoritně zastoupené prvky v těle (podle definice je makrobiogenním prvkem takový, který sám o sobě každý zaujímá minimálně 1 % hmotnosti těla). Mají tedy především stavební funkci – jsou obsaženy ve stavebních sloučeninách lidského těla (především v organických). Dohromady tvoří asi 99 % všech biogenních prvků v těle (asi 95 % bezvodé hmoty těla). Jde o tyto prvky:

- **kyslík** – zaujímá asi 60–65 % tělesné hmotnosti (tvoří asi 20 % bezvodé hmoty těla)
- **uhlík** – zaujímá asi 20 % tělesné hmotnosti (tvoří asi 50 % bezvodé hmoty těla)
- **vodík** – zaujímá asi 10 % tělesné hmotnosti (tvoří asi 10 % bezvodé hmoty těla)
- **dusík** – zaujímá asi 3–4 % tělesné hmotnosti (tvoří asi 8–9 % bezvodé hmoty těla)
- **vápník** – zaujímá asi 1,5 % tělesné hmotnosti (tvoří asi 4 % bezvodé hmoty těla)
- **fosfor** – zaujímá asi 1 % tělesné hmotnosti (tvoří asi 2–3 % bezvodé hmoty těla)

2.2.3 Oligobiogenní prvky

Jde o minoritně zastoupené prvky (podle definice je oligobiogenním prvkem takový, který zaujímá 0,05–1 % z hmotnosti těla). Podílejí se částečně na stavbě, pro svoje malé zastoupení však hlavně na fungování lidského těla (vstupují do chemických reakcí v těle, zajišťují svalové a nervové funkce atd.). Patří k nim sodík, draslík, chlor a síra (každý je v těle zastoupen v množství asi 100–200 g).

2.2.4 Mikrobiogenní prvky

Jedná se o prvky, které jsou obsaženy v těle ve velmi malém množství (podle definice je mikrobiogenním prvkem takový, který zaujímá méně než 0,05 % z hmotnosti těla). Označují se rovněž jako **stopové prvky**. Pro správné fungování těla jsou však tyto prvky nezbytné, neboť podporují, popř. i zajišťují např. činnost enzymů či vitamínů. Deficit či absence těchto prvků jsou neslučitelné se životem. K těmto prvkům patří např. hořčík (dohromady asi 20–30 g v těle), železo, zinek, měď, mangan, kobalt, chrom, selen, bor, jód a další (některé jsou nejasné).

2.3 Chemické sloučeniny

2.3.1 Úvod

Chemické prvky se v lidském těle nevyskytují v elementární podobě, tedy jako čistý prvek, ale jsou vázány v chemických sloučeninách. Lidské buňky obsahují tisíce různých druhů sloučenin. Dělíme je z „klasického“ chemického hlediska na následující skupiny:

- **látky anorganické** (minerální)
- **látky organické:** Organických látek je v těle (nepočítáme-li vodu) podstatně více než anorganických a vyskytují se v obrovském množství forem. Jde v základě o sloučeniny uhlíku, vodíku a kyslíku, na které se váže celá řada dalších prvků. Nejvýznamnějšími skupinami organických látek jsou:
 - sacharidy
 - tuky (lipidy)
 - bílkoviny (proteiny)
 - nukleové kyseliny

2.3.2 Anorganické látky

Anorganické (jinak také minerální) látky tvoří (nepočítáme-li vodu) pouze malou část objemu (hmotnosti) lidského těla. Podle skupenství je lze rozdělit na pevné, kapalné a plynné.

- **pevné:** Jde jak o látky rozpustné ve vodě (vyskytují se tedy v podobě iontů ve vodných roztocích, např. chlorid sodný), tak o sloučeniny ve vodě nerozpustné (nejzastoupenější je fosforečnan vápenatý, dalším je uhličitan vápenatý).
- **kapalné:** Hlavní minerální látkou v těle je voda, která tvoří o něco více než polovinu jeho objemu (hmotnosti). V průběhu života se podíl vody v těle snižuje (u novorozence dosahuje až 80 %, u dospělého kolem 60 %, ve stáří ještě o něco méně). Voda má v živých systémech mnoho nezastupitelných funkcí, např.:
 - rozpouštědlo (voda je médium, v němž probíhá mnoho biochemických reakcí)
 - transportní funkce (voda je médium transportující mnoho látek mezi různými částmi těla)
 - termoregulační funkce
- **plynné:** Je to zejména oxid uhličitý (je rozpuštěn v krevní plazmě jako odpadní produkt metabolismu, ale i jako látka potřebná pro regulaci pH tělních tekutin).

2.3.3 Sacharidy

Jedná se o jednu ze skupin látek organických. Jejich molekula je tvořena vždy uhlíkem, vodíkem a kyslíkem, někdy jsou na ni navázány i jiné prvky (např. dusík). Sacharidy se označují rovněž jako *glycidy*, nepřesně i jako karbohydráty, uhlohydráty (uhlovodany) či cukry. V živočišných tělech mají sacharidy funkci stavební, především však energetickou (pohotovostní i zásobní zdroj energie, která vzniká jejich spalováním v buňkách). Dělíme je na monosacharidy, oligosacharidy a polysacharidy.

- **monosacharidy:** Jsou to (chemicky) nejjednodušší sacharidy (označují se i jako jednoduché cukry). Jsou rozpustné ve vodě a mají sladkou chuť. Slouží zejména jako pohotovostní zdroj energie. Nejvýznamnějším monosacharidem pro život člověka je *glukóza*. Vyskytuje se běžně v přírodě, např. ve sladkém ovoci (odtud také pramení jiné běžné označení – hroznový cukr), odkud ji v čisté formě také nejčastěji přijímáme. Naše tělo ji však umí vyrobit i samo z jiných organických látek přijatých potravou, a to biochemickými reakcemi uvnitř buněk. Glukóza slouží v našem těle jednak jako stavební látka (substrát pro syntézu dalších stavebních látek), jednak, a to zejména jako zdroj energie – jejím spalováním se tvoří největší část energie v těle.

- **oligosacharidy:** Jejich molekula vzniká spojením několika molekul monosacharidů (monosacharidových jednotek). Nejznámějšími jsou disacharidy (ze dvou monosacharidových jednotek), a to především *sacharóza* (tzv. řepný či třtinový cukr) a *laktóza* (tzv. mléčný cukr). Po zkonsumování jsou disacharidy v žaludku rozloženy trávicími enzymy na dvě molekuly monosacharidů.
- **polysacharidy:** Jejich molekula vzniká vzájemným spojením stovek až tisíců molekul monosacharidů (monosacharidových jednotek), nejčastěji glukózy, čímž vznikají velké makromolekuly (označují se i jako komplexní sacharidy). Některé jsou po zkonsumování rozloženy v trávicím traktu pomocí trávicích enzymů na jednotlivé molekuly monosacharidů, jiné trávicím enzymům odolávají a jsou tedy nerozložitelné. Jedná se o stavebně i funkčně o velmi rozmanité látky. Patří k nim např.:
 - *celulóza:* Je to nerozpustná vláknitá látka, jejíž molekula je složena z mnoha zřetězených molekul glukózy. Tvoří především buněčné stěny rostlinných buněk. Přijímáme ji tedy společně s rostlinnou potravou. Naš trávicí trakt ji však neumí rozložit, prochází proto až do tlustého střeva a následně je vyloučena z těla ven. Přesto má však pro naše trávení velký význam, neboť je jednou z hlavních složek nerozpustné vlákniny.
 - *škrob:* Je to částečně rozpustná látka, jejíž molekula je složena z mnoha zřetězených molekul glukózy (avšak s jinou strukturou nežv celulóze). Tvoří se v některých částech rostlin (hlízy, semena) jako jejich zásobní látka. Po přijetí v potravě se v trávicím traktu rozloží až na jednoduché molekuly glukózy, která má poté stejný osud jako glukóza přijatá potravou v čisté podobě (vstřebá se do krve a následně slouží jako stavební látka nebo zdroj energie).
 - *glykogen:* Je to tzv. živočišný škrob. Je podobný rostlinnému škrobu (jeho molekula je rovněž tvořena mnoha zřetězenými molekulami glukózy). V našem těle se tvoří sám z přijaté glukózy (nepřijímáme ho tedy potravou jako jiné polysacharidy), dohromady je ho asi 500 g a ukládá se hlavně do svalů a do jater, odkud je v případě potřeby použit jako zásobní zdroj energie (rozštěpí se zpět na molekuly glukózy, která se v buňkách spálí).

2.3.4 Tuky

Označují se rovněž jako **lipidy**. Jde o jednu ze skupin látek organických. Jejich molekula je tvořena vždy uhlíkem, vodíkem a kyslíkem, někdy jsou na ni navázány i jiné prvky (např. dusík či fosfor). Molekula tuku je složena ze dvou hlavních komponent – z *glycerolu* (trojsytný alkohol) a mastných kyselin (obvykle tři řetězce, které se vážou na molekulu glycerolu). V našem těle mají tuky funkci stavební (podílejí se na stavbě buněčných membrán), nejčastěji však zásobní (ukládají se při nadměrném příjmu, resp. nedostatečném výdeji energie). Řetězek mastných kyselin v molekulách tuků je nejčastěji tvořen 16 nebo 18 atomy uhlíku, mezi nimiž jsou nasycené nebo nenasycené chemické vazby. To je i základní kritérium pro další klasifikaci tuků. Tuky můžeme tedy rozdělit do následujících skupin:

- **nasycené tuky:** Jsou to tuky, u nichž jsou všechny chemické vazby mezi atomy uhlíku v řetězcích mastných kyselin nasycené. Mají pevné (mazlavé) skupenství. Převládají v běžných živočišných tucích (sádlo, lůj a mléčný tuk) a v některých tucích rostlinných (kokosový tuk a kakaové máslo).
- **nenasycené tuky:** Jsou to tuky, u nichž jsou některé (alespoň jedna) chemické vazby mezi atomy uhlíku v řetězcích mastných kyselin nenasycené. Mají kapalné skupenství a označují se jako oleje. Podle počtu nenasycených chemických vazeb v řetězcích mastných kyselin se dále dělí na:
 - *mononenasycené:* Obsahují v řetězci mastné kyseliny pouze jednu nenasycenou vazbu. Převládají v olivovém a řepkovém oleji, ve většině olejů ze skořápkových („orechových“) plodů, u živočišných tuků převládají např. v husím sádle a v tuku z vajec (žloutku).
 - *polynenasycené:* Mají v řetězci mastné kyseliny více nenasycených vazeb. Podle polohy nenasycené vazby v uhlíkovém řetězci se dělí na omega-6 (většina olejů ze semínek) a omega-3 (olej lněný, olej z chia semínek, rybí olej). Některé nenasycené mastné kyseliny jsou pro naše tělo esenciální (nezbytné) – jejich dostatečný příjem je nutný pro správné fungování organismu.

2.3.5 Bílkoviny

Označují se rovněž jako **proteiny**. Jedná se o jednu ze skupin látek organických. Jejich molekula je tvořena uhlíkem, vodíkem a kyslíkem, a vždy i dusíkem (na stavbě některých bílkovin se podílí i síra). Bílkoviny jsou velmi složité organické látky, které tvoří základ živé hmoty všech organismů. Základními stavebními jednotkami bílkovinných makromolekul jsou molekuly tzv. aminokyselin (jsou to jednoduché organické kyseliny obsahující dusíkatou aminoskupinu $-NH_2$). Molekula bílkoviny vzniká spojením desítek, stovek, někdy i tisíců molekul aminokyselin. V přírodě se vyskytuje několik stovek druhů aminokyselin, avšak pouze asi 20 z nich se uplatňuje při stavbě bílkovin (jde o tzv. proteino-genní aminokyseliny). Vlastnosti konkrétní bílkoviny závisejí na počtu, druhu a vzájemném pořadí aminokyselin v její molekule. Aminokyseliny pro stavbu našich vlastních tělesných bílkovin získáváme z potravy obsahující bílkoviny, a to potravy rostlinné (zejména luštěniny) i potravy živočišné (zejména maso, vejce, mléčné výrobky). Z uvedených 20 proteinogenních aminokyselin si 12 umí člověk sám v těle vyrobit z jiných organických látek, pokud se jich v potravě nedostává, ale zbylých 8 musíme přijmout v potravě již v hotovém stavu (naše tělo je neumí samo syntetizovat). Tyto aminokyseliny označujeme jako esenciální (tedy nezbytné – v plné sestavě a v ideálních proporcích jsou obsaženy v živočišných bílkovinách, např. ve svalových). Naše tělo je tvořeno tisíci druhů bílkovin s velmi rozmanitým spektrem funkcí. Můžeme je rozdělit na dvě základní skupiny, stavební a funkční.

- **stavební bílkoviny:** Podílejí se na stavbě těla. Bílkoviny jsou základní stavební látkou a vyskytují se prakticky v každé části našeho těla v mnoha různých typech.
- **funkční bílkoviny:** Jsou nezbytné pro obrovský počet tělesných funkcí. Fungují např. jako:
 - *enzymy* – bílkoviny, jejichž přítomnost umožňuje průběh řady životně důležitých biochemických reakcí v našem těle (např. syntézu mnoha stavebních látek, buněčné dýchání, trávení přijaté potravy atd.) – jedná se tedy o tzv. biokatalyzátory
 - *transportní bílkoviny* – přemísťují různé látky v těle, působí tedy jako chemické nosiče (najdeme je třeba v krvi, např. hemoglobin přenáší kyslík)
 - *signální bílkoviny* – přenášejí informace (jsou to některé hormony, např. inzulin)
 - *svalové bílkoviny* – zajišťují pohyb svalů (tvoří však i hlavní část hmoty svalů, patří proto současně i mezi stavební bílkoviny)

2.3.6 Nukleové kyseliny

Jsou to složité organické látky, jejichž hlavní funkce je informační – nesou ve svých chemických vazbách zakódované informace, podle kterých se tvoří a funguje naše tělo. Základním příkladem nukleových kyselin je **deoxyribonukleová kyselina** (zkratka DNA). Najdeme ji v buněčných jádrech (název je odvozen od latinského *nucleus* = jádro). Molekula DNA má tvar dvojitého a šrobovicovitě stočeného vlákna, které je tvořeno řetězcem tzv. nukleotidů. Nukleotidy jsou základními stavebními kameny vlákna DNA. Avšak narozdíl od bílkovin, jejichž vlákna (makromolekuly) sestávají z 20 různých druhů aminokyselin, je DNA tvořená pouze 4 druhy nukleotidů, které se v různém pořadí na vlákně DNA střídají (jejich pořadí je podstatou genetického kódování). Vlákno lidské DNA má také nezvyklé rozměry, v každé buňce je dlouhé asi 1 m (zatímco jeho šířka je pouze asi 2 nm, tedy 2 miliontiny milimetru) a obsahuje asi 3 miliardy nukleotidů (tedy „písmen“ našeho genetického kódu), což je daleko více základních stavebních kamenů, než je např. aminokyselin v řetězci bílkovinné molekuly nebo monosacharidů v polysacharidovém řetězci (tam jde nejčastěji o stovky nebo tisíce).

3 BUNĚČNÁ STAVBA LIDSKÉHO TĚLA

3.1 Vymezení problematiky

Buňka je základní stavební a funkční jednotkou těl většiny živých organismů. Na buněčné úrovni probíhá většina fyziologických dějů. Nauka o buňkách se nazývá *cytologie* (z řeckého *kytos* = buňka, latinský název pro buňku je *cellula*). Tělo jednobuněčných organismů je tvořeno pouze jednou buňkou, která vykonává všechny životní funkce. Těla mnohobuněčných organismů, k nimž patří i člověk, jsou složena obvykle z obrovského množství buněk (u dospělého člověka je odhad asi 10^{14} = 100 tisíc miliard, někdy je však odhad i mnohonásobně vyšší) mnoha typů a velikostí.

- **velikost buněk:** Velikost buněk lidského těla je velmi rozmanitá – největší buňkou je vajíčko (ženská pohlavní buňka, jeho velikost je asi 140 μm (0,14 mm), je tedy téměř viditelné pouhým okem), na opačném konci škály stojí např. červené krvinky (velikost asi 7 μm , resp. 0,007 mm) či spermie (velikost hlavičky spermie je asi 5 μm , resp. 0,005 mm). Nejběžnější velikost lidských buněk dosahuje nižších desítek μm .
- **tvar buněk:** Buňky mají velmi rozmanité tvary – některé jsou kulovité (nejpřirozenější tvar), jiné jsou ploché, krychlové, válcovité (cylindrické), větvenovité, hvězdicovité, diskovité, měňavkovité, ovoidní, nepravidelné a další.

3.2 Stavba buňky

3.2.1 Úvod

Každá buňka je tvořena několika základními součástmi. Na povrchu je buňka obalena tzv. buněčnou membránou. Uvnitř buňky se nachází hmota označovaná jako cytoplazma. V cytoplazmě jsou uložena rozmanitá tělíska, zvaná buněčné organely, z nichž každá zastává specifické funkce. Je jich řada typů, přičemž hlavní a nejdůležitější roli má buněčné jádro. Vnitřní struktura a organizace buňky je zajišťována a udržována tzv. cytoskeletem (vnitřní buněčnou kostrou).

