

**Univerzita Karlova**

**Přírodovědecká fakulta**

Katedra antropologie a genetiky člověka

Studijní program: Speciální chemicko-biologické obory

Studijní obor: Molekulární biologie a biochemie organismů



**Nela Navrátilová**

## **Vývoj vitální kapacity plic u dětí**

Development of vital lung capacity in children

Bakalářská práce

Školitel: doc. RNDr. Petr Sedlak, Ph.D.

Praha 2021

## **Poděkování:**

Ráda bych poděkovala svému školiteli doc. RNDr. Petru Sedlakovi, Ph.D. za jeho ochotu, čas a přínosné rady poskytované v průběhu vedení této bakalářské práce. Poděkování patří také Mgr. Milanu Soutorovi, PhD za jeho osobní přístup a předání znalostí ohledně psaní akademického textu. V neposlední řadě bych ráda poděkovala mým rodičům a prarodičům, kteří mě během celého mého studia bezmezně podporovali, za což jsem jim velice vděčná.

## **Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 5. 5. 2021

---

Nela Navrátilová

## **Abstrakt**

Nedostatek fyzické aktivity může negativně ovlivnit funkční i morfologický vývoj jedince. Tato bakalářská práce podává základní přehled o anatomii respiračního systému a vývoji plic v prenatálním i postnatálním období. Dále se zabývá vývojem plicních funkcí u dětí a faktory, jež tento vývoj ovlivňují. Největší informativní hodnotu z hlediska morfologické a následně i funkční diference plic mají parametry: usilovný výdech vitální kapacity plic během t sekundy, usilovná vitální kapacita a Tiffeneauův index. Tyto parametry plicních funkcí používá většina studií, které hodnotily vztah mezi úrovní jejich vývoje a pohybovou aktivitou dítěte. Vliv fyzické aktivity na vývoj plicních funkcí byl zaznamenán zejména v pubertálním a prepubertálním období. Pro správný vývoj plicních funkcí je limitující také zdravotní stav dítěte. Odlišné hodnoty oproti zdravým jedincům se vyskytují např. u jedinců s cystickou fibrózou či astmatem.

### **Klíčová slova:**

Vitální kapacita plic; spirometrie; fyzická aktivita

## **Abstract**

Deficiency of physical activity can negatively affect the functional and morphological development of an individual. This bachelor thesis provides a basic overview of the anatomy of the respiratory system and the development of the lungs in the prenatal and postnatal period. It also follows up the development of lung function in children and the factors that influence this development. The parameters of the greatest informative value from the point of view of morphological and consequently also functional differentiation of the lungs are forced expiratory volume in t second, forced vital capacity and Tiffeneau-Pinelli index. These parameters of lung function are used by most studies that have evaluated the relationship between their level of development and the child's physical activity. The effect of physical activity on the development of lung function was recorded mainly in the pubertal and prepubertal periods. The health condition of the child is also limiting for the proper development of lung functions. Different values compared to healthy individuals occur, for example, in individuals with cystic fibrosis or asthma.

### **Key words:**

Vital capacity of the lungs; spirometry; physical activity

## Obsah

1. Úvod.....	1
2. Fyziologie dýchání.....	2
2.1. Horní a dolní dýchací cesty .....	2
2.1.1. Horní dýchací cesty.....	2
2.1.2. Dolní dýchací cesty .....	3
2.1.3. Plíce .....	4
3. Vývoj plic .....	6
3.1. Prenatální vývojová období plic.....	6
3.2. Postnatální vývojová období plic .....	7
4. Parametry plicních funkcí.....	11
4.1. Statické plicní parametry .....	12
4.2. Dynamické plicní parametry .....	13
5. Klinický význam parametrů plicních funkcí.....	15
6. Vývoj plicních funkcí.....	17
7. Faktory ovlivňující plicní kapacitu .....	20
7.1. Prenatální faktory .....	20
7.2. Postnatální faktory.....	21
7.2.1. Fyzická aktivita .....	21
7.2.2. Cílená fyzická aktivita – sport.....	24
7.2.3. Patologie.....	25
8. Sekulární změny plicních funkcí.....	29
9. Závěr.....	31
10. Literární zdroje.....	33
11. Internetové zdroje.....	40

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Větvení dolních dýchacích cest.....	5
Obrázek 2: Schéma stěny plicního sklípku (alveolu).....	6
Obrázek 3: Detailní schéma struktury koncové části plic před a po narození jedince.....	9
Obrázek 4: Schéma plicních objemů a kapacit.....	14
Obrázek 5: Schéma dynamických plicních parametrů.....	15
Obrázek 6: Změna proporcionality plicního objemu a kapacit se zhoršujícím se astmatem....	28

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Použité parametry plicních funkcí.....	12
Tabulka 2: Úspěšnost měření plicních funkcí u zdravých a nemocných dětí.....	16
Tabulka 3: Trendy ve změnách hodnot plicních funkcí u předškolních dětí.....	19

## Seznam zkratek

BDT	bronchodilatační test ( <i>bronchodilator test</i> )
BMI	index tělesné hmotnosti
CF	cystická fibróza
ERV	expirační rezervní objem ( <i>expiratory reserve volume</i> )
FA	fyzická aktivita
FEF <sub>25-75</sub>	střední výdechová rychlost ( <i>forced expiratory flows</i> )
FEV <sub>0,5</sub>	usilovný výdech vitální kapacity za první půl sekundu ( <i>forced expiratory volume in 0,5 second</i> )
FEV <sub>0,5</sub> /FVC	poměr usilovného výdechu vitální kapacity plic za první půl sekundu a usilovného výdechu vitální kapacity
FEV <sub>0,75</sub>	usilovný výdech vitální kapacity za první třičtvrtě sekundu ( <i>forced expiratory volume in 0,75 sec</i> )
FEV <sub>0,75</sub> /FVC	poměr usilovného výdechu vitální kapacity plic za první 0,75 sekundu a usilovného výdechu vitální kapacity
FEV <sub>1</sub>	usilovný výdech vitální kapacity za první sekundu ( <i>forced expiratory volume in 1 sec</i> )
FEV <sub>1</sub> /FVC	Tiffeneauův index ( <i>Tiffeneau-pinelli index</i> )
FEV <sub>1</sub> /SVC	poměr usilovného výdechu vitální kapacity za první sekundu a pomalé vitální kapacity
FEV <sub>t</sub>	usilovný výdech vitální kapacity během t sekundy ( <i>forced expiratory volume in t second</i> )
FRC	funkční reziduální kapacita ( <i>functional residual capacity</i> )
FVC	usilovný výdech vitální kapacity ( <i>forced vital capacity</i> )
g.t.	gestační týden
HFEV <sub>1</sub>	normální hodnota usilovného výdechu vitální kapacity za 1. sekundu ( <i>high forced expiratory volume in 1 second</i> )
IRV	inspirační rezervní objem ( <i>inspiratory reserve volume</i> )
IVC	inspirační vitální kapacita ( <i>inspiratory vital capacity</i> )
IVC	inspirační vitální kapacita ( <i>inspiratory vital capacity</i> )
LFEV <sub>1</sub>	snížená hodnota usilovného výdechu vitální kapacity za 1. sekundu ( <i>low forced expiratory volume in 1 second</i> )
LLN	dolní limit normy
mm.	svaly ( <i>musculi</i> )
PF	plicní funkce
RV	reziduální objem ( <i>residual volume</i> )
SVC	pomalá vitální kapacita ( <i>slow vital capacity</i> )
TLC	celková plicní kapacita ( <i>total lung capacity</i> )
VA	alveolární objem ( <i>alveolar volume</i> )
VC	vitální kapacita ( <i>vital capacity</i> )
V <sub>T</sub>	dechový objem ( <i>tidal volume</i> )

# 1. Úvod

V posledních několika letech mnoho dětí vlastní mobilní telefon a ve většině domácností se vyskytuje televize, počítač nebo tablet. Využívání sociálních sítí, hraní her a sledování televize je čím dál více běžnou součástí života téměř každého dítěte, nejen ve volném čase. Množství času strávené s elektronickým zařízením však velmi výrazně redukuje intenzitu pohybové aktivity dítěte, která je limitujícím faktorem jeho správného růstu a vývoje.

V České republice 81,5 % dětí ve věku 11-15 let nespĺňuje denní množství fyzické aktivity, které je doporučené Světovou zdravotnickou organizací (Kalman, 2020). Je známo, že nedostatek fyzické aktivity může mít negativní vliv na tělesný vývoj jedince, zejména, pokud jde o skeletární struktury, neboť jejich morfologický a funkční vývoj je na pohybu závislý. Negativně tak může být ovlivněna např. stavba páteře a tím držení těla, nožní klenba a tím postavení dolních končetin ve velkých kloubech a také růst a formování tvaru hrudníku a tím např. respirační funkce a plicní kapacita.

Plicní funkce samy o sobě mohou být považovány za marker celkového zdravotního stavu a mohou také odrážet úroveň tělesné zdatnosti. Z hlediska zdravé budoucnosti dětí a mladistvých je důležité detailně prozkoumat, zda a případně jaký vliv má fyzická aktivita na vývoj plicních funkcí jedince. V tomto ohledu je např. známo, že nízké hodnoty plicních funkcí v rané dospělosti jsou spojeny s častějším výskytem abnormalit týkajících se respiračního a kardiovaskulárního systému, u jedinců se také vyskytuje větší míra předčasného úmrtí (Augustí et al., 2017). Detailní zjištění vlivu fyzické aktivity na vývoj plicních funkcí mohou být následně integrována do života dětí tak, aby od útlého do pozdního věku mohly těžit z pozitivního vlivu fyzické aktivity na jejich vývoj a zdravotní stav.

Tato bakalářská práce se zabývá popisem anatomie respiračního systému a vývojem plic v průběhu prenatalní i postnatalní ontogeneze. Hlavním úkolem je zmapovat, které parametry plicních funkcí a jaké metody jejich sledování jsou nejvhodnější pro praktické sledování respiračních markerů v dětském věku, se zaměřením na předškolní období, kdy hrudník prochází nejintenzivnější periodou diferencovaného růstu. Stěžejní částí této práce je literární rešerše vlivu fyzické aktivity na vývoj plicních funkcí. Míra vlivu je závislá na mnoha faktorech. Roli hraje jednak intenzita a četnost vykonávané aktivity, tak také např. vývojové období, kdy je jedinec aktivní, či jeho zdravotní stav s ohledem na respirační patologie.