3.2.2 Buněčná membrána

Buněčná membrána je obal buňky, který tvoří hranici mezi jejím vnitřním prostředím a okolím. Je tvořena komplexem speciálních tuků a bílkovin. Buněčná membrána řídí tok látek mezi buňkou a vnějším prostředím. Kromě toho, že obaluje buňku, vytváří i obaly některých organel uvnitř buňky, jedná se tedy o buněčný „obalový“ materiál. Buněčná membrána je složena především ze specializovaných tuků a bílkovin, které vytvářejí v membráně komplex s mnoha funkcemi.

3.2.3 Cytoplazma

Cytoplazma je substance vyplňující vnitřek buňky. Jedná se o polotekutou (gelovitou) hmotu, složenou především z vody, v níž je rozpuštěno (nebo uloženo) mnoho různých typů látek, a to jak anorganických (minerálních), tak organických (hlavně bílkovin).

3.2.4 Cytoskelet

Cytoskelet (buněčná kostra) je systém různých typů bílkovinných vláken a trubic, které prostupují celou buňkou, v níž vytvářejí prostorovou síť. Cytoskelet ukotvuje jednotlivé organely na svém místě, stabilizuje buněčnou membránu, uplatňuje se při buněčném dělení, slouží k transportu různých látek uvnitř buňky a v některých buňkách má další specifické funkce (např. ve svalových buňkách zajišťuje jejich kontrakce).

3.2.5 Ribozomy

Ribozomy jsou to velmi drobná tělíska složená především z bílkovin. V buňce se vyskytují v počtu tisíců až statisíců, některé volně, jiné jsou vázané na povrch některých buněčných organel. Hlavní funkcí ribozomů je *proteosyntéza* – tvorba bílkovin (proteinů), jedná se doslova o výrobní „linku“ produkující bílkoviny jakožto nejdůležitější stavební a funkční organické látky těla.

3.2.6 Mitochondrie

Mitochondrie jsou protáhlé organely, které se vyskytují v buňce v počtu stovek až tisíců. Mitochondrie je na povrchu kryta membránou, která je dvojí (vnější je hladká a vnitřní je zřasená do mnoha záhybů). Uvnitř mitochondrií je hmota podobná cytoplazmě, která obsahuje i vlastní vlákno DNA a ribozomy. V mitochondriích dochází k tzv. buněčnému dýchání – spalování živin kyslíkem, čímž dochází k tvorbě a uvolňování energie, která je nutným předpokladem života a přežití jakéhokoliv živého organismu. Mitochondrie tedy mají funkci „elektrárny“ buňky a tím i celého těla.

Produkce energie v mitochondriích

Produkcí energie v mitochondriích můžeme popsat následujícími kroky:

- **příjem živin a kyslíku:** 1) Živiny z potravy (sacharidy, tuky, bílkoviny), které se vlivem trávicích enzymů rozloží v trávicím traktu na jednoduché organické látky, se vstřebávají ve střevě do krve a ta je odnese až k jednotlivým buňkám těla, kde se dostanou až do mitochondrií. 2) Vzdušný kyslík, který se v plicích naváže na hemoglobin obsažený v červených krvinkách, je krví roznesen ke všem buňkám těla, opět až do mitochondrií.
- **oxidace:** Uvnitř mitochondrie dochází k enzymatickému spalování živin kyslíkem. Během spalování dojde k uvolnění jednoduchých látek (H_2O a CO_2) a energie, kterou organismus dále využívá pro svoji činnost. Více než 50 % energie vzniklé spalováním živin se uvolní jako teplo (to je důležité pro udržení stálé vnitřní tělesné teploty).
- **fosforylace:** Organismus potřebuje energii i k jiným činnostem než k termoregulaci, musí ji tedy umět uložit do zásoby a z ní ji v případě potřeby odebírat. K tomu dochází procesem fosforylace, a to tak, že část energie vznikající spalováním se použije na syntézu vysokoenergetické látky zvané *adenozintrifosfát* (ATP). Ten se v buňce uskladí a je-li potřeba získat energii pro jakoukoliv činnost (např. svalovou či nervovou), dojde pomocí enzymů k rozkladu ATP, přičemž se energie opět uvolní a je tak okamžitě lokálně využitelná. ATP tedy slouží jako energetická zásobárna („konzerva“) organismu. ATP hraje ústřední roli v energetickém metabolismu prakticky všech živých organismů.

3.2.7 Jádro

Buněčné jádro je nejdůležitější a obvykle i největší buněčnou organelou. Má různý tvar (kulovitý, ovoidní, segemntoavnný, laločnatý atd.). U člověka chybí pouze v červených krvinkách. Jádro obsahuje genetickou informaci, jeho funkcí je tedy řízení činnosti a rozmnožování buňky a předávání genetické informace (dědičnost). Jádro je tvořeno následujícími částmi:

- **jaderná membrána:** Je to obal jádra. Jaderná membrána je dvojí (vnější a vnitřní, obě jsou hladké) a perforovaná po celém povrchu. Skrz póry dochází k toku látek, zejména genetické informace, mezi jádrem a cytoplazmou.
- **chromatin:** Je to hmota nacházející se uvnitř jádra. Chromatin je složený ze dvou typů organických látek – deoxyribonukleové kyseliny (DNA) a specifických bílkovin. DNA je organická látka tvořená velmi dlouhým a velmi tenkým vláknem, jehož jednotlivé úseky se nazývají geny a mají informační funkci (nesou genetickou informaci). V klidovém stavu buňky (když se právě nedělí) je chromatin v jádře víceméně volně rozptýlen. Když se buňka začne dělit, shlukuje se chromatin do útvarů zvaných chromozomy. Chromozomy jsou tělíska vřetenovitého tvaru, tvořené dvěma raménky spojenými tzv. centromerou. Každý chromozom je vlastně mnohonásobně svinuté vlákno DNA zpevněné bílkoviny. Pro každý rostlinný a živočišný druh je charakteristický konkrétní počet chromozomů v buněčném jádře, který je u všech jedinců daného druhu totožný. V lidských buňkách je základní počet chromozomů v buněčném jádře 23, což znamená, že vlákno DNA je rozděleno do 23 (nestejně dlouhých) úseků. Některé chromozomy jsou totožné (nesou stejné vlákno DNA, a tedy i stejné geny), některé odlišné. Soubor všech vzájemně odlišných chromozomů buněčného jádra se označuje jako chromozomální sada. Podle počtu sad se buňky rozlišují na haploidní a diploidní.

- **haploidní buňky:** Jsou to buňky, které obsahují v jádře pouze jednu sadu chromozomů, u člověka je jich tedy 23. Každý je jiný (obsahuje jiné geny). Jedinými haploidními buňkami u člověka jsou pohlavní buňky (vajíčka a spermie). Chromozomy dělíme do dvou typů:
 - 22 chromozomů označuje jako *autozomy* (tělesné chromozomy).
 - Poslední (23.) chromozom je tzv. *gonozom* (pohlavní chromozom). Pohlavní chromozom může být dvojího typu – *chromozom X* nebo *chromozom Y*.

Vajíčko i spermie tedy obsahuje ve svém jádře 23 chromozomů, z toho je jeden pohlavní.

- **diploidní buňky:** Jsou to buňky, které obsahují v jádře dvě sady chromozomů, u člověka je jich tedy 46 (2×23). Jinými slovy, všechny chromozomy jsou párové. Diploidní jsou všechny buňky lidského těla s výjimkou buněk pohlavních.
 - V případě 22 tělesných chromozomů (autozomů) jsou oba chromozomy v daném páru vždy stavebně a funkčně identické (obsahují stejné geny), z toho jeden z daného páru jsme zdědili od otce a druhý od matky. Z tohoto důvodu tedy 50 % našich genů (a chromozomů) získáváme od matky – z jejího vajíčka – a 50 % od otce – z jeho spermie.
 - V případě pohlavních chromozomů (gonozomů, tedy posledního páru) mohou být oba chromozomy v páru totožné, ale i odlišné. Název “pohlavní” mají proto, že jejich kombinace určuje genetické pohlaví jedince, a to tímto způsobem:
 - pokud má jedinec dva chromozomy X, tedy sestavu XX (oba pohlavní chromozomy jsou totožné), je geneticky ženského pohlaví
 - pokud má jedinec v buněčném jádře jeden chromozom X a jeden chromozom Y, tedy sestavu XY (každý pohlavní chromozom je jiný), je geneticky mužského pohlaví

Sestava YY neexistuje, protože chromozom Y je velmi malý a neplnohodnotný a organizmus musí mít alespoň jeden chromozom X, aby mohl žít a fungovat (na chromozomu X jsou důležité geny). Na pohlavních chromozomech se nacházejí geny, které řídí vývoj buď mužských, nebo ženských pohlavních znaků. Pohlavní buňky (jakožto haploidní buňky) obsahují pouze jednu sadu chromozomů, tedy i pohlavní chromozom je pouze jeden. Vajíčko obsahuje vždy pouze chromozom X, u spermií jich polovina obsahuje chromozom X a polovina chromozom Y. O pohlaví potomka tedy rozhoduje spermie, resp. její pohlavní chromozom.

3.3 Dělení buněk

3.3.1 Úvod

Dělení buněk je proces, při kterém z jedné buňky mateřské vznikají dvě buňky dceřiné. Jedná se o mechanismus, díky kterému se zvětšuje celkový počet buněk v organizmu, což je základní předpoklad jeho růstu a vývoje. Lidské tělo je tvořeno odhadem asi 10^{14} (=100 tisíce miliardami) buněk, které vznikají postupným dělením původně jediné buňky, zygoty (oplozeného vajíčka). Rozlišujeme dva základní typy dělení buněk – *mitózu* (mitotické dělení) a *meiózu* (meiotické dělení).

3.3.2 Mitóza

Mitóza je hlavní typ dělení typický pro téměř všechny buňky těla. Z původní diploidní buňky mateřské vznikají během tohoto dělení buňky dceřiné, které jsou opět diploidní. Před každým dělením tedy musí dojít ke *zdvojnásobení (duplikaci) genetické informace*. Vlákno DNA tedy vytvoří kopii sebe sama. Při duplikaci DNA se zdvojí i samotné chromozomy, které tím získají tvar písmene X (dvě dvojice ramének jsou spojené centromerou). Buňka je tedy těsně před rozdělením přechodně tetraploidní (všechny chromozomy má ve 4 kopiích), po jejím rozdělení vzniknou dvě diploidní buňky, do každé přejde dvojice (pár) chromozomů z každé čtveřice.

3.3.3 Meióza

Meióza je specifický typ dělení, při němž vznikají pohlavní buňky – gamety (spermie a vajíčka). Z původní diploidní buňky mateřské vznikají při tomto dělení buňky dceřiné, *kteří jsou však haploidní*. Během meiotického dělení se tedy každý chromozomový pár rozdělí, přičemž jeden chromozom z páru přejde do jedné vznikající dceřiné buňky, druhý přejde do druhé vznikající dceřiné buňky. Výsledné pohlavní buňky tedy obsahují pouze po jednom chromozomu z každého páru.

Meióza je poměrně složitý proces. Výše uvedené schéma je silně zjednodušené, je v něm vystihnuta pouze jeho matematická podstata (zmenšení počtu chromozomů na polovinu v buňkách dceřiných oproti buňkám mateřským). Na začátku meiózy totiž dojde rovněž k duplikaci genetické informace, ale ta je následována nikoliv jedním, ale dvěma za sebou jdoucími děleními (při druhém už k duplikaci nedochází), takže výsledkem jsou čtyři buňky, každá s polovičním (haploidním) počtem chromozomů. Těsně před dělením je tedy buňka opět přechodně tetraploidní, po následném dvojitým dělení vzniknou čtyři haploidní buňky (resp. pohlavní buňky).

Z výše uvedeného vyplývá, že k meiotickému dělení dochází v pohlavních žlázách, kde tímto způsobem vznikají pohlavní buňky. Pohlavní buňky jsou následně (potenciálně) zapojeny do procesu oplození. Při oplození (splynutí vajíčka a spermie) dojde v oplozeném vajíčku (zygotě) opět k vytvoření párovosti chromozomů (každá pohlavní buňka dodá po jednom chromozomu do každého vznikajícího páru v oplozené buňce) a zygota (první buňka nového organismu) je tím opět diploidní. Zygota se hned po oplození začne mnohonásobně dělit, a to mitotickým dělením, takže všechny ostatní tělesné buňky embrya, které jejím dělením vznikají, jsou diploidní.

3.3.4 Chyby v počtu chromozomů

Při tvorbě pohlavních buněk mechanismem meiotického dělení může dojít k poruše rozdělení chromozomů do dceřiných buněk. Výsledkem je chybný počet chromozomů v pohlavních buňkách. Pokud se defektní pohlavní buňka spojí do procesu oplození, tedy spojí se s druhou (normální) pohlavní buňkou, předá chybný počet chromozomů zygotě, a tento stav se následně „kopíruje“ do všech dalších buněk embrya. Nejčastěji se vyskytují dva typy chybného počtu chromozomů v zygotě (a všech dalších diploidních buňkách nového jedince), a to *monozomie* a *trizomie*.

- **monozomie:** Jde o stav, kdy je některý z chromozomů přítomen v buněčném jádře diploidní buňky pouze v jedné kopii (místo páru). Znamená to, že z pohlavní buňky během jejího vzniku meiotickým dělením jeden chromozom „vypadl“. Druhá pohlavní buňka sice dodala během oplození do daného páru svůj chromozom, ale ten se nemá s čím spárovat. Místo daného chromozomového páru je tedy v tělesných buňkách jedince již natrvalo pouze jeden chromozom.

U člověka je tímto způsobem podmíněn tzv. Turnerův syndrom. Jde o monozomii 23. páru chromozomů (tedy pohlavních chromozomů), kdy je v buňkách jedince přítomen pouze jeden pohlavní chromozom, a to X (sestava je tedy či X-). Jedinec s touto kombinací pohlavních chromozomů je ženského pohlaví (neobsahuje chromozom Y, který by zajistil vývoj pohlaví mužského).

- **trizomie:** Jde o stav, kdy je některý z chromozomů přítomen v buněčném jádře ve třech kopiích (místo páru). Znamená to, že do pohlavní buňky se během jejího vzniku meiotickým dělením dostal celý pár chromozomů (byl během meiózy do dceřiných buněk nesprávně rozdělen). Druhá pohlavní buňka dodala během oplození svůj chromozom, který se „spároval“ s dvojicí chromozomů z chybné pohlavní buňky. Místo páru je tedy v tělesných buňkách jedince přítomna již natrvalo trojice chromozomů daného páru.

U člověka je tímto způsobem podmíněno několik syndromů. Např. trizomie 21. páru chromozomů způsobuje tzv. Downův syndrom, vykazující řadu typických tělesných i duševních projevů. Trizomií pohlavních chromozomů je více forem. V sestavě XXY je to tzv. Klinefelterův syndrom. Jedinec je mužského pohlaví a je postižen méně výraznými fyzickými poruchami (částečnou feminizací těla). V sestavě XYY jde o tzv. supermale syndrom („supermuž“), jedinec je mužského pohlaví. V sestavě XXX se jedná o tzv. superfemale syndrom („superžena“), jedinec je ženského pohlaví.

4 TKÁŇOVÁ STAVBA LIDSKÉHO TĚLA

4.1 Úvod do problematiky

Člověk je mnohobuněčný organizmus, jeho tělo tedy obsahuje obrovské množství buněk diferencovaných do mnoha typů. Soubory podobných buněk se označují jako **tkáň**. Tkáň je definována jako soubor buněk přibližně stejného tvaru (morfologie), funkce (fyziologie) a původu (ontogeneze). Nedílnou složkou tkání je však i tzv. mezibuněčná (intercelulární) hmota, která se nachází mezi buňkami a která často ovlivňuje stěžejní vlastnosti tkání. Tkáň je tedy nutno definovat širěji, a to jako **komplex buněk přibližně stejného tvaru (morfologie), funkce (fyziologie) a původu (ontogeneze), mezibuněčné hmoty a jejich vzájemných interakcí**. Poměr mezi zastoupením buněčné a mezibuněčné složky se může u jednotlivých tkání i výrazně lišit. Biologický obor zabývající se studiem tkání se označuje jako histologie (z řeckého *histos* = tkáň). Tkáně v lidském těle se obvykle klasifikují do následujících typů:

- tkáň krycí a výstelkové (epitely)
- tkáň pojivové a opěrné
- tkáň svalové
- tkáň nervové

4.2 Typy tkání

4.2.1 Tkáň krycí a výstelkové

Krycí a výstelkové tkáň, jinak zvané **epitely**, jsou z morfologického hlediska především *plošně uspořádané tkáň*. Jde o jednu či více vrstev buněk uspořádaných do plochy a kryjících povrch těla a vnější povrchy orgánů a vystýlajících tělesné dutiny a vnitřní dutiny útrobních orgánů. U epitelových tkání převládá buněčná složka nad mezibuněčnou. Epitely dělíme na typy podle různých kritérií. Základním kritériem je rozdělení podle počtu vrstev na jednovrstevné a vícevrstevné.