## 2. Fyziologie dýchání

Hlavním úkolem dýchacích cest během dýchání je transport a výměna plynů, především kyslíku a oxidu uhličitého, mezi okolním prostředím, krví a tkáněmi (Petrovický, 2001; Dylevský, 2017). Dýchání je zajištěno nádechem (*inspirace*) a výdechem (*expirace*) (Dylevský, 2017).

Hlavním svalem, který se účastní dýchání, je bránice (*diaphragma*). U novorozenců se vyskytuje jako jediný dýchací sval. U starších jedinců pak s dýcháním pomáhají i další svaly. O klidný výdech se stará přirozený proces relaxace inspiračních svalů, při kterém dochází k samovolnému uvolnění vzduchu. V případě, že je výdech dějem aktivním, dojde k zapojení vnitřních mezižebních svalů (*mm. intercostales interni*) anebo pomocných dýchacích svalů, např. svalů břišní stěny (Rokyta et al., 2015).

Součástí dýchacího cyklu je plicní ventilace (dýchání), díky které je vzduch dopraven z vnějšího prostředí do plic. V plicích poté dochází k difuzi plynu, tedy k výměně O<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub> mezi plicními váčky a kapilárami. Následně dochází k transportu plynu pomocí krevního řečiště do tkání. Vzhledem k tomu, že krev nepatří mezi komponenty dýchacího systému, na celém procesu výměny plynů se podílí vedle dýchacího systému i systém oběhový (Dylevský, 2017).

### 2.1. Horní a dolní dýchacích cesty

#### 2.1.1. Horní dýchací cesty

Dětské horní cesty dýchací jsou tvořeny zevním nosem, dutinou nosní, párovými dutinami paranazálními (*sinus paranasales*) a hltanem. K horním cestám dýchacím je možné řadit i dutinu ústní (Dylevský, 2017).

Zevní nos (*nasus externus*) je u novorozenců široký, krátký a zploštělý. K formování jeho tvaru dochází během celého dětství, přičemž finální podoba se ustaluje v průběhu dospívání. Nosní otvory (*nares*) jsou u novorozenců kruhového tvaru, s rostoucím věkem se postupně ovalizují (Čihák, 2013; Dylevský, 2017). Dutina nosní (*cavitas nasi*) má za úkol ohřátí a zvlhčení vzduchu a odstranění nečistot, je rozdělena nosní přepážkou (*septum nasi*) na dvě části. Sliznice, která vystýlá dutinu nosní, se dělí na čichový (*regio olfactoria*) a dýchací (*regio respiratoria*) okrsek, přičemž sliznice čichového okrsku produkuje hlen (Dylevský, 2017). Do dutiny nosní ústí paranazální dutiny (*sinus paranasales*). V zadní části ústí dutina nosní skrze zadní nozdry (*choanae*) do nosohltanu (Petrovický, 2001). Základ vedlejší dutiny nosní (*sinus paranasales*) tvoří malé výklenky, které vznikají během třetího měsíce prenatalního vývoje a až



do doby narození se nemění. Během postnatálního vývoje dítěte následně dochází k jejich vývoji a změně tvaru i velikosti (Dylevský, 2017). V dospělosti jsou to asymetrické párové dutiny umístěné v kostech, jež ústí úzkými otvory do dutiny nosní (Petrovický, 2001).

Hltan (*pharynx*) je společným orgánem trávicí a dýchací soustavy. Dělí se na 3 části, kterými jsou nosohltan (*pars nasalis pharyngis*), do něhož ústí sluchové trubice, ústní část hltanu (*pars oralis pharyngis*) a hrtanová část (*pars laryngea pharyngis*), která je ohraničena hrtanovou příklopkou (*epiglottis*) (Petrovický, 2001).

### **2.1.2. Dolní dýchací cesty**

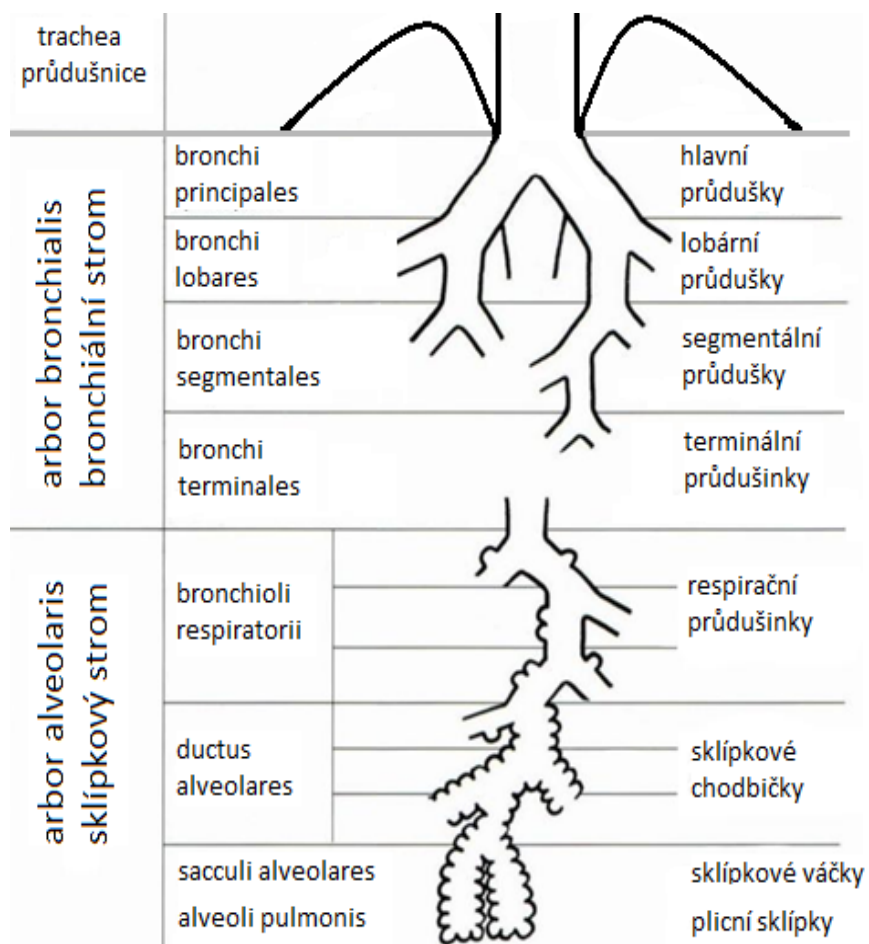
Dolní cesty dýchací slouží jako spojnice mezi horními cestami dýchacími a dýchacími odstavci plic. Jsou tvořeny hrtanem, průdušnicí a průduškami. Tyto tři komponenty dolních cest dýchacích vznikají z laryngotracheální výchlípky předního střeva od čtvrtého týdne nitroděložního vývoje (Dylevský, 2017).

Hrtan (*larynx*) je nepárový dutý orgán, jehož hlavní význam spočívá ve zprostředkování přenosu plynů (dýchání) a tvorbě hlasu (fonace) (Petrovický, 2001). U novorozence je krátký a široký, roste poměrně pomalu a jeho růst akceleruje v období puberty (Dylevský, 2017). Hrtanová dutina (*cavitas laryngis*) je uprostřed zúžena dvěma páry řas, díky kterým je rozdělena do tří částí, jimiž jsou hrtanová předsíň (*vestibulum laryngis*), střední část hrtanu (*cavitas laryngis intermedia*) a dolní část hrtanu (*cavitas infaglottica*) (Petrovický, 2001). Horní hranici střední části hrtanu tvoří nepravé hlasivkové řasy (*plicae vestibulares*), spodní pak pravé hlasivkové řasy neboli hlasivky (*plicae vocales*). Hlasivky mezi sebou tvoří hlasivkovou štěrbinu (*rima glottidis*). Ta může zaujímat dvě postavení – při respiračním postavení proudí vzduch rozevřenou štěrbinou, řasy se tak nepohybují, při fonačním postavení je štěrbinu úzce stažená, napnutá a může tak docházet k tvorbě hlasu. Na dolní část hrtanu navazuje začátek průdušnice (*trachea*) (Petrovický, 2001; Dylevský, 2017).

Průdušnice novorozence měří okolo 4-5 cm a je zhruba třikrát kratší než u dospělého člověka. Vystlána je tenkým víceřadým epitelem s řasinkami, který v průběhu dospívání zesiluje (Dylevský, 2017). Průdušnice je bohatě prokrvená, pevnost a odolnost tlaku jí zajišťuje vyztužení 15-20 chrupavkami podkovovitého tvaru (*cartilagine tracheales*) (Petrovický, 2001; Dylevský, 2017). Rozdělením průdušnice (*bifurcatio tracheae*) dochází ke vzniku pravé a levé průdušky (*bronchus dexter et sinister*), které jsou vyztuženy chrupavkami (Petrovický, 2001). Průdušky jsou již součástí bronchiálního stromu (*arbor bronchialis*) (Dylevský, 2017).

### 2.1.3. Plíce

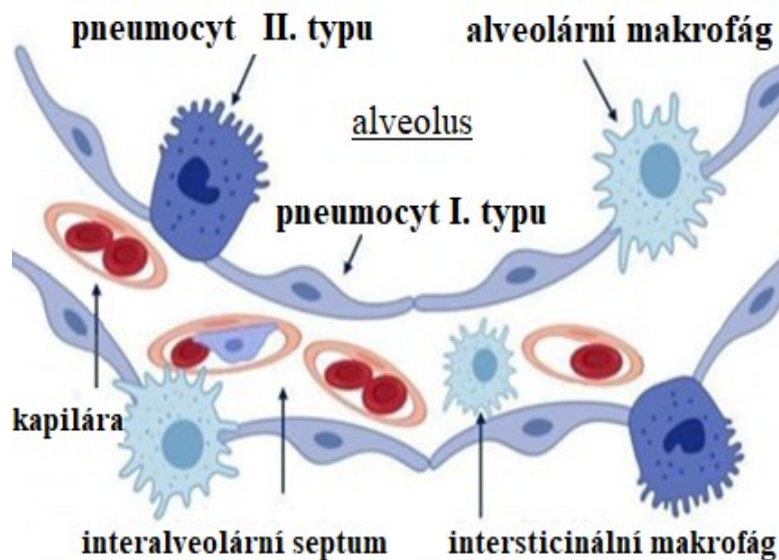
Plíce (*pulmo*) jsou párový orgán, který je umístěn v hrudní dutině (*cavum thoracis*). Při narození jsou dětské plíce narůžovělé a mají tvar jehlanu. V batolecím věku dochází k jejich postupné přeměně do tvaru komolého kužele (Dylevský, 2017). Pravá plíce je složena ze tří laloků (*lobi pulmonis*), levá je menší a je složena ze dvou (Petrovický, 2001). Jednotlivé plicní laloky se dále dělí na plicní segmenty, které představují základní strukturální jednotky plic. Spodní část plic (*basis pulmonis*) kopíruje svým uložením bránici (*diafragma*) a nasedá na ni (Dylevský, 2017).