- **jednovrstevné epitely:** Jsou tvořeny jednou vrstvou buněk. Podle tvaru buněk je dále dělíme na:
 - *ploché:* Jde o jednu vrstvu plochých (dlaždicovitých) buněk. Tvoří např. výstelku cév a srdečních dutin či výstelku plicních sklípků.
 - *kubické:* Jde o jednu vrstvu kubických (krychlových) buněk. Tvoří např. výstelku ledvinných kanálků či vývodů řady žláz.
 - *cyklindrické:* Jde o jednu vrstvu vysokých cyklindrických (válcovitých) buněk. Tvoří např. výstelku žaludku, tenkého střeva, tlustého střeva, dýchacích cest a výstelku mužských i ženských vývodných pohlavních cest.
- **vícevrstevné epitely:** Jsou tvořeny více vrstvami buněk, minimálně dvěma, ale často i desítkami. Více vrstev buněk má primárně ochrannou funkci (chrání povrchy orgánů či sliznice před mechanickým namáháním). Dělí se dále na rohovatějící a nerohovatějící.
 - *rohovatějící:* Jde o několik desítek vrstev buněk, z nichž buňky bazálních vrstev jsou živé, neustále se dělí a posunují směrem k povrchu. Během této cesty postupně odumírají, rohovatí (ukládá se v nich keratin) a když dosáhnou povrchu, odlupují se. Tímto typem epitelu je tvořena pokožka (svrchní vrstva kůže).
 - *nerohovatějící:* Jde o několik desítek vrstev buněk, které se opět v bazálních vrstvách množí, posunují směrem k povrchu, odumírají a odlupují se, avšak nerohovatí. Tento typ vystýlá dutinu ústní, hltan, jícen, konečník a pochvu, tedy mechanicky namáhané orgány.

4.2.2 Tkáně opěrné a pojivové

Pojivové a opěrné tkáně mají primárně mechanické funkce, některé se však podílejí i na dalších funkcích. Vzájemně propojují jednotlivé tkáně v orgánech, spojují orgány mezi sebou, vyplňují některé volné prostory v těle a poskytují oporu orgánům i tělu jako celku. Zajišťují tedy soudržnost těla na několika úrovních. V odborné literatuře jsou pojivové a opěrné tkáně označovány většinou pouze jako tkáně pojivové, nicméně opěrná funkce je, zvláště u některých z nich, velmi podstatná, a hodí se k jejich charakteristice lépe než označení pojivo. Jejich základní stavba a ontogenetický původ jsou však společné. U většiny pojivových tkání (výrazně) převažuje mezibuněčná složka nad buňkami, neboť mechanické funkce jsou vázány právě na charakter mezibuněčné hmoty. Mezibuněčná hmota je tedy složitější než v jiných tkáních. Má dvě základní složky, vláknitou čili *fibrilární* (tvořenou bílkovinnými vlákny, zejména kolagenními) a beztvárovou čili *amorfní* (tvoří ji voda, organické látky, zejména různé typy bílkovin a polysacharidů s „lepivou“ konzistencí, někdy i minerální látky). Embryonální pojivovou tkání je tzv. mezenchym. Základními „definitivními“ (dospělými) pojivovými tkáněmi jsou vazivo, chrupavka a kostní tkáň.

- **mezenchym:** Mezenchym je především embryonální pojivová tkáň. Základem jsou hvězdčité buňky, které tvoří síť vyplňující prostory mezi vyvíjejícími se orgány. Mezenchym je důležitou histogenetickou tkání. Jeho diferenciací vznikají všechny tkáně pojivové (vazivo, chrupavka a kostní tkáň), tkáně svalové, některé typy epitelů, některé buňky nervové tkáně (gliové) a buňky krevní.
- **vazivo:** Vazivo je měkká tkáň (nejměkkší ze všech pojivových tkání) s typickou a jasně definovatelnou pojivovou funkcí. Základní buňky vaziva se označují jako *fibrocyty*. Kromě těchto toho najdeme v některých vazivech další typy buněk se specifickými funkcemi. Mezibuněčná hmota převažuje a obsahuje amorfní složku a různé zastoupení bílkovinných vláken. Vazivo tvoří např. vazy, šlachy, kloubní pouzdra, okostici a vazivové obaly mnoha orgánů. Vazivo rovněž prostupuje prakticky všemi orgány a propojuje v nich jiné tkáně. Zvláštním typem je tzv. *tukové vazivo* (či tuková tkáň), které obsahuje velké kulovité buňky vyplněné tukem (buňky tedy v tomto případě výrazně převládají nad mezibuněčnou hmotou).
- **chrupavka:** Chrupavka je tvrdší než vazivo, ale měkčí než kostní tkáň. Kromě pojivové funkce se u ní proto výrazně uplatňuje i funkce opěrná. Základní buňky chrupavky se nazývají *chondrocyty*. Mezibuněčná hmota převažuje a obsahuje amorfní složku a různé zastoupení bílkovinných vláken. Chrupavka tvoří např. kloubní plochy na kostech (zajišťují hladkost kloubních ploch), meziobratlové ploténky a přední konce většiny žeber. Chrupavky rovněž vyztužují dýchací cesty (hrtan, průdušnici a průdušky). Většina kostí v lidském těle je v embryonální fázi vývoje tvořena chrupavkou, která postupně kostnatí (mění se na kostní tkáň).
- **kostní tkáň:** Kostní tkáň je nejtvrdší ze všech pojivových tkání a jednou z nejtvrdších tkání vůbec (tvrdší jsou pouze některé zubní tkáně). Neuplatňuje se tedy jako klasické pojivo, ale výrazně u ní převažuje funkce opěrná (opora pro měkké tkáně i tělo jako celek). Základní buňky kostní tkáně se označují jako *osteocyty*. Mezibuněčná hmota však v kostní tkáni převažuje nad buňkami a obsahuje pevná kolagenní vlákna spojená s amorfní hmotou, v níž je zastoupen vysoký podíl anorganických (minerálních) látek, zejména fosforečnanu vápenatého. Minerální látky dodávají kostní tkáni tvrdost. Kostní tkáň se vyskytuje zejména v kostech, v nichž tvoří většinu jejich objemu.

4.2.3 Tkáně svalové

Základní funkcí svalových tkání je zajišťování pohybu (těla, jeho částí, jednotlivých orgánů). Na tuto funkci navazují funkce další. Nejdůležitější vlastností svalových tkání je *kontraktilita*, tzn. schopnost smršťovat se (kontrahovat) či naopak natahovat se (relaxovat). Ve svalových tkáních převládá buněčná složka nad složkou mezibuněčnou. Buňky svalové tkáně se označují jako *myocyty*. Kromě běžných organel obsahují i specifický cytoskelet tvořený aktinovými a myozinovými vlákny. Tato vlákna zajišťují kontraktilitu svalové buňky. Svalové tkáně dělíme na několik typů:

- **hladká svalová tkáň:** Je tvořena protáhlými buňkami vřetenovitého tvaru. Vyskytuje se zejména ve stěnách útrobních orgánů, kde se uplatňují při posunování jejich obsahu (např. ve střevu či žaludku), ve stěnách véc, popř. působí jako svěrače. Kromě toho se tato tkáň vyskytuje i v kůži, v oku a na dalších místech. Hladká svalová tkáň pracuje pomalu, zato stále (je neunavitelná) a není ovladatelná vůlí.
- **příčně pruhovaná svalová tkáň:** Je tvořena dlouhými svalovými vlákny vzniklými spojením řady mnoha svalových buněk. Příčné pruhování je vidět v mikroskopu a je dáno přísně pravidelným vnitřním uspořádáním. Svalová vlákna tvoří snopečky, ty potom snopce, jejichž propojením vznikne samotný sval. Vyskytuje se zejména v tzv. kosterních svalech (tvoří tedy svalovou soustavu), kromě toho ji najdeme i ve stěnách některých útrobních orgánů (v jazyku, hltanu, jícnu, konečníku, hrtanu atd.). Příčně pruhovaná svalová tkáň pracuje rychle, avšak krátkodobě (je rychle unavitelná a potřebuje přestávky). Je ovladatelná vůlí.
- **srdeční svalová tkáň:** Je tvořena rovněž dlouhými, příčně pruhovanými vlákny, od klasické příčně pruhované svalové tkáně se však liší v anatomických detailech a zejména fyziologicky. Pracuje rychle, ale přesto neustále (je neunavitelná). Není ovladatelná vůlí. Srdeční svalová tkáň se vyskytuje pouze v srdci, kde tvoří jeho svalovou stěnu, tzv. myokard.

4.2.4 Tkáň nervové

Základní funkcí nervové tkáně je řízení tělesných funkcí. Nejdůležitější vlastností nervové tkáně je dráždivost (*excitabilita, iritabilita*), spojená s generováním vzruchů (elektrických impulsů) na daný podnět a rovněž s vodivostí. V nervové tkáni převládá buněčná složka nad složkou mezibuněčnou, neboť její funkce se odehrávají na buněčné úrovni. Mezbuněčná hmota v klasické podobě v podstatě ani neexistuje. Buněčná hmota nervové tkáně je tvořena anatomicky i funkčně vysoce specializovanými buňkami a je výrazně odlišná od všech ostatních tkání. Nervová tkáň je obsažena zejména v mozku a míše, kde tvoří převážnou část jejich hmoty. Dále tvoří i periferní nervy. Rozlišujeme dva základní typy nervových buněk – *neurony* a *buňky gliové*.

- **neurony:** Neurony jsou hlavní funkční buňky nervové tkáně, které umožňují její dráždivost a vodivost. Až na výjimky nejsou v důsledku silné specializace schopny mitotického dělení a nejsou tedy v průběhu postnatálního života obnovovány. Člověk se tedy rodí s jejich definitivním počtem, který se v průběhu života nezvětšuje. Neuron obsahuje několik základních součástí:
 - **tělo:** Má obvykle hvězdovitý tvar. Obsahuje buněčné jádro a další organely. Z těla odstupují krátké a dlouhé výběžky.
 - **dendrity:** Jsou to krátké větvené výběžky, které odstupují z těla neuronu obvykle ve větším počtu. Dendrity vedou nervové impulzy zvnějšku do těla neuronu.
 - **neurit:** Označuje se i jako *axon*. Je to dlouhý výběžek neuronu (délka od několika desítek μm až do několika m). Na každém neuronu se nachází pouze jeden. Po většině své délky se nevětví, k tomu dochází až na konci. Každá konečná větvička je na konci opatřena rozšířením, zvaným synaptický knoflík. Neurit se pomocí tohoto rozšíření napojuje na tělo či dendrit dalšího neuronu. Toto spojení dvou neuronů se nazývá **synapse** a jeho funkcí je předávat nervový impuls z jednoho neuronu na druhý. Neurity vedou nervové impulzy ven z těla neuronu, a to na další neuron, kterému prostřednictvím synapse předává nervový impuls. Mimo mozek a míchu tvoří neurity (axony) různě silné svazky, zvané nervy. Nerv je tedy svazek (často) velkého množství axonů, které vycházejí z neuronů mozku či míchy a vedou informace z centrální nervové soustavy do periferie těla (ke svalům, orgánům atd.).
- **gliové buňky:** Gliové buňky těsně obklopují neurony a jejich výběžky v centrální i periferní nervové soustavě. Je jich několikanásobně více než samotných neuronů (možná i více než desetinásobně). Nejsou dráždivé ani vodivé ve stejném smyslu, jako neurony, a v nervové tkáni mají především podpůrnou a vyživovací funkci.

4.3 Vývoj tkání

4.3.1 Úvod

Vývoj (diferenciace) tkání z anatomicky a funkčně nerozlišených embryonálních buněk se označuje jako *histogeneze*. Probíhá v nejčasnější fázi (během prvních několika týdnů) ontogeneze, tedy individuálního vývoje jedince. Po oplození, tedy fúzi pohlavních buněk (vajíčka a spermie) se z buňky jediné, tzv. *zygoty* (oplozeného vajíčka), vytvoří mnoha postupnými buněčnými děleními všechny tělesné buňky. Během tohoto procesu se původně stejně či velmi podobně vypadající buňky diferencují (rozlišují) na řadu typů (velikostí, tvarů a funkcí), čímž vznikají jednotlivé tkáně.

4.3.2 Pohlavní buňky

Pohlavní buňky, *gamety*, se tvoří v pohlavních žlázách, procesem zvaným *gametogeneze*. Jsou v mnoha ohledech výrazně odlišné od jiných tělesných buněk. Jedná se o haploidní buňky, jejich jádra proto obsahují pouze jednu sadu chromozomů (u člověka 23). Netvoří klasické tkáně, ale vystupují jako samostatné buňky. Mužské (samčí) a ženské (samičí) gamety se od sebe podstatně liší v řadě aspektů. Mužské gamety, *spermie*, jsou velmi malé, jsou aktivně pohyblivé a tvoří se po dlouhou dobu života v obrovských množstvích. Ženské gamety, *vajíčka*, jsou naopak velké (jedná se o největší lidské buňky vůbec), samostatně nepohyblivé (usedlé) a tvoří se pouze v kratší fázi života a v relativně malých množstvích.

- **spermie:** Je to mužská pohlavní buňka (samčí gameta). Produkuje se v mužských pohlavních žlázách, varlatech, procesem zvaným *spermiogeneze*. Spermie je jedna z nejmenších buněk lidského těla. Svou morfologií, fyziologií a ontogenezí je zcela jedinečná. Základními částmi spermie jsou hlavička, střední oddíl a bičík.
 - *hlavička:* Má tvar zploštělé hrušky směřující užším koncem dopředu. Délka je asi 5 μm , šířka 3 μm a tloušťka 2 μm . Hlavním obsahem hlavičky je haploidní buněčné *jádro* s 23 chromozomy. V přední části hlavičky hned pod membránou se nachází tzv. *akrozom*, plochý prohnutý váček kopírující tvar jádra a obsahující směs enzymů, které se uplatňují během oplození.
 - *střední oddíl:* Následuje za hlavičkou. Obsahuje zejména mitochondrie, které tvoří energii, což je pro aktivně se pohybující spermii velmi důležité.
 - *bičík:* Je to nejdelší a nejtenčí část spermie. Funkčně se jedná o pohybovou organelu, která zajišťuje aktivní pohyb spermie.

Spermie jsou z těla vypuzovány prostřednictvím tzv. **ejakulátu** (spermatu, starší české označení chám). Je to substance polotekutá (gelovitá) konzistence. Při jedné ejakulaci je jeho objem obvykle mezi 2 a 5 ml, nejčastěji 3–4 ml. V 1 ml bývá 20–100 milionů spermií. Za problematický je považován pokles množství spermií pod 20 milionů (někdy se uvádí 15 milionů) na 1 ml a pokles celkového množství spermií v ejakulátu pod 40 milionů. Spermie tvoří pouze několik procent objemu ejakulátu (do 5 %). Zbytek připadá na tzv. *seminalní plazmu*, která je produktem aktivity varlat, nadvarlat, zejména však přídatných pohlavních žláz (semenných váčků, prostaty a Cowperových žláz).

- **vajíčko:** Je to ženská pohlavní buňka (samičí gameta). Tvoří se v ženských pohlavních žlázách, vaječnících, procesem zvaným *oogeneze*. Vajíčko je největší lidská buňka. Má přibližně kulovitý tvar, jeho průměr je asi 110–140 μm . Na povrchu membrány vajíčka se vyskytuje ještě další obal, tzv. *zona pellucida* – vrstva tvořená několika typy bílkovin. Umožňuje navázání spermií a jejich průnik k povrchu buněčné membrány během oplození. Uvnitř vajíčka se nachází haploidní buněčné *jádro* s 23 chromozomy a další organely (vajíčko je jejich jediným „dodavatelem“ do zygoty). Těsně pod membránou se nacházejí tzv. *kortikální granula*, drobné váčky, jejichž obsah po proniknutí první spermie do vajíčka během oplození brání penetraci dalších spermií. Uvnitř vajíčka je dále tzv. *žloutek*, komplex zásobních látek určených pro prvních několik dní vyvíjejícího se embrya (v lidském vajíčku je ho málo, protože je určen pouze do doby, než embryo vstoupí do dělohy a začne se implantovat do její stěny, z níž začne čerpat živiny).

4.3.3 Fertilizace

Fertilizace čili oplození (početí, koncepce) je splynutí (fúze) spermie a vajíčka do buňky jediné, kterou označujeme jako *zygota*. Oplozením dochází ke vzniku jedince odlišného genetického charakteru, než měly obě pohlavní buňky. Zygota jakožto diploidní buňka je první buňkou této geneticky nové generace. U člověka dochází k procesu oplození nejčastěji ve vejcovodu, kde se spermie setkají s vajíčkem. Vajíčko putuje ve vejcovodu směrem k děložní dutině, a to pasivně, pomocí pohybu řasinek ve výstelce vejcovodu. Spermie postupují směrem opačným. Po ejakulaci během kopulace (koitu) se spermie uvolňují do poševní klenby. Odtam putují do děložní dutiny a následně do vejcovodů, a to aktivním pohybem pomocí bičků (rychlostí několika mm za minutu). K vajíčku se spermie dostanou jednak na základě *chemotaxe* (jsou přitahovány chemickými látkami vylučovanými vajíčkem), jednak pomocí *termotaxe* (vnímají teplo putujícího vajíčka). Do vejcovodu spermie doputují během několika desítek minut po ejakulaci.

Spermie prodělávají během svého putování mužským i ženským pohlavním traktem četné chemické změny, bez kterých by nebyly schopné oplození. Během pobytu spermií v ženském pohlavním traktu nastává tzv. **kapacitace**. Během ní dochází k hyperaktivaci spermií, po níž spermie zrychlují pohyb a získávají schopnost efektivně najít, rozpoznat a oplodnit vajíčko. Kapacitace trvá několik hodin. Bez kapacitace jsou spermie nefunkční. Je-li nutné oplodnit vajíčko *in vitro* („ze zkumavky“), kapacitaci je potřeba navodit uměle.

Při ejakulaci se do poševní klenby uvolňují stovky milionů spermií. Děložním hrdlem do děložní dutiny jich však projdou pouze asi 1–2 %. Během průchodu děložní dutinou dochází k další početní redukci, přičemž k vajíčku doputuje jenom několik stovek spermií. Proces fertilizace zahrnuje dvě po sobě jdoucí fáze – syngamii a karyogamii.

- **syngamie:** Je to průnik obsahu spermie do vajíčka. Součástí je tzv. *akrozomální reakce* – obnažení akrozomu na povrchu hlavičky spermie a vylití jeho obsahu (enzymů). Uvolněné enzymy poté rozruší obal vajíčka (*zona pellucida*) a umožní proniknutí spermie k jeho povrchu. Následuje splynutí membrány spermie s membránou vajíčka, čímž dojde k proniknutí obsahu spermie (resp. jejího jádra s genetickým materiálem) do cytoplazmy vajíčka. Proces oplodňování současně zahájí desítky spermií najednou (obal vajíčka je během fertilizace „provrtán“ mnoha pronikajícími spermii). Po vniknutí první nejrychlejší spermie (resp. jejího jádra) nastane tzv. *kortikální reakce* – vylití obsahu kortikálních granúl na vnitřní plochu membrány vajíčka. Tím dojde k chemickému zablokování membrány pro všechny další spermie (proniknutí více spermií do jednoho vajíčka je u lidí neslučitelné s dalším vývojem zygoty).
- **karyogamie:** Jedná se o spojení (fúzi) haploidních jader spermie a vajíčka do jediného diploidního jádra. Dochází k ní uvnitř vajíčka. Následkem tohoto procesu dojde k obnovení diploidního počtu chromozomů. Poté následuje první mitotické dělení zygoty. Toto dělení je už začátkem rýhování, tedy i počátkem prenatalní fáze života nového jedince. Všechny ostatní orgány, které mohly během fúze pohlavních buněk proniknout ze spermie do vajíčka, jsou rozloženy enzymy vajíčka.

4.3.4 Rýhování

Rýhování je označení několika počátečních dělení zygoty a buněk z ní vznikajících. Trvá od prvního do čtvrtého dne po oplození. Během dělení vznikají mezi buňkami rýhy, které vzájemně oddělují dceřiné buňky, což dalo tomuto procesu jeho pojmenování. Rýhující se zygota putuje vejcovodem směrem do děložní dutiny. Po celou dobu je tento rýhující se útvar přibližně stejně velký jako původní zygota (vajíčko). Dceřiné buňky tedy po několika prvních děleních nezvětšují svůj objem, naopak s každým dalším dělením se zmenšují. Rýhování probíhá v následujících krocích:

- Na konci prvního dne po oplození se objeví první rýha, čímž vznikne dvoubuněčné stádium embrya. Obě buňky jsou stejně velké a identické.
- Na konci druhého dne po oplození se objeví druhá rýha a vzniká tak čtyřbuněčné stádium tvořené stále přibližně stejně velkými a identickými buňkami.

- Během třetího dne se objeví třetí rýha kolmá na obě předchozí a vyvine se tak osmibuněčné stádium, kulovitý shluk buněk obklopený *zona pellucida*. Všechny buňky jsou prozatím morfologicky víceméně totožné a do tohoto stádia jsou nediferencované a schopné po eventuálním oddělení samostatného vývoje v nové embryo.

Nediferencovanost prvních buněk embrya může vyústit ve vícečetnou graviditu (multiparitu). Ta nastane v případě, kdy se obě buňky dvoubuněčného stádia od sebe úplně oddělí, popř. se vícebuněčné stádium rozdělí na dva samostatné shluky buněk a každý takový útvar se potom může vyvinout v samostatné embryo. Vznikají tak **jednovaječná** čili *monozygotická* dvojčata. Vznik monozygotických dvojčat (či vícečat) je jediným případem nepohlavního rozmnožování u člověka. Protože jsou takto vzniklí jedinci geneticky identičtí (mají stejnou sestavu pohlavních chromozomů), jsou i stejného pohlaví. Jednovaječná dvojčata tedy vznikají z původního jediného vajíčka, které bylo oplozeno jedinou spermií. Naproti tomu **dvouvaječná** čili *dizygotická* dvojčata vznikají, když se při ovulaci uvolní do vejcovodu současně dvě vajíčka a obě jsou následně oplozena, každé samostatnou spermií. Dvojvaječná dvojčata jsou si sice geneticky velmi blízká (mají stejné rodiče), nikoliv však identická. Mohou být stejného i odlišného pohlaví.

- Na konci třetího dne se dalším rýhováním objevuje šestnáctibuněčné stádium, značované jakoo morula (podle podobnosti s plodem moruše). Všechny buňky v této fázi ještě stále obklopuje *zona pellucida*. Během třetího dne již však není rýhování úplně symetrické a synchronní, některé buňky se dělí rychleji a jiné pomaleji.
- Od čtvrtého dne je morula tvořena kulovitým shlukem již několika desítek buněk. Začíná u nich první buněčná diferenciaci, během které se začnou odlišovat buňky na povrchu (budoucí trofoblast) od buněk umístěných uvnitř (budoucí embryoblast).

4.3.5 Histogeneze

Morula se od čtvrtého dne po oplození mění v **blastocystu**. Je to dutý kulovitý útvar tvořený dvěma skupinami buněk (resp. prvními dvěma diferencovanými tkáněmi).

- Na povrchu blastocysty se nachází tzv. **trofoblast**. Sestává z jedné vrstvy plochých buněk. Vyvíjí se z povrchových buněk moruly. Trofoblast zajišťuje implantaci (uhníždění) embrya do děložní sliznice a v dalším vývoji se mění na placentu a stává se tak výživovacím orgánem embrya a plodu.
- Uvnitř blastocysty se nachází **embryoblast**. Je tvořený malým shlukem buněk soustředěných při stěně blastocysty pod povrchem trofoblastu. Vzniká z vnitřních buněk moruly. Embryoblast se v dalším vývoji mění na tělo samotného embrya a dochází v něm k další velmi výrazné diferenciaci buněk vedoucí ke vzniku základů všech definitivních tkání lidského těla.

Blastocysta vstupuje čtvrtý den po oplození z vejcovodu do dělohy, kde se volně pohybuje asi dva dny. Do této doby se vyživuje ze žloutku, který byl obsažen v původním vajíčku. Zhruba šestý den po oplození se *zona pellucida* vlivem zvětšující se blastocysty rozpustí, blastocysta se tak „vyklube“ („vylíhne“), zvětší se a sedmý den po oplození se začne implantovat (uhnížďovat) do děložní sliznice.

4.3.6 Implantace

Implantace je uhníždění blastocysty do děložní sliznice. Děložní sliznice se na tento akt připravuje už od ovulace. K uhníždění dochází nejčastěji v horní části zadní stěny dělohy. Celý proces implantace je složitý a podílí se na něm několik mechanismů, které rozrušují děložní sliznici a umožňují tak úplné zanoření embrya pod povrch sliznice. Během této fáze je embryo vyživováno sekrety žlázy buněk děložní sliznice. Implantace trvá 2–3 dny, je tedy dokončena do desátého dne po oplození. Po několika dnech se trofoblast napojí na krevní oběh matky a poté se mění v placentu. Při rozrušování děložní sliznice může dojít k porušení drobných cév a k malému krevnímu úniku. Ten tak přichází přibližně v době, kdy žena očekává klasické menstruační krvácení. Tento fakt může tedy zastínit povědomí o počínajícím těhotenství.

5 ZÁKLADY GENETIKY

5.1 Vymezení problematiky

Genetika (od slova *gen* = vloha) je věda studující dědičnost a proměnlivost živých organismů. Dědičnost (heredita) je schopnost dědit geny a tím i znaky a vlastnosti po rodičích. Tento proces je tedy úzce provázaný s rozmnožováním. Protikladným procesem je proměnlivost (variabilita) – odlišnost od předků (rodičů). Genetika je velmi významnou biologickou disciplínou. Jejím zakladatelem byl český přírodovědec **Johann Gregor Mendel** (1822–1884).

Johann Gregor Mendel se narodil roku 1822 v Hynčicích (dnes část obce Vražné v okrese Nový Jičín). Již od mládí se zajímal o přírodopis. Přírodní vědy (fyziku, chemii a biologii), včetně matematiky a statistiky, vystudoval ve Vídni. Studoval však i teologii, byl vysvěcen na kněze a působil v Augustiniánském klášteře na Starém Brně. Během života v klášteře se nadále zabýval biologií, a to konkrétně křížením hrachu a sledováním přenosu různých znaků (velikost, barva květů, tvar a barva plodů, tvar a barva semen) mezi generacemi. Do vyhodnocování výsledků svých výzkumů zapojil statistické postupy, čímž objevil dodnes platné zákonitosti dědičnosti, označované jako Mendelovy zákony. Mendel matematicky odvodil, že každý jedinec má (a přenáší) dědičnou informaci ve dvou kopiích (dnes to označujeme jako diploidie), aniž znal její materiální podstatu, tedy DNA a chromozomy. Roku 1865 přednesl výsledky svých výzkumů na setkání Brněnského přírodovědeckého spolku a publikoval je roku 1866 v práci nazvané *Pokusy s rostlinnými hybridy*. Mendel byl však zaneprázdněn i jinými úkoly a po smrti roku 1884 byly jeho objevy dočasně zapomenuty. Znovuobjevy a rozvinuty byly až na začátku 20. století.

5.2 Geny

5.2.1 Definice genu

Gen (česky vloha, zděděná dispozice) je ústředním pojmem genetiky. Z chemického hlediska jde o úsek vlákna DNA, který obsahuje genetickou (dědičnou) informaci o konkrétním biologickém parametru organismu (např. informaci, jak má organismus či jeho část vypadat nebo fungovat).

Gen si můžeme představit jako recept, jak má určitá věc v těle vypadat či fungovat. Podstatou zápisu genetické informace, tedy genetickým kódem, je konkrétní pořadí 4 druhů nukleotidů ve vláknech DNA. Vlákno DNA tedy funguje jako páska, na které jsou mechanismem tohoto kódování zapsány informace, které složité mechanismy uvnitř našich buněk umějí přečíst a přeložit do nějakého konkrétního jevu, např. na syntézu nějaké bílkoviny, která má potom další funkce.

Soubor všech genů (resp. celé genetické informace) daného jedince se označuje jako **genom**. Lidská jaderná DNA (lidský genom) obsahuje asi 20 tisíc genů, jež jsou nerovnoměrně rozloženy na všech 23 chromozomech. Každý chromozom obsahuje jiný soubor genů (na jednom je např. gen pro barvu očí, na jiném jsou geny určující výšku postavy, na dalším geny pro svalové bílkoviny či geny pro srážení krve atd.). Protože každá buňka obsahuje stejný (úplný) počet chromozomů, je v každé buňce také stejný (úplný) počet genů – např. gen pro barvu očí je obsažen nejen v buňkách oční duhovky, ale i v buňkách kostních, svalových, nervových a ve všech ostatních. V konkrétním typu buňky jsou však aktivovány („zapnuty“) pouze ty geny, které jsou pro její funkci důležité, ostatní geny jsou inhibovány („vypnuty“). Geny pro barvu očí jsou např. aktivní pouze v pigmentových buňkách oční duhovky, které zajišťují barevnost očí. První buňka ve vývoji našeho těla – zygota (oplozené vajíčko) má však aktivní (otevřené) všechny geny.

Buňky, které mají „vypnuto“ mnoho genů, označujeme jako **buňky specializované** či diferencované (vysoce specializované jsou např. nervové buňky nebo světločivné buňky oka). Tyto buňky se obvykle nemohou přeměnit v jiný typ buněk a obvykle se nemohou ani dále dělit, tedy jejich počet v průběhu života nenarůstá. Oproti tomu **buňky nespecializované** mají mnoho genů aktivních a mohou se tak diferencovat ve více specializovaných typů buněk. Nejméně specializovanou buňkou je zygota (oplozené vajíčko), v níž jsou aktivní všechny geny, neboť z této buňky se (jejím mnohonásobným dělením) musejí vyvinout všechny typy tělesných buněk daného jedince. Vysoce nespecializované jsou také tzv. **kmenové buňky**, což jsou buňky vznikající během několika prvních dělení oplozeného vajíčka (jde tedy o buňky embryonální). „Nespecializovanost“ těchto buněk, tedy i jejich schopnosti diferencovat se prakticky na jakoukoliv tělesnou buňku, se využívá v léčbě (prozatím většinou experimentální) řady degenerativních onemocnění.

5.2.2 Formy genů

Každý gen může mít jednu nebo více forem, které se označují jako **alely**. Protože chromozomy jsou v běžných tělesných buňkách párové, je každý gen přítomen v buněčném jádře ve dvou kopiích. V (diploidních) buňkách máme tedy vždy dvě alely od každého genu, které mohou být stejné, ale i rozdílné. Která z obou alel se v případě jejich rozdílnosti projeví, jestli ta od matky nebo ta od otce, závisí na jejich průraznosti. Podle toho dělíme alely na dominantní a recesivní.

- **dominantní alely:** Mají velkou průraznost. Stačí tedy, když je dominantní alela přítomna jen na jednom chromozomu daného páru a projeví se navenek.
- **recesivní alely:** Mají malou průraznost. Aby se recesivní alela projevila navenek (ve fenotypu), musí být současně přítomna na obou chromozomech daného páru.

Příklad

Gen pro krevní skupiny systému AB0 má tři formy (alely):

- alelu pro skupinu 0 (recesivní)
- alelu pro skupinu A (dominantní)
- alelu pro skupinu B (dominantní)

Má-li jedinec na obou chromozomech alelu A, bude krevní skupiny A. Má-li jedinec na obou chromozomech alelu B, bude mít krevní skupinu B. Má-li jedinec na obou chromozomech alelu 0, bude mít krevní skupinu 0. Má-li však jedinec na jednom chromozomu alelu A a na druhém 0, bude mít krevní skupinu A, protože alela A je dominantní nad alelou 0. Má-li jedinec na jednom chromozomu alelu B a na druhém 0, bude mít krevní skupinu B, protože alela B je dominantní nad alelou 0. Má-li jedinec na jednom chromozomu alelu A a na druhém B, bude mít krevní skupinu AB, protože obě alely (A a B) jsou vůči sobě ve své dominanci rovnocenné a projeví se tedy stejným dílem.

Sestava konkrétních alel pro daný znak se označuje jako **genotyp**. Např. u krevních skupin genotyp AA znamená, že organismus má na obou z daného páru chromozomů alelu A, zatímco genotyp A0 znamená, organismus má na jednom z daného páru chromozomů alelu A a na druhém alelu 0. Oba tyto genotypy však způsobují u svého nositele krevní skupinu A.

5.3 Znaky

5.3.1 Definice znaku

Znak (jinak také vlastnost) je vnější projev (exprese) daného genu. Např. geny určující výšku postavy se navenek projeví skutečnou (reálnou) výškou postavy daného jedince, výška postavy je tedy vnějším projevem genů pro výšku postavy. Soubor znaků organismu se označuje jako **fenotyp**. Fenotyp tedy můžeme chápat jako soubor znaků či vlastností živého organismu, které jsou přímým odrazem jeho genotypu (konkrétních genů), tedy toho, co jedinec zdědil po svých předcích. Ve skutečnosti tedy nedědíme znaky nebo vlastnosti, ale geny, které tyto znaky či vlastnosti podmiňují.

5.3.2 Monogenní znaky

Monogenní znak je znak kódovaný pouze jediným genem. Ve fenotypu (navenek) se projeví vždy naplno nebo vůbec (neexistují přechodné formy znaku), bez jakéhokoli vlivu vnějším prostředím, ve kterém organismus žije. Pro monogenní znaky tedy platí:

fenotyp = genotyp

Monogenní znak je znak kvalitativní (není vyjádřitelný číselnou hodnotou, pouze slovním popisem). Patří sem např. gen pro krevní skupiny – tento znak je kódován (řízen) vždy pouze jediným genem (existují konkrétní krevní skupiny, nikdy není jedinec např. „trochu A“ nebo „trochu B“).

5.3.3 Polygenní znaky

Polygenní znak je výsledkem vzájemného působení většího počtu genů (uložených na jednom nebo i na více různých chromozomech), z nichž každý přispívá do fenotypového projevu částečným dílem. Účinky všech genů podílejících se na konkrétním polygenním znaku sčítají. Polygenní znak je navíc obvykle různou měrou ovlivněn i faktory vnějšího prostředí. Pro polygenní znaky tedy platí:

fenotyp = genotyp + vliv vnějšího prostředí

Polygenní znak je znak kvantitativní (lze ho vyjádřit konkrétní číselnou hodnotou). Typickým příkladem je výška postavy, která je řízena větším počtem genů, z nichž každý přidává na výšce postavy jedince určitou hodnotou, přičemž konečná výška jedince je ovlivněna i charakterem prostředí, ve kterém jedinec žije a které vnější projev genů přímo ovlivňuje.