**Obrázek 1.** Větvení dolních dýchacích cest. Upraveno podle (Naňka a Elišková, 2015).

Bronchiální strom začíná větvením hlavních průdušek (*bronchi principales*) na průdušky lobární (*bronchi lobares*) a segmentální (*bronchi segmentales*). Ty se dále dělí na terminální průdušinky (*bronchioli terminales*), které jsou posledním rozdělením bronchiálního stromu (Petrovický, 2001; Dylevský, 2017). Terminální průdušinky následně přechází do průdušinek respiračních (*bronchioli respiratorii*) (Dylevský, 2017), které jsou již součástí stromu sklípkového (*arbor alveolaris*) (Petrovický, 2017). Ze stěny respiračních průdušinek se vyklenují sklípkové

chodbičky (*ductus alveolares*), které se na konci rozšiřují v předsíň (*atrium*) a vyklenují se ve sklípkové, plicní neboli alveolární váčky (*sacculi alveolares*). Ze sklípkových váčků vystupují plicní sklípky neboli alveoly (*alveoli pulmonis*), jež zakončují sklípkový strom (Petrovický, 2001).



**Obrázek 2.** Schéma stěny plicního sklípku (alveolu). Upraveno podle (URL1).

Plicní sklípek neboli alveolus je dutinka polyedrického tvaru (Dylevský, 2017), která je z vnější strany obklopena několika plicními vlásečnicemi (Petrovický, 2001). Stěna alveolu je tvořena epitelíálními buňkami pneumocyty I. a II. typu. Podklad pneumocytů tvoří basální membrána a skelet z elastických a kolagenních vláken. Uvnitř alveolů či v jejich stěně se často nachází alveolární makrofágy. Mezi stěnami sousedních alveolů vzniká interalveolární septum, které obsahuje vrstvu kapilár a intersticiální makrofágy. Nachází se v něm alveolární póry, které vyrovnávají tlak a kterými cirkuluje vzduch (Petrovický, 2001; Čihák, 2013).

Pneumocyty I. typu jsou velice ploché buňky, které naléhají vedle sebe a tvoří tak souvislou tenkou vrstvu. Z 97 % tvoří stěnu alveolu a těsně přiléhají na kapiláry (Dylevský, 2017). Mezi pneumocyty I. typu jsou vsunuty pneumocyty II. typu. Tyto buňky mají sekreční úlohu. Produkují tenkou fosfolipidovou vrstvu na vnitřní stěně alveolu, tzv. surfaktant. Za úkol má především snižovat povrchové napětí alveolu (Petrovický, 2001; Dylevský, 2017), čímž zabraňuje jeho smrštění či přehnanému rozpínání (Coles a Fowler, 1964). Alveolární makrofágy ochraňují plicní sklípek před infekcí a likvidují např. prach nebo starý surfaktant. Do alveolů se makrofágy dostávají z interalveolárních sept (Petrovický, 2001; Čihák, 2013).

### **3. Vývoj plic**

Vývoj plic je možné rozdělit do 5 fází: embryonální, pseudoglandulární, kanalikulární, sakulární a alveolární (Joshi a Kotecha, 2007). V posledních několika letech se postupně prosazuje snaha o přidání šesté fáze, a to období mikrovaskulární maturace (Burri, 2006; Lewin a Hurtt, 2017). První čtyři fáze probíhají v prenatálním období, zatímco alveolární fáze a období mikrovaskulární maturace převážně v postnatálním. Alveolární období, které spadá do obou vývojových etap, tak rozdělujeme na klasické a pokračující (Burri, 2006; Joshi a Kotecha, 2007; Lewin a Hurtt, 2017).

Jednotlivá období vývoje plic se svým vymezením v některých studiích liší i o několik týdnů, případně se překrývají. V následujícím shrnutí bude použito časové vymezení podle Joshi a Kotecha (2007), kteří vycházejí ze studie Burri (2006) v tom, že ve své práci zahrnují do vývojových období i uvedené šesté období mikrovaskulární maturace.

#### **3.1. Prenatální vývojová období plic**

##### **Embryonální období**

Embryonální období trvá od oplodnění do 7. týdne těhotenství. Základem plic, který se objevuje ve 3.-4. týdnu prenatálního vývoje, je ventrálně orientovaná laryngotracheální výchlipka primárního střeva, z níž následně vzniká průdušnice. Průdušnice se na konci větví a vzniká tak pravá a levá průduška. Další větvení dává vzniknout průduškám lalokovým a segmentálním. Od počátku vývoje plic dochází současně také k vývoji cévního zásobení budoucí plicní tkáně (Joshi a Kotecha, 2007). Celý vývoj dýchacích cest je řízen mezenchymálně epiteliálními interakcemi (Dylevský, 2017).