Příklad

Princip polygenních znaků si můžeme vysvětlit na typickém příkladu, a to na dědičnosti výšky postavy. Geny řídící tento znak, které zdědíme od svých rodičů (z jejich pohlavních buněk), určují, jaké maximální výšky (biologického maxima) může jedinec dosáhnout. Tohoto biologického maxima však dosáhne pouze za optimálních životních podmínek během jeho růstu, v opačném případě je finální výška jeho postavy menší. Např. když během růstu působí stresové faktory, jako nedostatečná nebo nekvalitní výživa, časté infekce, zranění atd. (tedy faktory zpomalující růst), tak byt máme našimi geny zděděnou výšku 184 cm, bude naše finální výška v dospělosti třeba pouze 178 cm. Každý z nás si určitě dovede představit, že jedna a tatáž rostlina dosahuje vyššího vzrůstu, pokud roste v příznivých podmínkách, a naopak nižšího vzrůstu, pokud roste v podmínkách horších (geny má však pořád stejné). Naproti tomu např. krevní skupinu jakožto monogenní znak budeme mít vždy stejnou, ať žijeme v jakýchkoliv podmínkách vnějšího prostředí.

5.3.4 Distribuce znaků v populaci

Zastoupení monogenních znaků v populaci můžeme vyjádřit např. v procentech. Lze například říct, že v dané populaci žije 44 % jedinců s krevní skupinou A a 37 % jedinců s krevní skupinou O. Nexistují přechodné hodnoty, jde tedy o nespojité znaky. U polygenních znaků je situace složitější, neboť jde o znaky kvantitativní a jedna hodnota plynule (spojitě) přechází ve druhou, bez ostrých hranic mezi jednotlivými hodnotami znaku. Např. výška postavy může mít hodnotu 165 cm a 166 cm a také všechny hodnoty (nekonečno hodnot) mezi těmito čísly (165,1 cm, 165,2 cm, 165,24 cm, 165,254 cm, 165,24875424 cm atd.). Pro znázornění hodnot polygenního znaku v populaci se používají grafy, kde osa x vyjadřuje hodnoty znaku (např. výšku postavy v cm) a osa y zastoupení znaku v procentech (např. jaké % jedinců má konkrétní naměřenou hodnotu výšky postavy). Obvykle má výsledná křivka (symetrický) tvar zvonu – jde o tzv. Gaussovu křivku. Jedinců s průměrně vyvinutým znakem (např. s průměrnou výškou postavy pro danou populaci) je tedy nejvíce (vrchol „zvonu“) a čím více se vzdalujeme hodnotami od průměru (na obě strany), tím počet jedinců ubývá. V souvislosti s tím je třeba objasnit i pojem percentil – Jde o číslo, které říká, kolik (jaké procento) jedinců bude mít v populaci nižší hodnotu daného znaku. Např. nachází-li se jedinec svou výškou na 80. percentilu Gaussovy křivky vyjadřující rozložení hodnot výšky postavy v dané populaci, znamená to, že 80 % jeho vrstevníků bude nižších a 20 % vyšších. Nejpoužívanějšími percentily jsou:

- **50. percentil:** Jeho hodnota značí, že v dané populaci bude mít 50 % jedinců nižší a 50 % jedinců vyšší hodnotu daného znaku. Jde tedy současně o průměr i medián.
- **25. percentil:** Jeho hodnota značí, že v dané populaci bude mít 25 % jedinců nižší a 75 % jedinců vyšší hodnotu daného znaku. Jde tedy o podprůměrnou hodnotu pro populaci.
- **75. percentil:** Jeho hodnota značí, že v dané populaci bude mít 75 % jedinců nižší a 25 % jedinců vyšší hodnotu daného znaku. Jde tedy o nadprůměrnou hodnotu pro populaci.

- **10. percentil:** Jeho hodnota značí, že v dané populaci bude mít 10 % jedinců nižší a 90 % jedinců vyšší hodnotu daného znaku. Jde o velmi podprůměrnou hodnotu pro populaci.
- **90. percentil:** Jeho hodnota značí, že v dané populaci bude mít 90 % jedinců nižší a 10 % jedinců vyšší hodnotu daného znaku. Jde o velmi nadprůměrnou hodnotu pro populaci.
- **3. percentil:** Jeho hodnota značí, že v dané populaci bude mít 3 % jedinců nižší a 97 % jedinců vyšší hodnotu daného znaku. Jde o extrémně podprůměrnou hodnotu pro populaci.
- **97. percentil:** Jeho hodnota značí, že v dané populaci bude mít 97 % jedinců nižší a 3 % jedinců vyšší hodnotu daného znaku. Jde o extrémně nadprůměrnou hodnotu pro populaci.

Příklad

Průměrná výška postavy mužů dané populace je 184 cm, hodnota na 25. percentilu je 178 cm, hodnota na 75. percentilu je 190 cm, hodnota na 10. percentilu je 170 cm, hodnota na 90. percentilu je 198 cm, hodnota na 3. percentilu je 160 cm a hodnota na 97. percentilu je 208 cm. Znamená to, že nejvíce mužů v dané populaci bude dosahovat výšky kolem 184 cm, což je průměrná výška. Výška 50 % mužů (tedy rozmezí mezi 25. a 75. percentilem) bude obsažena v intervalu 178–190 cm. Výška 90 % mužů (tedy rozmezí mezi 10. a 90. percentilem) bude obsažena v intervalu 170–198 cm. Výška 94 % mužů (tedy rozmezí mezi 3. a 97. percentilem) bude obsažena v intervalu 160–208 cm. Můžeme si také všimnout, že tím, že Gaussova křivka je symetrická, je vzdálenost hodnot výšky postavy od průměru u percentilů stejně vzdálených na obě strany od průměru stejné, tzn. na 25. percentilu je to -6 cm od průměru, na 75. percentilu +6 cm od průměru.

Polygenními znaky s podobnou distribucí v populaci jakom výška těla jsou i jiné měřitelné charakteristiky těla, např. rozměry jednotlivých částí těla nebo hmotnost. Např. v případě objemu tukových zásob je dobře patrný vztah mezi genotypem (tedy zděděnými dispozicemi) a vlivem prostředí (tělesnou aktivitou, příjmem potravy). Platí to ale i o jiných než fyzických parametrech těla – stejně tak jsou dědičné i psychické vlastnosti, jako je IQ či temperament. I zde hraje jistou roli dědičnost, ta je však výrazně ovlivňována prostředím, ve kterém jedinec žije a které jeho zděděné dispozice modifikuje. Prostředím je v tomto případě myšleno především sociální prostředí a prostředí výchovy. Inteligenci populace můžeme podobně jako výšku postavy znázornit Gaussovou křivkou – tedy průměrně inteligentních (s IQ 100) bude v populaci nejvíce a čím více se budeme vzdalovat od průměru (na obě strany), tím bude nositelů nižší a vyšší inteligence ubývat.

6 ZÁKLADY VÝVOJOVÉ BIOLOGIE

6.1 Vymezení problematiky

Vývojová biologie se zabývá individuálním vývojem jedince od jeho vzniku až po jeho zánik, tedy tzv. **ontogenezi**. Ontogeneze člověka tedy začíná fertilizací – oplozením (splynutím vajíčka a spermií za vzniku zygoty). Následuje vývoj, který se dělí na *období prenatalní* (před narozením) a *období postnatalní* (po narození). Někdy se však za první fázi individuálního vývoje považuje už tzv. *progeneze* (gametogeneze) – tvorba pohlavních buněk (spermií a vajíček) v těle rodičů. Teprve však splynutím pohlavních buněk během oplození vzniká nové lidské individuum i z hlediska genetického. Ontogeneze je provázána dvěma souběžně probíhajícími procesy:

- *růst* – kvantitativní proces (zvětšování velikosti těla)
- *vývoj* – kvalitativní proces (diferenciace buněk na jednotlivé typy, dozrávání mozku atd.)

6.2 Prenatální vývoj

6.2.1 Úvod

Prenatální fáze vývoje se odehrává uvnitř těla matky v děloze (proto tento vývoj nazýváme také jako intrauterinní – latinsky *uterus* = děloha). Tento stav se na straně matky nazývá těhotenství čili *gravida*. Prenatální vývoj začíná početím (konceptí, oplozením, splynutím vajíčka a spermií) a končí narozením (porodem). Skutečná biologická délka prenatálního vývoje člověka je v průměru 267 dní, vyjadřuje se však nejčastěji v lunárních měsících (1 lunární měsíc = 4 týdny), jde tedy o 9,5 lunárního měsíce (38 týdnů). Často se vývoj těhotenství sleduje v tzv. trimestrech – ve třech obdobích po třech kalendářních měsících. Prenatální období se z hlediska embryologického dělí na dvě základní fáze – embryonální a fetální.

Stanovení termínu porodu

Stanovení termínu porodu můžeme odvíjet od dvou časových okamžiků. Jedním z nich je den, kdy došlo k oplození. K němu se přičte 267 dní a výsledkem je nejpravděpodobnější termín porodu. Jedná se v tomto případě o tzv. **ovulační** (fertilizační) stáří. Počátek výpočtu délky těhotenství se však v naprosté většině případů neodvíjí od data oplození, neboť tato událost se navenek výrazně neprojevuje a žena ji obvykle není schopna přesně stanovit. Významnějším odrazovým bodem pro určení termínu porodu je proto datum **prvního dne poslední menstruace** ženy před započatím těhotenství. Tímto dnem začíná u ženy nový ovariální cyklus a nejpravděpodobnějším termínem početí je doba kolem ovulace (nejčastěji na konci druhého týdne cyklu). Porod přijde nejčastěji po 40 týdnech (280 dnech, 10 lunárních měsících) od prvního dne poslední menstruace. Jedná se v tomto případě o tzv. **gestační** (menstruační) stáří. Laicky zjednodušenou metodou stanovení termínu porodu je postup, kdy k prvnímu dni poslední menstruace před započatím těhotenství se připočte 1 týden, odečtou 3 měsíce a připočte 1 rok. Tento postup se modifikuje podle skutečné délky cyklů u konkrétní ženy – z výsledku se přičte nebo odečte počet dní, o které je cyklus dané ženy delší nebo kratší oproti běžnému cyklu trvajícím 28 dní. Pokud porod proběhne dříve než ve 38. týdnu těhotenství, jedná se o porod předčasný (plod je nedonošený). Pokud proběhne až po 42. týdnů, jedná se o porod opožděný (plod je přenošený).

6.2.2 Embryonální období

Jedná se o označení prvních dvou lunárních měsíců (8 týdnů) prenatálního vývoje jedince od okamžiku početí. Lidský jedinec se v tomto období označuje jako **zárodek** (embryo). Počátkem této fáze je oplození (vznik zygoty), na konci tohoto období již jedinec nabírá typický lidský tvar. Základním znakem embryonální fáze prenatálního vývoje je velmi bouřlivé mitotické dělení (začíná jako rýhování) a diferenciace buněk v jednotlivé typy tkání (tzv. histogeneze). Postupně vznikají základy orgánů a orgánových soustav. Vznikající organizmus je v prvních dvou měsících vývoje velmi citlivý na působení poškozujících faktorů (tzv. teratogenů – chemické látky, záření, infekce atd.) – v čím ranější fázi dojde k nějakému poškození, tím rozsáhlejší část těla bude poruchou zasažena (poškozena).

6.2.3 Fetální období

Od počátku třetího lunárního měsíce prenatalního vývoje (tedy od 9. týdne) se vývojová fáze lidského jedince označuje jako plod (fetus). Fetální období končí porodem. Dělí se dále na 2 fáze, a to časnou a pozdní.

- **časná fáze:** Je to doba trvající od 9. do 26. týdne prenatalního vývoje. Už neprobíhá v takové intenzitě diferenciaci buněk v jednotlivé typy tkání (ty byly vytvořeny již v embryonální fázi vývoje), ale pokračuje vývoj jednotlivých orgánů a orgánových soustav. Plod není v tomto období ještě mimo děložní prostředí samostatně životaschopný. Tělo plodu také intenzivně roste. Na začátku tohoto období je tzv. temenokostrční délka embrya (vzdálenost od temene ke kostrči – dolní končetiny jsou ještě málo vyvinuté, proto se nezapočítávají) asi 1,6 cm a plod váží asi 5 g. Na konci 26. týdne vývoje je plod dlouhý asi 35 cm a váží kolem 1000 g.
- **pozdní fáze:** Je to doba trvající od 26. týdne prenatalního vývoje do narození. V této fázi jsou orgány a orgánové soustavy již víceméně vytvořeny a jsou potenciálně samostatně funkční, takže předčasně narozené dítě je za určitých podmínek intenzivní postnatální péče schopno přežít s vyšší pravděpodobností. V této době je hlavním procesem růst plodu do porodní délky, která se pohybuje kolem 50 cm, a porodní hmotnosti, jež je asi 3500 g.

6.3 Postnatální vývoj

6.3.1 Úvod

Postnatální vývoj jedince začíná porodem (resp. narozením) a končí smrtí. Délka postnatálního vývoje člověka je velmi variabilní a hodnotí se zejména populačními demografickými ukazateli (jako je např. naděje dožití). Existuje několik možností, jak periodizovat postnatální vývoj (v jednotlivých odborných zdrojích se více či méně liší). Důležitým momentem periodizace je zejména stanovení hranice mezi nedospělým a dospělým věkem. Ta se definuje spíše právně než biologicky a představuje ji dokončený 18. rok života.

6.3.2 Dětství

Je to nejmladší etapa postnatálního života od narození do počátku pohlavního dozrávání (přibližně 11 let). Jedná se především o dobu intenzivního růstu, jehož rychlost je však v různých fázích dětství odlišná, a také o důležitou fázi motorického a psychického vývoje. Dětství se dělí na několik dílčích fází, přičemž jako klasifikační kritérium se využívají jednak biologické změny a procesy (především vývoj zubů), jednak procesy sociální (návštěva školy), avšak důležitou roli hraje i demografická statistika, která definuje některé vývojové fáze nejpřesněji s ohledem na matematické potřeby demografie. Biologický vývoj se může od statisticky definovaných fází více či méně lišit. Obvykle se dětství dělí na *časné* (do konce 3. roku života, zahrnuje období novorozenecké, kojenecké a batolecí), *střední* (od 4. do 6. roku života, zahrnuje období předškolního věku) a *pozdní* (od 7. roku života do počátku pohlavního dozrávání, zahrnuje období mladšího školního věku). Jiná klasifikace dělí dětství na tzv. *první dětství* (do 7 let) a tzv. *druhé dětství* (do 15 let).

- **novorozenec:** Je to označení prvních 28 dní (4 týdnů) života jedince (někdy se délka vymezuje dobou tzv. šestinedělí, tedy prvními 6 týdny života). V době novorozenecké dochází k zahojení puperní jizvy. Dítě něhem ní mírně (a přechodně) poklesne na hmotnosti těla.
- **kojenec:** Je to označení doby od druhého měsíce života jedince do konce prvního roku života. Dítě je v této době vyživováno především mateřským mlékem (kojeno), i když tento způsob výživy může být někdy kratší, jindy však i mnohem delší (i několik let). Pro demografickou statistiku je však definice kojence založena na věku do ukončení prvního roku života. Kojenecké období je dobou nejintenzivnějšího postnatálního růstu výšky i hmotnosti těla.

- **batole:** Je to označení 2. a 3. roku života jedince. Někdy se rozmezí batolecího věku definuje biologicky jako období prořezávání mléčné dentice – začíná asi v 6. – 7. měsíci prořezáním druhého spodního řezáku a končí asi ve 30 měsících (2 a půl letech) života prořezáním druhé stoličky. Dochází k mírnému zpomalení růstu výšky a hmotnosti.
- **předškolní věk:** Je to období vymezené 4., 5. a 6. rokem života jedince. Z biologického hlediska končí toto období počátkem prořezávání trvalé dentice, což nastává nejčastěji ve věku 6 let (jako první se prořezává buď první řezák, nebo první stolička). Dochází k dalšímu mírnému zpomalení růstu výšky a hmotnosti.
- **mladší školní věk:** Je to období od 7. do 11. roku (reps. 6–10 let) života jedince (tzv. *prepubescence*). Z biologického hlediska je tato fáze vymezena prořezáváním trvalé dentice – jako poslední se (mimo velmi variabilní třetí stoličku) prořezává druhá stolička, a to ve věku 11–12 let. Toto období je nazýváno zlatým věkem motoriky – co se člověk z pohybového hlediska naučí v tomto věku, naučí se nejlépe. Růst tělesné výšky a hmotnosti je v této fázi relativně pomalý, na konci tohoto období se však jeho rychlost začíná mírně zvyšovat.

6.3.3 Dospívání

Jedná se o komplikovanou etapu vývoje, která je přechodným obdobím mezi dětstvím a dospělostí. Je to doba velmi rychlého růstu těla a formování motoriky i psychiky (osobnosti). Období dospívání můžeme rozdělit na dvě fáze, starší školní věk a dorostenecký věk.

- **starší školní věk:** Je to období od 11 do 15 let života jedince. V této fázi nastává velmi důležitá fáze života – pohlavní dozrávání. Komplex fyzických změn související s tímto fenoménem se označuje jako puberta (pubescence). Jejím účelem je přeměna dětského těla v tělo dospělého jedince, zejména však získání schopnosti rozmnožování. Věkové vymezení puberty je variabilní – je ovlivněno jak faktory endogenními (dědičnost), tak faktory exogenními (prostředí). Hlavním fyzickým znakem puberty je dozrávání pohlavních orgánů a rozvoj sekundárních pohlavních znaků (mužské a ženské pohlaví se odliší nejen na genitální, ale i na somatické úrovni). Růst výšky a hmotnosti těla dosahuje vrcholu rychlosti. Z hlediska motoriky dochází k přechodnému poklesu pohybových schopností. Fyzický vývoj těla je také nerovnoměrný (jednotlivé složky pohybového aparátu rostou různou rychlostí), což vede ke zhoršení koordinace a ekonomičnosti pohybů. Pubertální změny jsou řízeny pohlavními hormony, které jsou produkovány pohlavními žlázami (gonádami). Počátek sekrece pohlavních hormonů pohlavními žlázami se označuje jako gonadarché. Už asi 1 rok před vlastní pubertou však lze sledovat počátky některých změn (tzv. prepuberta, např. počátky růstu pubického ochlupení či prsů). Tyto změny jsou řízeny pohlavními hormony z kůry nadledvin (adrenarché), z níž jsou produkovány dříve než z pohlavních žláz. V časovém průběhu biologické puberty existují významné pohlavní rozdíly v délce asi 2 let:
 - **dívky:** Prepuberta začíná nejčastěji v 9 letech, vlastní puberta v 10 letech a končí většinou ve 12 až 13 letech. Ukončení pubertálních změn (pohlavního dozrávání) se projeví první menstruací, tzv. menarché (věkový průměr v dnešní populaci ČR je asi 12,5 roku). V prvních dvou letech po první menstruaci je však většina menstruačních cyklů nepravidelných a anovulačních, obvykle tedy u nich nedochází k ovulaci, nicméně není to pravidlo.
 - **chlapci:** Prepuberta začíná nejčastěji v 11 letech, vlastní puberta ve 12 letech a končí většinou ve 14 až 15 letech. Určení ukončení pubertálních změn u chlapců je složitější než u dívek, protože pro ni neexistuje jednoznačný fyzický jev srovnatelný s menarché, jako hranice se však uvádí věk první poluce, tzv. spermarché. Ta je však oproti menstruaci nepřesným kritériem.
- **dorostenecký věk (adolescence):** Je to věk od 15 do 18 (popř. 20) let života jedince. Dochází ke zpomalení a následně k ukončení tělesného růstu (u žen nejčastěji v 16–17 letech, u mužů nejčastěji v 18–19 letech), k maximálnímu rozvoji motorického vývoje (tzv. druhý vrchol motoriky) a rovněž k rozvoji psychickému. Člověk se stává plně fyzicky (a téměř i psychicky) dospělým.

6.3.4 Dospělost

Jako dospělost označujeme věk od 18/20 do 60 let, tedy 3. až 6. decénium života jedince. V této době již tělo neroste, dochází však k dalšímu psychickému dozrávání (k vývoji mozku) a v mladších fázích této etapy i k dalšímu motorickému rozvoji. Člověk dosahuje vrcholu fyzických a psychických sil. Období dospělosti se klasifikuje do dalších dílčích fází:

- **mladší (plná) dospělost:** Je to věk 18/20–30 let života. Označuje se také jako kategorie *adultus*. Jde o dobu maximálního rozvoje motorických schopností, člověk je na vrcholu fyzických sil.
- **střední dospělost (zralost):** Je to věk 30–45 let života. Označuje se také jako kategorie *maturus I*. V tomto věku mírně ubývají fyzické (motorické) schopnosti, člověk se ale dostává na vrchol psychického a osobnostního rozvoje (např. vrchol vědeckých a uměleckých aktivit).
- **starší dospělost:** Je to věk 45–60 let života. Označuje se rovněž jako *maturus II* nebo *střední věk*. V tomto věku dochází k dalšímu poklesu motorických schopností, částečně však i k omezení dalšího rozvoje psychických aktivit.

6.3.5 Stáří

Jedná se o věk nad 60 let, tedy od 7. decénia života jedince, končí smrtí jedince. V této době dochází především k involučním (regresním, „zánikovým“) změnám, a to jak biologickým (motorickým a fyziologickým, např. pokles pohybové aktivity, nervové činnosti, smyslového vnímání atd.), tak psychickým. Období dospělosti se klasifikuje do dalších dílčích fází:

- **počáteční stáří:** 60–75 let. Označuje se také jako kategorie *presenilis*.
- **pokročilé stáří:** 75–90 let. Označuje se také jako kategorie *senilis*.
- **vysoké stáří:** nad 90 let. Označuje se také jako *kmetský věk*.

7 ZÁKLADY RŮSTOVÉ BIOLOGIE

7.1 Vymezení problematiky

Růst je nedílnou součástí ontogeneze. Jak již bylo uvedeno, jedná se o kvantitativní proces, který zajišťuje zvětšování těla. Je tedy vyjádřitelný měrnými jednotkami (např. cm či kg). Zvětšování velikosti těla probíhá několika mechanismy, které se sčítají:

- zvětšováním objemu mezibuněčné hmoty
- zvětšováním objemu buněk (tzv. hypertrofie)
- zvětšováním počtu buněk jejich dělením (tzv. hyperplazie či proliferace)

Nejnámější a na první pohled nejlépe viditelný je růst těla do výšky, tzv. prolungační růst. Dále popisujeme růst hmotnostní, růst cefalický (růst hlavy), růst končetin, růst genitální atd. Růstové procesy probíhají v období dětství a dospívání, kdy můžeme sledovat určité zákonitosti. Je to např. periodicita (střídání rychlejších a pomalejších fází růstu) a alternace (střídání v rychlosti růstu mezi jednotlivými orgány či částmi těla – např. v dětském věku roste rychle hlava, během dospívání rostou rychleji pohlavní orgány). Lékařský obor, který se zabývá růstem těla, se označuje jako auxologie.

7.2 Tělesná výška

7.2.1 Úvod

Tělesná výška je definována jako nejkratší (kolmá) vzdálenost od nejvýše ležícího bodu na hlavě (tzv. *vertex*, leží na švu mezi pravou a levou temenní kostí) a rovinou, na níž při měření stojíme. Měří se pomocí různých typů výškoměrů, a to s přesností 1 cm. Tělesná výška je nejčastěji měřenou veličinou lidského těla, neboť měření je technicky velmi jednoduchá záležitost a výsledky jsou snadno hodnotitelné a mají velkou vypovídací hodnotu i pro laika.

7.2.2 Dědičnost a proměnlivost tělesné výšky

Tělesná výška vykazuje pohlavní dimorfismus, interpopulační variabilitu a intrapopulační variabilitu. *Pohlavní dimorfismus* je zřetelný ve všech lidských populacích, muži jsou v průměru asi o 8 % (resp. 5–15 %) vyšší než ženy. *Interpopulační variabilita* je představována rozdíly ve výšce těla mezi různými populacemi (od nízkorostlých až po vysokorostlé), které jsou vysvětlitelné přirozenými (ekologickými) i socioekonomickými faktory (životní úrovní). *Intrapopulační variabilita* je představována rozdíly ve výšce těla jednotlivých individuí v jedné populaci, které odrážejí vliv různých vnějších faktorů, ale i zděděné geny. Z genetického hlediska je tělesná výška (a další velikostní parametry lidského těla) typickým příkladem polygenního znaku, tedy takového, na jehož projevu se podílí jak složka endogenní (tedy dědičnost), tak složka exogenní (tedy vliv prostředí na růst a vývoj).

- **endogenní složka:** Jde o dědičnou složku, tedy o geny řídící výšku postavy. Těch bylo popsáno již několik stovek. Odhaduje se, že tato složka se na tělesné výšce podílí více než z 90 procent. Vysoký podíl dědičné složky na celkové výšce umožňuje do určité míry predikovat tělesnou výšku jedince v dospělosti na základě známé tělesné výšky jeho rodičů. Postupuje se např. podle vzorce:

- *pro muže:* $\text{výška} = (\text{výška otce} + \text{výška matky} + 13) / 2$

- *pro ženy:* $\text{výška} = (\text{výška otce} - 13 + \text{výška matky}) / 2$

Číslo 13 značí rozdíl mezi průměrnou výškou mužů a žen. Výsledek tohoto výpočtu, tzv. dědičný růstový potenciál, je však pouze orientační hodnotou, neboť na finální výšce postavy se podílejí i vnější vlivy (*viz níže*). Ze statistických pozorování vyplývá, že s pravděpodobností 95 % bude daný jedinec spadat svou tělesnou výškou do rozmezí $\pm 8,5$ cm od vypočítané hodnoty.

- **exogenní složka:** Jde o vliv prostředí. Významnou roli má především stav výživy (dostatek kvalitních živin v potravě, hlavně bílkovin), dále různé choroby během dětství (především infekční, které omezují růst v dětství přesunem energie do fungování imunity) a intenzita fyzické aktivity (nadměrná zátěž může vést k nižší finální výšce z důvodů svého vlivu na růstové zóny kostí). V dnešní době jsou v naší populaci podmínky pro tělesný růst obecně velmi dobré. To je důvod, proč dnes lidé dosahují v průměru o 11–13 cm vyšší postavy než lidé před 100 lety (*viz níže*) – geny jsou stále stejné, ale přísun kvalitních bílkovin je daleko lepší než v minulosti, očkování a antibiotika zajišťují eliminaci působení nebezpečných infekčních chorob (tělo nemusí tolik bojovat s infekcemi a může vkládat více energie do růstu) a rovněž fyzická zátěž na růstové zóny našich kostí je menší. Kvalita vnějšího prostředí nám tedy umožňuje téměř dosáhnout geneticky dané výšky postavy.

Někteří badatelé používají v koncepcích charakteristik tělesného růstu tzv. premisu kanalizace růstu. Od okamžiku vzniku jedince splynutím spermie a vajíčka a spojením jejich genů je dána geneticky naprogramovaná cesta („kanál“, trajektorie), kterou se růstový vývoj jedince ubírá, pokud jsou podmínky prostředí ideální. Dojde-li ke zhoršení podmínek prostředí, může růst jedince vybočit z tohoto naprogramovaného kanálu. Růst má však tendenci vracet se k naprogramované cestě (označuje se to jako homeorheze), tedy dojde-li vlivem nějakého stresového faktoru ke zpomalení růstu, po odeznění tohoto faktoru se růst vrací do svého původního růstového kanálu, a to na místo, kde by byl, kdyby nedošlo k růstovému výkyvu. Jinými slovy – vývojově zpomalené dítě po odeznění stresových faktorů „dožene“ zrychleným růstem své vrstevníky. Nemusí to však platit vždy, záleží na konkrétních negativních faktorech a délce jejich působení.

7.2.3 Individuální vývoj tělesné výšky

Pro účel popisu růstového vývoje se využívá několik typů grafů (růstových křivek). Nejprůhlednější je tzv. ICP-křivka (Karlbergův model), kde na ose x je zaznamenán kalendářní čas (v letech) a na ose y výška těla (v cm). Křivka má 3 úseky (komponenty), které se liší svým průběhem (strmostí, rychlostí růstu) a odpovídají třem základním etapám dětského růstu – infantilní, dětské a pubertální.

- **fáze I:** Jedná se o tzv. infantilní období tělesného růstu (zkratka „I“ je z anglického výrazu *infancy*). Tento úsek představuje prolungační růst v průběhu přibližně prvního roku života. Křivka vyjadřující průběh růstu v této fázi je strmá, dochází tedy k velmi rychlému růstu výšky (resp. délky) těla. K nejrychlejšímu růstu dochází především v prvních 6 měsících života, kdy postnatální růst přímo navazuje na velmi rychlý růst z prenatální fáze vývoje. Na začátku této fáze (v době narození) je dítě vysoké (resp. dlouhé) nejčastěji kolem 50 cm, na konci prvního roku života dosahuje tělesná výška dítěte asi 75 cm (tedy asi o 50 % více oproti porodní délce). Růst v tomto období je ovlivněn především výživou.
- **fáze C:** Jedná se o tzv. dětské období růstu (zkratka „C“ je z anglického výrazu *childhood*). Tento úsek vyjadřuje prolungační růst přibližně od počátku druhého roku života do počátku puberty (tedy do věku 10 až 12 let, podle pohlaví a individuálních specifik). Křivka vyjadřující průběh výškového růstu je pozvolnější, růst se tedy zpomaluje (zpomalování intenzity růstu během dětství je mezi savci unikátní jev, který je v takové míře specifický pouze pro člověka). Během druhého roku života vyroste dítě asi o 11–12 cm, během třetího roku asi o 9 cm, ve 4. až 7. roce asi 6–7 cm za rok a v dalších letech roste asi 5–6 cm za rok, a to až do počátku puberty. Růst je v tomto období řízen růstovým (somatotropním) hormonem produkovaným hypofýzou. Pro odhad výšky dítěte v tomto období se někdy používá následující vzorec: $\text{výška} = (6 \times \text{věk}) + 80$
- **fáze P:** Jedná se o tzv. pubertální období růstu (zkratka „P“ je z anglického výrazu *puberty*). Tento úsek vyjadřuje prolungační růst od počátku puberty (průměrně od 10 let u dívek a od 12 let u chlapců) do ukončení růstu (16 let u žen, 18 let u mužů). Pubertální růst tedy věkově překračuje období biologické puberty (růst mírně pokračuje ještě 2–3 roky po jejím ukončení). Křivka vyjadřující průběh výškového růstu je opět strmá, tzn. růst je v této době rychlý a označuje se jako *pubertální růstový spurt* (či růstová akcelerace). Růst v tomto období řídí růstový hormon z hypofýzy a pohlavní hormony produkované pohlavními žlázami. Mírné zrychlení růstu však nastává už přibližně 1 až 2 roky před počátkem puberty, tedy na konci dětské fáze růstu (jde o tzv. *prepubertální růst*). Toto mírné zrychlení je řízeno zvýšenou sekrecí pohlavních hormonů z kůry nadledvin. Průběh a intenzita pubertálního růstu se liší podle pohlaví:

- *dívky*: Prepubertální zrychlení začíná již v 9 letech. Rychlý pubertální růst začíná nejčastěji v 10 letech. V dalších 3–4 letech dívky vyrostou ročně asi o 6–7 cm (někdy i více). Nejvyšší rychlosti růstu je dosaženo nejčastěji v 11 letech (12. rok života), potom rychlost růstu klesá. Růst je u dívek (žen) ukončen nejčastěji v 16 letech. Průměrná výška dospělé ženy nejmladší generace v populaci ČR se (podle různých výzkumů) pohybuje v rozmezí asi 167–169 cm.
- *chlapci*: Prepubertální zrychlení začíná v 10–11 letech. Rychlý pubertální růst začíná obvykle ve 12 letech. V dalších 3–4 letech chlapci vyrostou ročně asi o 7–8 cm (někdy i více). Nejvyšší rychlosti růstu je dosaženo nejčastěji ve 13 letech (14. rok života), poté rychlost růstu klesá. Růst je u chlapců (mužů) nejčastěji ukončen v 18 letech. Průměrná výška dospělého muže nejmladší generace v populaci ČR se (podle různých výzkumů) pohybuje v rozmezí asi 180–182 cm.

Z údajů z rozsáhlého populačního výzkumu tělesných parametrů české populace z roku 2001 plyne, že ve věku 10 let, kdy jsou obě pohlaví ještě ve fázi pomalejšího dětského růstu, je průměrná výška chlapců a dívek zhruba stejná, a to asi 144–145 cm. V 11 letech jsou však dívky asi o 1,5 cm vyšší než chlapci, neboť v tomto věku již u nich probíhá pubertální spurt. Ve 12 letech začíná pubertální spurt u chlapců, následkem čehož rozdíl ve výšce mezi oběma pohlavími klesá asi na 1 cm (dívky jsou stále vyšší než chlapci). Ve 13 letech jsou chlapci již asi o 2 cm vyšší než dívky a ve 14 letech činí tento rozdíl asi 6 cm. V dalších letech života se rozdíly mezi výškou mužů a žen ještě zvětšují. Rozdíl v průměrné výšce mužů a žen po dosažení dospělosti je asi 13 cm. Jedná tím, že chlapci mají asi o 2 roky delší prepubertální růst (tudíž výška jejich postavy je na počátku růstového spurtu větší) a mají rovněž intenzivnější pubertální růst.

7.2.4 Individuální hodnocení tělesné výšky

Hodnoty tělesné výšky konkrétního jedince je potřeba interpretovat v kontextu populace, jež je tento jedinec součástí. Důvodem je zejména fakt, že jednotlivé lidské populace ve světě jsou různě vysoké, a proto např. nízká postava u příslušníka jednoho etnika může být v kontextu jiné populace naopak postavou vysokou. Způsob individuálního hodnocení výšky postavy se dále liší u dětí a dospělých, a to zejména z toho důvodu, že děti ještě rostou (jejich velikost se mění a v každém věku je jiná), zatímco u dospělých je růst již ukončen. U dětí slouží individuální hodnocení tělesné výšky především ke sledování správného průběhu jejich růstu a stanovení případných růstových odchylek. Jde proto především o záležitost klinickou (lékařskou). Děti jsou na pravidelných prohlídkách u dětského lékaře sledovány nejen z hlediska kontroly jejich zdravotního stavu, ale právě i z důvodů hodnocení jejich vývoje, včetně vývoje růstového. Lékař interpretuje vývoj konkrétního dítěte na základě porovnávání jeho růstových dat s populačními daty, která pocházejí z různých studií. K tomuto účelu se využívají tzv. percentilové grafy. Jde o grafy s růstovými křivkami, které jsou znázorněny (standardizovány) pro 50. percentil (populační průměr, resp. medián), dále pro 3., 10., 25., 75., 90. a 97. percentil. Do grafu jsou zaneseny údaje o vývoji tělesné výšky vyšetřovaného dítěte a ty jsou následně porovnány s uvedenými standardizovanými populačními křivkami.