##### **Pseudoglandulární období**

Pseudoglandulární období vývoje plic trvá od 7. do 17. týdne těhotenství (Joshi a Kotecha, 2007). V tomto období dochází k dalšímu větvení dýchacích cest, cévního zásobení a dochází také k diferenciaci hladké svaloviny a chrupavek stěn průdušek (Joshi a Kotecha, 2007; Lewin a Hurtt, 2017). Zhruba od 10. týdne jsou u plodu přítomné fetální dýchací pohyby (Lewin a Hurtt, 2017), které ovlivňují další vývoj plic (Wigglesworth a Desai, 1982). Na konci tohoto vývojového období je utvořeno zhruba 25 tisíc terminálních průdušinek. Respirační průdušinky nejsou ještě přítomné (Dylevský, 2017).

## **Kanalikulární období**

Kanalikulární období trvá od 17. do 27. týdne těhotenství. Prodlužováním terminálních průdušinek vznikají průdušinky respirační (Dylevský, 2017), následně pokračuje diferenciací tkáně až na primitivní alveoly. Jiné označení pro primitivní alveoly je: nezralé plicní sklípky (Joshi a Kotecha, 2007) terminální tenkostěnné váčky (Petrovický, 2001) nebo primární alveoly. V kanalikulárním vývojovém období dochází k formaci kapilární sítě okolo primárních alveolů (Dylevský, 2017). Od 24. týdne dochází k produkci surfaktantu (Joshi a Kotecha, 2007).

## **Sakulární období**

Sakulární období trvá od 28. do 36. týdne těhotenství. V tomto období je téměř dokončeno hlavní větvení dýchacích cest, a dochází tak převážně ke zvětšování povrchu plic v periferních oblastech (Joshi a Kotecha, 2007), kde dochází k tvorbě dalších primitivních alveolů, ty jsou obklopeny kapilární dvojitou vrstvou, syntetizují se elastická vlákna (Petrovický, 2001).

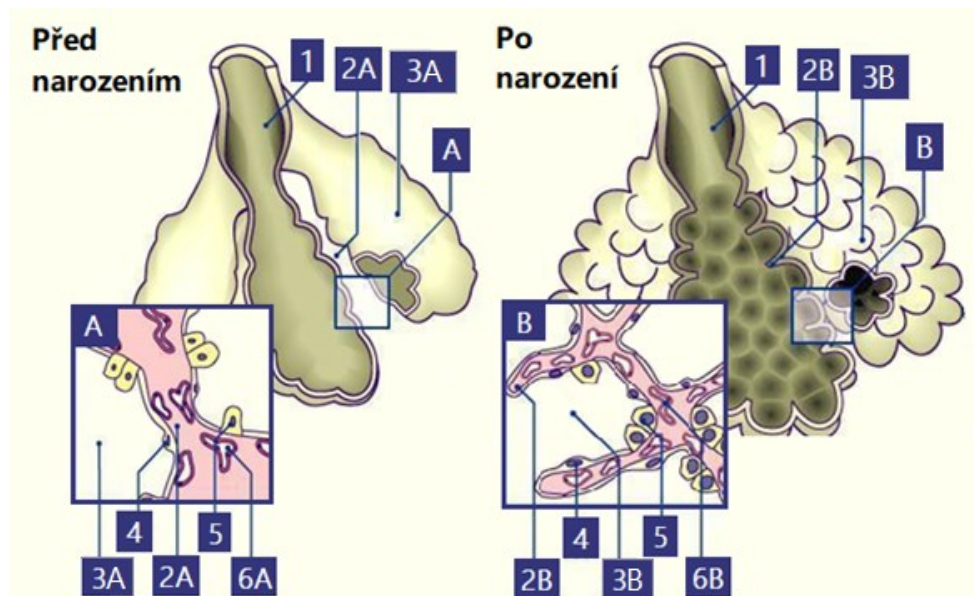
Plicní váčky mají na konci sakulárního období mezi sebou primární septa (přepážky) (Burri, 2006). Tato septa jsou ztloustlá (Schittny, 2018) a skládají se dvouvrstvé kapilární sítě. Jsou složena z elastických a kolagenních vláken a také z pojivové (intersticiální) tkáně (Burri, 2006), které se společně s prekurzory buněk hladké svaloviny seskupují v místech, která později poskytnou základ pro formování nových sekundárních sept (Schittny, 2017). Septace neboli tvorba sept (přepážek) je jeden ze základních procesů, které probíhají v tomto i následujícím vývojovém období. Septace zajišťuje, že jsou plíce více stabilní (Dylevský, 2017). Na konci tohoto období jsou přítomna primární septa a mohou se začít tvořit i septa sekundární (Schittny, 2017). Kromě toho, že dochází k septaci plicní tkáně, začíná v tomto období také tvorba plicní tekutiny (*liquor pulmonis*) (Dylevský, 2017).