- Pokud se růstová trajektorie sledovaného dítěte nachází mezi 25. a 75. percentilem, je růst považován za přirozený a bezproblémový.
- Pokud se růstové hodnoty dítěte nacházejí pod 25. nebo nad 75. percentilem, znamená to, že růst probíhá odlišně, než je běžné u 50 % dětí a může to již signalizovat poruchu v růstu.
- Pokud jsou růstové hodnoty dítěte pod 10. nebo nad 90. percentilem, znamená to, že růst dítěte probíhá odlišně, než je běžné u 80 % dětí, a jedná se proto o stav, který ještě s vyšší pravděpodobností svědčí o růstové poruše.
- Pokud jsou růstové hodnoty dítěte pod 3. nebo nad 97. percentilem, znamená to, že růst dítěte probíhá odlišně, než je běžné u 94 % dětí, a jedná se proto o alarmující stav, který již prakticky určitě svědčí o růstové poruše.

7.2.5 Populační vývoj tělesné výšky

Biologické ukazatele lidí v dané populaci nejsou z dlouhodobého hlediska konstantní, ale mění se v návaznosti na jiné, zejména socioekonomické, aspekty. Dlouhodobě probíhající trend vývoje určitého biologického ukazatele se označuje jako **sekulární trend** (latinsky *saeculum* = století). Změny je možné pozorovat až při srovnávání více generací (rozdílů mezi generacemi), nikoliv v rámci generace jediné. Významné sekulární trendy v růstu a vývoji populace se v Evropě, postupně však i v jiných oblastech světa, odehrávaly zejména v průběhu 20. století, přičemž v určité intenzitě trvají i dále. K nejvýznamnějším sekulárním procesům patří **mezigenerační zvyšování výšky postavy**. Tento trend probíhá přibližně od poloviny 19. století, zintenzivnil se však od 20. století.

V roce 1895 (výzkumy Jindřicha Matiegky) byla průměrná výška postavy českých mužů asi 168 cm, dnes je to (u nejmladší generace) asi 180–182 cm. Jedná se tedy o nárůst asi 13 cm. Průměrná výška postavy českých žen byla roku 1895 asi 157 cm, dnes je to (u nejmladší generace) asi 167–169 cm. Jedná se tedy o nárůst asi 11 cm. Kromě průměrné výšky postavy se tedy za posledních více než 100 let zvýšil i rozdíl mezi výškou dospělých mužů a žen (z 11 na 13 cm).

Vysvětlení spočívá v tom, že výška postavy je polygenním znakem (je dána jednak geneticky, jednak působením vnějšího prostředí). Geny se zásadně nemění, růstový potenciál je tedy v průměru stále přibližně stejný. Mění se však charakter prostředí, v němž žijeme. V minulosti byla velikost těla výrazně omezována potravním stresem (nedostatkem kvalitní potravy, hlavně bílkovin), častými infekčními chorobami a nadměrnou fyzickou zátěží. Tyto faktory do určité míry bránily naplnění geneticky daného růstového potenciálu, lidé tedy dosáhli ve finální podobě nižšího vzrůstu. Od druhé poloviny 19. století, zejména však od 20. století, došlo k postupnému zkvalitnění životních podmínek, a tím i k postupné eliminaci uvedených stresových faktorů, proto je růst současné populace daleko méně zatěžován a lidé dorůstají větší výšky než v minulosti. Podle zjištění z aktuálních výzkumů se zdá, že v dnešní době dochází již ke zpomalování sekulárního trendu ve zvyšování finální výšky postavy, což svědčí o tom, že již víceméně naplňujeme náš genetický potenciál růstu (jsme téměř tak vysocí, jak máme „zapsáno“ v genech). Významným fenoménem, který je nedílnou součástí sekulárního trendu v růstu a vývoji, je tzv. **sekulární akcelerace** (sekulární zrychlení). Jedná se o posun nějaké vývojové změny do nižších věkových kategorií, tedy o zrychlení biologického vývoje. Jednoznačné příklady sekulární akcelerace nabízí právě růst tělesné výšky. Snižuje se např. věk počátku pubertálního růstového spurtu, věk nejrychlejšího pubertálního růstu a věk definitivního ukončení růstu.

Příklady sekulární akcelerace

Některé příklady sekulární akcelerace jsou dobře pozorovatelné při porovnání dat zjištěných Celostátními antropologickými výzkumy dětí a mládeže, Matiegkovým výzkumem z roku 1895 a rovněž s údaji o výšce podstavy chlapců, kteří navštěvovali vojenskou akademii ve Vídni v letech 1800–1809 (v tomto případě se nejednalo o plně dospělé muže).

- K ukončení růstu u chlapců došlo v roce 1895 v 21–22 letech, v roce 2011 již v 18–19 letech.
- Výška postavy dvanáctiletých v roce 1895 odpovídá výšce postavy dnešních devítiletých. Podobný tříletý rozdíl je patrný i v dalších věkových kategoriích pozdějšího dětského věku. Růst je dnes tedy rychlejší i v prepubertálním období.
- Věk nevyšší pubertální růstové rychlosti u chlapců klesl z věku asi 16 let na začátku 19. století na 14 let roku 1951 a dále na 13 let roku 2001). Došlo tedy k akceleraci věku nejvyšší pubertální růstové rychlosti.
- Výsledky výzkumu z roku 2001 ukázaly, že poprvé během historie měření chlapci „dohnali“ dívky ve výšce postavy již ve 13 letech (dříve to bylo až ve 14 letech).
- Výška postavy patnáctiletých chlapců se za posledních 200 let zvýšila asi o 30 cm. To je dáno tím, že před 200 lety nenastala v tomto věku ještě fáze nejrychlejšího pubertálního růstu, kdežto dnes je v tomto věku již tato fáze u chlapců ukočena. V tomto poměrně velkém rozdílu ve výšce postavy se tedy sčítají dva akcelerační procesy, jednak obecně rychlejší růst, jednak posun věku pubertálního zrychlení do nižších věkových kategorií.

Typickým příkladem sekulární akcelerace je také snižování věku menarche u dívek. Na konci 19. století se menarche objevila u dívek nejčastěji v 16 letech, v současné době je to již ve 13 letech. Se sekulárními trendy však souvisí i zdánlivě protichůdný proces, a to tzv. **sekulární retardace** (sekulární zpomalení). Jde o posun nějaké vývojové změny do vyšších věkových kategorií. Příkladem je posun ukončení plodného věku u žen (tzv. klimakterium) do vyššího věku v porovnání s minulými generacemi. K tomuto posunu dochází opět vlivem zlepšení životních podmínek, „retardace“ tedy v tomto případě není opakem „akcelerace“, ale souběžným jevem.

7.2.6 Populační hodnocení tělesné výšky

Měření a hodnocení výšky postavy je jedním z hlavních cílů populačních antropometrických výzkumů. Důvodem je zejména to, že výška postavy je snadno měřitelná a sama o sobě má dobrou vypovídací schopnost o vývoji, zdravotním stavu a kvalitě životních podmínek dané populace. Populační výzkum výšky postavy se provádí, nikoliv však izolovaně, ale společně se zjišťováním dalších biologických, psychologických, sociologických a jiných parametrů, dvěma základními typy postupů – transversálním a longitudinálním.

- **transverzální výzkumy:** Jde o tzv. průřezové studie (transverzální = příčný). Během trasverzálních výzkumů se sbírají údaje, v tomto případě antropometrické, na velkém vzorku populace (nejčastěji tisíce, někdy i desetitisíce probandů) v jednom časovém okamžiku (resp. během relativně krátkého časového intervalu). Tyto postupy tedy pracují zejména s populačními průměry. Výhodou tohoto přístupu je dobrá organizovatelnost výzkumu, neboť se odehrává v krátkém časovém úseku, a dobrý přehled o počtu zkoumaných jedinců. Nevýhodou je však to, že pracujeme s jedinci různých věkových kategorií, kteří mohli vyrůst v odlišných životních podmínkách (při těchto typech výzkumů např. srovnáváme výšku a další parametry těla u pětiletých a patnáctiletých dětí, mezi nimiž je rozdíl 10 let, což je z hlediska generačního rozdíl poměrně velký).

Příklady transversálních studií

Příkladem transversálních studií jsou Celostátní antropologické výzkumy dětí a mládeže, které se u nás prováděly pravidelně od roku 1951, a to v desetiletých intervalech (vždy v roce končícím jedničkou). Poslední takový výzkum se uskutečnil roku 2001, kdy bylo změřeno téměř 60 tisíc dětí (v dřívějších výzkumech to ale bývalo i mnohem více). Tyto výzkumy však u nás mají ještě delší tradici. První rozsáhlý transversální výzkum provedl na našem území český lékař a antropolog Jindřich Matiegka (1862–1941) již roku 1895, kdy bylo změřeno asi 100 tisíc dětí ve věku 6–15 let (a také mnoho dospělých). Velká množství somatometrických údajů však poskytla i měření desetitisíců cvičenců na československých spartakiádách, které se od roku 1955 konaly v pětiletých intervalech, a to až do roku 1990 (s výjimkou roku 1970). Uvedené výzkumy poskytují velmi cenná data, která umožňují sledovat růstové trendy (a konsekvence z nich vyplývající) v dlouhodobém časovém horizontu.

- **longitudinální výzkumy:** Jedná se o pravidelné sledování růstu a vývoje konkrétních jedinců (probandů) po dlouhou dobu (longitudinální = podélný). V případě longitudinálních studií výšky postavy se jedná o pravidelné měření jedince nejlépe od doby jeho narození (resp. ještě od prenatální fáze vývoje) až po dosažení jeho dospělosti, výzkum by měl proto trvat minimálně 18 let. Tento typ studií velmi dobře vypovídá o průběhu individuálního růstu a vývoje, protože zkoumá jednu stejnou generaci probandů, a nikoliv různé generace, jako je tomu v případě studií transversálních. Má však také nevýhody. Především je to dlouhá doba, po kterou je nutno výzkum provádět (v případě sledování růstu zmíněných minimálně 18 let). Během takto dlouhého období může dojít k mnoha problémům bránícím dokončení výzkumu – hlavně se jedná o odliv probandů (jejich účast je vždy dobrovolná). Z uvedených důvodů je i finanční stránka takovýchto výzkumů podstatně náročnější než u výzkumů transversálních.

Příklady longitudinálních studií

Longitudinální studie se u nás provádějí již od 50. let 20. století. Příkladem je *Pražská longitudinální studie* (probíhala v letech 1956–1986) a *Brněnská longitudinální studie* (probíhala v letech 1961–1980). Příkladem velkého mezinárodního longitudinálního výzkumu je studie ELSPAC. Jde o zkratku: *European Longitudinal Study of Pregnancy and Childhood*, tedy Evropská longitudinální studie těhotenství a dětství. Sběr dat této studie proběhl v letech 1991–2011, od roku 2012 probíhá analýza a interpretace dat. Iniciátorem tohoto výzkumu byla Světová zdravotnická organizace. Do projektu bylo zapojeno asi 40 tisíc dětí a jejich rodin z několika zemí Evropy, včetně České republiky (zde je řešitelem Výzkumné pracoviště preventivní a sociální pediatrie Lékařské fakulty Masarykovy univerzity v Brně, které byla zároveň koordinátorem projektu v jeho závěrečné fázi). Sledovány byly děti narozené od roku 1991. U nás se studie týká více než 7,5 tisíce dětí žijících na Brněnsku a na Znojemsku. Projekt se zaměřuje na vývoj dětí od prenatální fáze jejich vývoje (tedy od těhotenství jejich matek) až do věku 19 let, a to v kontextu genetickém (sbírá i údaje o matce a otci), psychologickém (psychický stav dětí i jejich rodičů), sociálním (vzdělání), ekonomickém (vybavení domácnosti, životní styl), zdravotnickém (očkování a prevence) a environmentálním (sleduje několik faktorů prostředí). Cílem studie bylo zjistit, které z těchto faktorů ovlivňuje zdravý vývoj dětí a jak se jednotlivé země, které jsou do výzkumu zapojeny, od sebe liší.

7.3 Tělesná hmotnost

7.3.1 Úvod

Tělesná hmotnost je dalším z intenzivně sledovaných parametrů lidského těla. Je opět ovlivněna jak dědičně, tak charakterem prostředí, které však v tomto případě hraje větší roli na výsledném efektu (reálné hmotnosti jedince) než v případě výšky postavy (jednotlivé individuální křivky hmotnostního růstu se od sebe více liší), a to z toho důvodu, že hmotnost daleko více než výška postavy reflektuje stav výživy jedince (resp. jeho energetickou bilanci). Navíc tělesná hmotnost se může výrazněji proměňovat (růst i klesat) i během dospělosti, kdy je prolungační růst již ukončen, neboť její růst závisí na objemu měkkých tkání (zejména tukové, ale i svalové) a není omezován růstem kostí. Tělesná hmotnost se měří pomocí různých typů osobních vah (analogových i digitálních, někdy kombinovaných s dalšími měřidly), a to s přesností na 0,1 kg.

7.3.2 Individuální vývoj tělesné výšky

Pro tělesnou hmotnost platí v podstatě stejné parametry individuálního vývoje a hodnocení a populačního vývoje a hodnocení jako pro tělesnou výšku. Protože vývoj hmotnosti v období dětství a dospívání do určité míry koreluje s vývojem tělesné výšky, má i křivka růstu hmotnosti podobný průběh jako ICP-křivka růstu tělesné výšky. Můžeme tedy opět popisovat infantilní, dětskou a pubertální fázi vývoje tělesné hmotnosti.

- **fáze I:** Tento úsek vyjadřuje hmotnostní růst v průběhu prvního roku života. Křivka je v této fázi strmá, dochází tedy k velmi rychlému růstu tělesné hmotnosti. Porodní hmotnost dítěte dosahuje v průměru asi 3500 g. V prvních několika dnech po porodu však hmotnost klesne asi o 5–10 %, porodní hmotnosti je dosaženo znovu asi po 10 dnech od narození. Ve čtvrtém a pátém měsíci postnatálního vývoje se hmotnost dítěte zdvojnásobí a do konce prvního roku života ztrojnásobí, takže na konci prvního roku života dosahuje hmotnost dítěte asi 10 kg. Růst hmotnosti není v této fázi příliš ovlivňován podmínkami prostředí.
- **fáze C:** Tato fáze vyjadřuje hmotnostní růst přibližně od druhého roku života do počátku puberty (10 let u dívek, 12 let u chlapců), tedy v době, kdy mírně zpomaluje růst výšky postavy. Křivka vyjadřující průběh růstu hmotnosti je v této fázi rovněž pozvolnější, růst hmotnosti se tedy celkově zpomaluje. Růst tělesné hmotnosti je v této fázi více ovlivňován podmínkami prostředí (výživou) a může být proto mnohem variabilnější mezi jednotlivými individui než růst tělesné výšky. Od 2. roku života až do počátku puberty přibývá dítě v průměru asi 2–3 kg za rok. Pro odhad hmotnosti dítěte v tomto období se používá vzorec: $\text{hmotnost} = (2,5 \times \text{věk}) + 8$
- **fáze P:** Vyjadřuje hmotnostní růst od počátku puberty (10 let u dívek, 12 let u chlapců) do ukončení růstu (16 let u žen, 18 let u mužů). Křivka vyjadřující průběh růstu hmotnosti je opět velmi strmá, tzn. růst je v této době velmi rychlý. Nárůst tělesné hmotnosti může být v této fázi opět mnohem variabilnější mezi jednotlivými individui než růst tělesné výšky, neboť se na něm větší měrou projevuje vliv prostředí (zejména energetická bilance). Průběh a intenzita pubertálního hmotnostního růstu se liší podle pohlaví:
 - *dívky:* Rychlý pubertální růst hmotnosti těla začíná nejčastěji v 10 letech, přičemž během následujících 3 let dívky přiberou ročně v průměru asi 4–6 kg. Poté hmotnostní nárůst klesá. Hmotnost žen v 18 letech (tedy po ukončení růstu těla) se pohybuje nejčastěji mezi 60 a 65 kg, i v dalších letech se však může výrazně měnit v závislosti na životním stylu.
 - *chlapci:* Rychlý pubertální růst začíná nejčastěji ve 12 letech, přičemž během následujících 3 let chlapci přiberou ročně v průměru asi 5–7 kg. Poté hmotnostní nárůst klesá. Hmotnost mužů v 18 letech (tedy po ukončení růstu těla) se pohybuje nejčastěji mezi 70 a 75 kg, i v dalších letech se však může výrazně měnit v závislosti na životním stylu.