## **3.2. Postnatální vývojová období plic**

### **Klasické alveolární období**

Klasické alveolární období plicního vývoje trvá od 36. gestačního týdne (Joshi a Kotecha, 2007) do dvou (Thurlbeck, 1982) nebo tří let (Schittny, 2018). Dle Dunnila (1962) ovšem toto období pokračuje až do věku osmi let. Díky narůstající velikosti alveolů (Hislop et al., 1986) a jejich počtu vzniká plocha plic, která je dostatečně velká pro realizování výměny plynů (Herring et al., 2014). Ta probíhá prostřednictvím bariéry krev-vzduch, strukturálně mezi alveolem a k němu přiléhající kapilární sítí (Dylevský, 2017).

Během klasické alveolarizace dochází ke vzniku sekundárních sept z již dříve přítomných primárních. Tato septa obsahují dvojitou kapilární síť, která je pro vznik sekundárních sept velmi důležitá. V místech, kde mají vzniknout nová, se sdružují buňky hladké svaloviny, elastická a kolagenní vlákna a dohromady tyto struktury tvoří základ septa nového. K tvorbě sept dochází na základě přeměny původní kapilární sítě, která se začne skládat a prodlužovat v septum nové. Nově vzniklé septum obsahuje opět dvouvrstevnou kapilární síť. Tímto procesem dochází k diferenciaci doposud vzniklých vzdušných prostorů na menší oddíly (Schittny, 2018).



**Obrázek 3.** Detailní schéma struktury koncové části plic před a po narození jedince.

Upraveno podle (URL2).

Obrázek 3. ukazuje porovnání struktury koncové části plic před a po narození jedince. Alveolární chodbička (1) se v období před narozením dělí na plicní váčky (3A). Stav plic před narozením a po něm má určité společné struktury, jimiž jsou pneumocyty I. typu (4) a pneumocyty II. typu (5). Naopak odlišnost mezi plícemi před a po narození je patrná v případě struktur 2AB, 3AB a 6AB. Na schématu A jsou přítomna primární septa (2A) a kapiláry, které formují dvouvrstevnou síť (6A). Na schématu B, dochází k dělení plicních váčků na menší jednotky, alveoly (3B), které oddělují sekundární septa (2B) a kapiláry formují jednovrstevnou síť (6B) (URL2).

## **Mikrovaskulární maturace**

Období mikrovaskulární maturace trvá od narození do období, které doposud není jasně definované, předpokládá se rozmezí trvání mezi 3–21 let (Schittny, 2018). Překrývá se částečně s klasickým i pokračujícím alveolárním obdobím, z čehož je zřejmé, že ke vzniku adekvátně fungující bariéry krev-vzduch, tedy ke správné výměně plynů, je potřeba souběžnost procesů mikrovaskulární maturace a alveolarizace (tvorba alveolů) (Schittny, 2017).

Během období mikrovaskulární maturace dochází k tomu, že membrány dvouvrstevné kapilární sítě fúzí, čímž vzniká kapilární síť složená pouze z jedné vrstvy (Schittny, 2018). Ta je obklopena pojivovou tkání (Burri, 2006). Hlavním cílem tohoto období je vytvoření co možná nejtenčí plochy pro výměnu dýchacích plynů (Dylevský, 2017).

## **Období pokračující alveolarizace**

Trvá kontinuálně od zhruba 2 let do 21. roku, probíhá tedy souběžně s mikrovaskulární maturací (Narayanan et al., 2012; Schittny, 2017; Schittny, 2018). Část nově vznikajících sekundárních sept vzniká ze sept již dříve zralých, která obsahují jednu vrstvu kapilární sítě. Základ nových sept zde tvoří stejné komponenty jako při klasické alveolarizaci, tedy buňky hladké svaloviny a elastická a kolagenní vlákna. Na protilehlé straně základu sept se tvoří díky procesu angiogeneze nové kapiláry. Základ nových sept se společně s nově vznikajícími kapilárami prodlužuje a vzniká zde opět dvojitá kapilární síť. Ta se krátce po svém vzniku redukuje na jednovrstevnou (Schittny, 2018).

## **Postnatální vývoj alveolů**

Exponenciální nárůst počtu alveolů se děje v prvních dvou letech života (Thurlbeck, 1982). Podle novějších studií Narayanan et al. (2012) a Herring et al. (2014) se předpokládá, že k dalšímu narůstání počtu alveolů, ovšem již ne tak markantnímu, dochází i v průběhu dětství od 2. roku dále až do raného dospělého věku. Z celkového počtu alveolů, který se v plicích dospělého jedince pohybuje v rozpětí 274-790 milionů (Ochs et al., 2004), se 50-85 % vytváří v postnatálním období (Hislop et al., 1986; Zeltner et al., 1987). Od 22 let ke zvyšování počtu alveolů nedochází (Zeman a Bennett, 2006).

Kromě nárůstu počtu alveolů dochází do zhruba 18 měsíců k velkému nárůstu plicního objemu díky zvětšování velikosti vzdušných prostor alveolů ve srovnání s pomalým růstem okolní pojivové tkáně v septech. Objem vzduchu, který se nachází ve vzdušných prostorech, se

nazývá alveolární objem (*alveolar volume*, VA). Představuje tak celkový objem plynu, který je k dispozici (Cotes et al., 2006). Mezi stádiem novorozence a ranou dospělostí dochází k až dvacetitřinásobnému zvětšení plicního objemu, ale jen šestinásobnému zvětšení pojivové tkáně (Zeltner et al., 1987). Povrch plic novorozeného jedince, jehož plocha se pohybuje v rozmezí 3-5 m<sup>2</sup>, představuje zhruba dvacetinu povrchu plic jedince dospělého (Hislop et al., 1986).