Celostátní antropologické výzkumy dětí a mládeže poskytují, podobně jako u tělesné výšky, důležité údaje i pro vývoj tělesné hmotnosti, a to jak vývoj individuální, tak vývoj populační (tedy sekulární). Z výzkumu provedeného roku 2001 vyplývá, že v 10 letech mají chlapci a dívky přibližně stejnou hmotnost (asi 37–38 kg). V 11–12 letech, tedy v období pubertálního růstového spurtu, mají dívky tendenci k vyšší hmotnosti v porovnávání se stejně starými chlapci, rozdíly činí 1–2 kg (dívky tedy předeženou v tomto parametru chlapce, podobně jako v případě tělesné výšky). Od 13 let, zejména však od 14 let, rychleji narůstá tělesná hmotnost u chlapců. Rozdíl v průměrné hmotnosti dospělých mužů a žen je asi 10–15 kg a je dán opět delším prepubertálním a intenzivnějším pubertálním růstem hmotnosti u mužů. K individuálnímu hodnocení hmotnosti dětí během jejich růstu můžeme využít (podobně jako u hodnocení tělesné výšky) percentilové grafy. Pro individuální hodnocení hmotnosti dospělých zase můžeme využít statistické ukazatele normálního rozložení, tedy populační průměr (resp. medián) a směrodatné odchylky. Populační vývoj tělesné výšky sleduje dále podobné sekulární trendy jako populační vývoj tělesné hmotnosti, včetně sekulární akcelerace. Stejně tak je (byla) tělesná hmotnost sledována v populačních výzkumech, transverzálních i longitudinálních.

7.3.3 Hmotnostně výškové poměry

Tělesná hmotnost obecně koreluje s tělesnou výškou, tedy čím vyšší je daný jedinec, tím můžeme u něho očekávat i vyšší hmotnost. Protože je však hmotnost daleko více ovlivněna podmínkami prostředí (např. výživou), nemusí být vztah hmotnosti a výšky tak přímočarý. Byly proto zavedeny tzv. výškově-hmotnostní poměry, kde se hmotnost dělí první, druhou nebo třetí mocninou výšky postavy. K nejčastěji využívaným ukazatelům tohoto typu patří **body mass index** (BMI, jinak také *Queteletův index*), počítaný podle vztahu: $BMI = \text{hmotnost (kg)} / \text{výška (m)}^2$.

Hodnota BMI se v průběhu dětského růstu charakteristickým způsobem mění. U novorozence dosahuje asi 13–14. Po dosažení prvního roku života stoupne hodnota BMI asi na 17–18 (tělesná hmotnost roste v prvním roce života rychleji než tělesná výška v důsledku rychlého přibývání tukové tkáně u kojenců). Potom hodnota BMI plynule klesá, minima (asi 15–16) dosáhne v 5–6 letech a potom se začne opět pomalu zvyšovat (tato fáze „odrazu“ se označuje jako *adiposity rebound* a podléhá sekulární akceleraci – časově se mírně posunuje do stále mladších věkových kategorií). Na počátku pubertálního růstového spurtu dosáhne BMI hodnoty asi 17–18 a na konci růstu (v 16–18 letech, podle pohlaví) má hodnotu přibližně 21–22 (pokud není vývoj hmotnosti výrazněji narušován vnějšími vlivy). Podobně jako tělesná hmotnost se však v dospělosti po ukončení tělesného růstu může měnit i BMI jedince, neboť jeho hodnota je závislá právě na jeho hmotnosti.

Hodnoty BMI je potřeba hodnotit odlišně u dětí a u dospělých.

- **hodnocení u dospělých:** Pro dospělou populaci (tedy jedince po ukončení tělesného růstu) je využívána následující škála:

<16	těžká podváha
16–18	podváha
18–25	vyrovnaný stav
25–30	nadváha
30–35	obezita 1. stupně (lehká obezita)
35–40	obezita 2. stupně (střední obezita)
>40	obezita 3. stupně (těžká či morbidní obezita)

Tuto škálu hodnot však lze použít pouze u dospělých jedinců po ukončení jejich tělesného růstu, zatímco aplikace na děti by téměř vždy vedla ke zjištění podváhy.

Je nutné si uvědomit, že *body mass index* je pouze matematický vztah dvou veličin a neřeší problematiku složení těla, tedy jestli je hmotnost jedince daná více aktivní (svaly) nebo pasivní (tuk) tělesnou hmotou. Pro posouzení stavu obezity lze proto tento parametr využít pouze orientačně. Extrémně vypracovaný kulturista může mít hodnotu BMI vysokou, a přitom nemusí mít téměř žádný tuk, není tedy obézní, naopak subtilní starý člověk může mít hodnotu BMI nízkou, ale může mít slabou svalovou hmotu, zato nadměrné množství tělesného tuku, a může tak být obézní (jedná se o tzv. *sarkopenickou obezitu*).

- **hodnocení u dětí:** U dětí je vhodné interpretovat BMI pomocí percentilových grafů, v nichž porovnáváme konkrétní dítě s běžnými hodnotami BMI u jejich vrstevníků (stejně starých dětí), tedy se standardizovanými populačními křivkami zkonstruovanými pro vybrané percentily.

7.4 Další typy růstu

7.4.1 Cefalický růst

Jedná se o růst velikosti hlavy. Označuje se také jako *neurální růst*, což odráží fakt, že hlava se zvětšuje v úzké korelaci se zvětšováním mozku (velikost hlavy, resp. lebeční dutiny, kopíruje velikost mozku). U hlavy můžeme sledovat jednak růst absolutní (měřitelný např. jejím obvodem či objemem), jednak růst relativní (resp. proporcionální, ve vztahu ke zbytku těla).

- **absolutní růst:** Obvod hlavy novorozence je asi 34–35 cm (je asi o 2 cm větší než obvod hrudníku), což je asi 60 % obvodu hlavy dospělého člověka. Objem mozku (neurokránia) je u novorozence asi 350–400 cm³, tedy asi 25–30 % dospělé hodnoty. Obvod hlavy dospělého člověka je asi 55–57 cm. a objem mozku (neurokránia) asi 1350–1450 cm³. Křivka růstu hlavy má jiný průběh než celková růstová (ICP) křivka tělesné výšky nebo hmotnosti. Po počátečním strmém průběhu v prvních třech až čtyřech letech života dosáhne velikost hlavy asi 90 % dospělé velikosti, poté se růst hlavy rychle zpomaluje až do konečné hodnoty (nemá fázi zpomaleného růstu).

Během prvního roku života naroste obvod hlavy asi o 11–12 cm, čímž dosáhne více než 80 % dospělé velikosti (objem mozku dosáhne asi 1000 cm³). Během druhého roku je nárůst pouze asi o 2 cm, čímž dosáhne více než 85 % dospělé velikosti (objem mozku dosáhne asi 1100 cm³). Ve třech letech dosahuje obvod hlavy kolem 90 % dospělé velikosti (objem mozku dosáhne asi 1200 cm³). Pro porovnání výška těla dosahuje v této době pouze asi 50 % dospělé výšky. Poté už hlava roste velmi pomalu, a to až do ukončení tělesného růstu. Obvod hrudníku během raného dětství přeroste obvod hlavy. V 10 letech je jeho hodnota asi 65 cm, v 15 letech více než 80 cm.

- **relativní růst:** Jde o proporcionální růst hlavy ve vztahu k tělu jako celku, tedy o poměr mezi délkou hlavy a výškou těla. Ten se v průběhu dětství neustále zmenšuje. U plodu ve 3. měsíci prenatálního vývoje zaujímá hlava asi jednu polovinu délky těla, v 6. měsíci je to asi jedna třetina. U novorozence dosahuje délka hlavy asi jedné čtvrtiny délky těla. U dospělého zaujímá hlava asi jednu osminu délky těla (během dospívání samotná hlava již neroste, zato výrazně roste zbytek těla).

7.4.2 Růst končetin

Růst končetin má v průběhu dětství periodický charakter, střídají se tedy období pomalejšího a rychlejšího růstu. Projevuje se to v proporcionalitě těla, tedy v poměru mezi délkou končetin a celkovou výškou těla (tedy relativní délkou končetin). V rámci tohoto parametru můžeme vymezit několik střídajících se období tzv. plnosti (končetiny jsou relativně krátké, v podkoží se ukládá více tuku) a vytáhlosti (končetiny jsou relativně dlouhé, tuk z podkoží částečně mizí, zato se zesiluje svalstvo).

- **první období plnosti:** Zahrnuje věk od narození do 4 let.
- **první období vytáhlosti:** Zahrnuje věk od 5 do 7 let.
- **druhé období plnosti:** Zahrnuje věk od 8 do 10 let.
- **druhé období vytáhlosti:** Zahrnuje věk od 11 do 15 let.
- **třetí období plnosti:** Zahrnuje věk od 16 let dále.

Tělo novorozence, kojence a batolete má vizuálně plné tvary (období plnosti) a relativně krátké končetiny. Přibližně od 4–5 let rostou končetiny o něco rychleji než trup, především končetiny dolní. Prodělání prvního období vytáhlosti se u dětí projevuje větší štíhlostí. Komplex těchto změn se označuje jako **první proměna postavy**. Ukončení první proměny postavy se dá zjistit tzv. filipínskou mírou. Dítě se snaží pravou rukou přes obvod hlavy dotknout levého ušního boltce (či naopak). Pokud se mu to podaří, znamená to, že horní končetiny se prodloužily a dítě první proměnu postavy již prodělalo. Ve věku kolem 8 let nabývá tělo opět plnějších tvarů (začíná druhé období plnosti). Růst délky končetin se mírně zpomalí. Další vytáhlost těla přijde společně s pubertálním růstovým spurtem (objevuje se pubertální vytáhlost). Výsledkem je **druhá proměna postavy**. Přibližně od věku 13–14 let se končetiny oproti trupu začnou relativně mírně zkracovat, tělo nabývá opět plnějších tvarů, přichází tedy dorostenecké období plnosti, které trvá potom po zbytek života.

7.4.3 Genitální růst

Jedná se o růst pohlavních orgánů, resp., pokud přihlédneme k širšímu pojetí, o růst jak primárních pohlavních znaků (genitálií), tak sekundárních pohlavních znaků (zejména růst pubického ochlupení u obou pohlaví a růst prsů u žen). Genitální růst má úzkou souvislost s pohlavním vývojem jedince. S tímto typem růstu lze tedy počítat až v období pohlavního dozrávání. Křivka vyjadřující růst velikosti pohlavních orgánů má opačný průběh než křivka popisující růst cefalický. Až do věku 9–10 let je genitální růst velmi pomalý, v 10–11 letech se mírně zrychluje, a to pod vlivem stoupající sekrece pohlavních hormonů z kůry nadledvin (tím lze vysvětlit i mírné prepubertální zrychlení tělesného růstu). Od počátku puberty nastávají poměrně bouřlivé změny, rychlost genitálního růstu se výrazně zvyšuje, a to až do věku 14–15 let, kdy ustává. Ke klasifikaci genitálního růstu se využívají tzv. Tannerovy škály, které mají pět vývojových stupňů. Posouzení pohlavního vývoje vyšetřovaného jedince na základě porovnání s těmito standardizovanými škálami přispívá k odhalení odchylek od běžného pohlavního vývoje. Na zkoumaných jedincích se konkrétně hodnotí:

- **růst pubického ochlupení:** Posuzuje se u obou pohlaví. Jedná se o hodnocení lokalizace a stupně rozvoje pubického ochlupení.
- **růst vnějšího genitálu:** Hodnotí se pouze vnější pohlavní orgány u muže. Posuzuje se velikost varlat (měří se tzv. orchidometrem) a velikost penisu.
- **růst prsů:** Hodnotí se pouze v případě žen. Posuzuje se tvar a elevace prsu (tedy jeho vystoupení nad okolní povrch těla).

Literatura

- Balko J. *et al.* 2017: *Memorix histologie*. Praha: Triton. ISBN 978-80-7553-249-7.
- Bláha P. *et al.* 2006: *Somatický vývoj současných českých dětí. Semilongitudinální studie*. Praha: Karlova univerzita. ISBN 80-86591-24-0.
- Bogin B. 2011: Puberty and Adolescence: An Evolutionary Perspective. *Encyclopedia of Adolescence* 1: 275–286.
- De Castro M. 2016: Johann Gregor Mendel: paragon of experimental science. *Molecular Genetics & Genomic Medicine* 4: 3–8.
- Čegan A. – Korecká L. 2010: *Obecná a potravinářská biochemie pro bakalářské studium*. Pardubice: Univerzita Pardubice.
- Čůta M. 2011: *Růst a vývoj dětí studie ELSPAC*. Nepublikovaná disertační práce. Brno: Masarykova univerzita.
- Dorn L. D. – Biro F. M. 2011: Puberty and Its Measurement: A Decade in Review. *Journal of Research on Adolescence* 21: 180–195.
- Grasgruber P. – Hrazdára E. 2013: Anthropometric characteristics of the young Czech population and their relationship to the national sports potential. *Journal of Human Sport and Exercise* 8: 120–134.
- Hajniš K. – Petrásek R. 2001: Body mass index of Czech and Slovak children and its secular trend. *Anthropologie* 39: 243–251.
- Hall J. *et al.* 2007: *Handbook of Physical Measurements*. 2nd edition. Oxford: University Press. ISBN 0-19-530149-6.
- Hudák R. *et al.* 2017: *Memorix anatomie*. Praha: Triton. ISBN 978-80-7553-420-0.
- Ipser J. 2006: *Genetika*. Ústí and Labem: Univerzita Jana Evangelisty Purkyně.
- Kopecký M. *et al.* 2014: Somatický stav 6-18letých chlapců a dívek v Olomouckém kraji. *Česká antropologie* 64: 12–19.
- Kopecký M. – Kikalová K. – Charamza J. 2016: Sekulární trend v tělesné výšce a hmotnosti dospělé populace v České republice. *Časopis lékařů českých* 155: 357–364.
- Kutáč P. 2013: Základní antropometrické parametry dětské a adolescentní populace Moravskoslezského kraje. *Česká antropologie* 63: 20–25.
- Langmeier M. *et al.* 2009: *Základy lékařské fyziologie*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-2526-0.
- Lipoldová M. *et al.* 2020: Secular Trends of Adult Population and Their Impacts in Industrial Design and Ergonomics. *Applied Sciences* 10: 7656.
- Lüllmann-Rauch R. 2012: *Histologie*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-3729-4.
- Machová J. 2019: *Biologie člověka pro učitele*. Praha: Karolinum. ISBN 978-80-246-3357-2.
- Malý J. 2005: *Biologie prokaryot a virů*. Ústí and Labem: Univerzita Jana Evangelisty Purkyně.
- Malý J. 2006: *Molekulární a buněčná biologie*. Ústí and Labem: Univerzita Jana Evangelisty Purkyně.
- Marshall W. A. – Tanner J. M. 1969: Variations in Pattern of Pubertal Changes in Girls. *Archives of Disease in Childhood* 44: 291–303.
- Marshall W. A. – Tanner J. M. 1970: Variations in the Pattern of Pubertal Changes in Boys. *Archives of Disease in Childhood* 45: 13–23.
- Matiegka J. 1927: *Somatologie školní mládeže. Somatology of schoolchildren*. Praha.
- Melicherčíková D. – Melicherčík M. 2002: Biogénne prvky vo vyučovaní chémie. *Chemické listy* 96: 900–903.
- Mescher A. L. 2018: *Junqueira's Basic Histology. Text and Atlas*. 15th Edition. McGraw-Hill Education. ISBN 978-1-260-02617-7.
- Pacovský V. 1988: Živá kost. *Vesmír* 67/7: 385–387.
- Peterson M. – Warf B. C. – Schiff S. J. 2018: Normative human brain volume growth. *Journal of Neurosurgery Pediatrics* 21: 478–485.
- Preedy V. R. 2012: *Handbook of Anthropometry. Physical Measures of Human Form in Health and Disease*. New York, Dordrecht, Heidelberg, London: Springer.
- Příborská S. 2010: *Současný somatický vývoj českých dětí*. Nepublikovaná bakalářská práce. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.
- Rogol A. D. – Roemmich J. N. – Clark P. A. 2002: Growth at Puberty. *Journal of Adolescent Health* 31: 192–200.
- Sekajová Z. 2016: *Sekulární trend ve věku menarche*. Nepublikovaná diplomová práce. Brno: Masarykova univerzita.
- Sobotková E. 1989: Biomechanika kosti – změny s věkem. *Vesmír* 68/10: 569–572.
- Vignerová J. *et al.* 2006: *6. celostátní antropologický výzkum dětí a mládeže 2001. Česká republika. Souhrnné výsledky*. Praha.
- Vignerová J. – Brabec M. – Bláha P. 2006: Two centuries of growth among Czech children and youth. *Economics and Human Biology* 4: 237–252.
- Westerlund J. F. – Fairbanks D. L. 2010: Gregor Mendel's classic paper and the nature of science in genetics courses. *Hereditas* 147: 293–303.
- Witchel S. F. – Topaloglu A. K. 2019: Puberty: Gonadarche and Adrenarche. In: Strauss J. F. III – Barbieri R. L. – Gargiulo A. R. (eds.): *Yen & Jaffe's Reproductive Endocrinology*: 394–446e.16.
- Zemková D. – Šnajderová M. 2009: Puberta v ambulanci pediatra. *Pediatric pro praxi* 10: 289–293.
- Živný M. 2019: *Obecná histologie živočichů a člověka pro biology*. Ostrava: Ostravská univerzita.