Při narození může být přítomno 24-174 milionů alveolů (Dunnill, 1962; Hislop et al., 1986). Ve studii Dunnill (1962) bylo u tříměsíčních jedinců zjištěno 73-86 milionů alveolů a u 1-2,5letých 130-160 milionů. Oproti tomu v novější studii Herring et al. (2014) bylo u tříměsíčních jedinců nalezeno okolo 200 milionů alveolů, ve věku 1-2,5 roku to bylo 430 milionů a u patnáctiletých jedinců až 480-580 milionů alveolů.



## 4. Parametry plicních funkcí

Cílem této kapitoly je představit přehled parametrů, díky kterým je mj. možné hodnotit plicní funkce u zdravých jedinců a tím sledovat jejich vývoj. Parametry, které budou dále v textu představeny, byly vybrány na základě frekvence jejich výskytu ve studiích, které se zabývaly převážně koncipováním referenčních rovnic pro spirometrii nebo porovnáváním validity rovnic. Studie zobrazené v Tabulce 1 byly vybrány na základě komparace ve studiích Beydon et al. (2007) pro věkovou kategorii 3-6 let, tyto studie byly doplněny o studii França et al. (2016) a Quanjer et al. (2012) pro věkovou kategorii 6-18 let. Posloupnost parametrů odpovídá jejich četnosti v uvedených studiích.

**Tabulka 1.** Použité parametry plicních funkcí, upraveno podle Beydon et al. (2007) a Quanjer et al. (2012)

Studie	Parametr									
	FEV <sub>1</sub>	FVC	FEV <sub>1</sub> /FVC	FEV <sub>0,75</sub>	FEV <sub>0,75</sub> /FVC	FEF <sub>25-75</sub>	FEV <sub>0,5</sub>	FEV <sub>0,5</sub> /FVC	SVC	FEV <sub>1</sub> /SVC
Studie zabývající se věkem 6–18 let										
Wang, 1993	•	•	•			•				
Quanjer et al., 2012*	•	•	•	•	•	•				
Polgar, 1979	•	•	•			•			•	•
Rosenthal et al., 1993	•	•	•							
Studie zabývající se věkem 3–6 či 7 let										
Eigen et al., 2001	•	•	•			•				
Vilozni et al., 2005	•	•	•			•	•			
Stanojevic, et al., 2009	•	•	•	•	•	•				
Zapletal a Chalupová, 2003	•	•	•							
França et al., 2016	•	•	•			•	•	•		
<b>Celkem použito</b>	9	9	9	2	2	7	2	1	1	1

\*Quanjer et al. (2012) referenční rovnice pro věk 3-95 let; FEV<sub>1</sub> – usilovný výdech vitální kapacity za první sekundu, FVC – usilovný výdech vitální kapacity, FEV<sub>1</sub>/FVC – Tiffeneauův index, FEV<sub>0,75</sub> – usilovný výdech vitální kapacity za první třičtvrtě sekundu, FEV<sub>0,75</sub>/FVC – poměr usilovného výdechu vitální kapacity plic za první třičtvrtě sekundu a usilovného výdechu vitální kapacity, FEF<sub>25-75</sub> – střední výdechová rychlost, FEV<sub>0,5</sub> – usilovný výdech vitální kapacity za první půl sekundu, FEV<sub>0,5</sub>/FVC – poměr usilovného výdechu vitální kapacity plic za první půl sekundu a usilovného výdechu vitální kapacity, SVC – pomalá vitální kapacita, FEV<sub>1</sub>/SVC – poměr usilovného výdechu vitální kapacity za první sekundu a pomalé vitální kapacity

Nejčastěji bývají k hodnocení plicních funkcí používány následující parametry: usilovná vitální kapacita (*forced vital capacity, FVC*), usilovný výdech vitální kapacity během první sekundy (*forced expiratory volume in 1 second, FEV<sub>1</sub>*) a Tiffeneauův index (*Tiffeneau-Pinelli index, FEV<sub>1</sub>/FVC*). V menším počtu pak střední výdechová rychlost (*forced expiratory flows, FEF<sub>25-75</sub>*). Ačkoliv usilovný výdech vitální kapacity během první třičtvrtě (*forced expiratory volume in 0,75 second, FEV<sub>0,75</sub>*) a půl sekundy (*forced expiratory volume in 0,5 second, FEV<sub>0,5</sub>*) nedosáhl vysokého počtu použití, zejména z důvodu stáří některých studií, budou dále zmíněny u dětí do věku tří let.

Parametry plicních funkcí je možné rozdělit na statické a dynamické. V případě statických plicních parametrů dochází k zaznamenání objemu vzduchu, není zde měřen jeho průtok, nezávisí na síle vydechovaného vzduchu ani na čase. V případě dynamických plicních parametrů sledujeme jejich závislost na čase. Měřit můžeme objem nebo průtok. Výsledný objem je vyjádřen křivkou objem/čas, průtok smyčkou objem/průtok (Kociánová, 2017). K měření těchto parametrů se běžně využívá spirometrie. Tato metoda je velice citlivá a zároveň neinvazivní; měření se provádí pomocí spirometru (Moore, 2012).

#### **4.1. Statické plicní parametry**

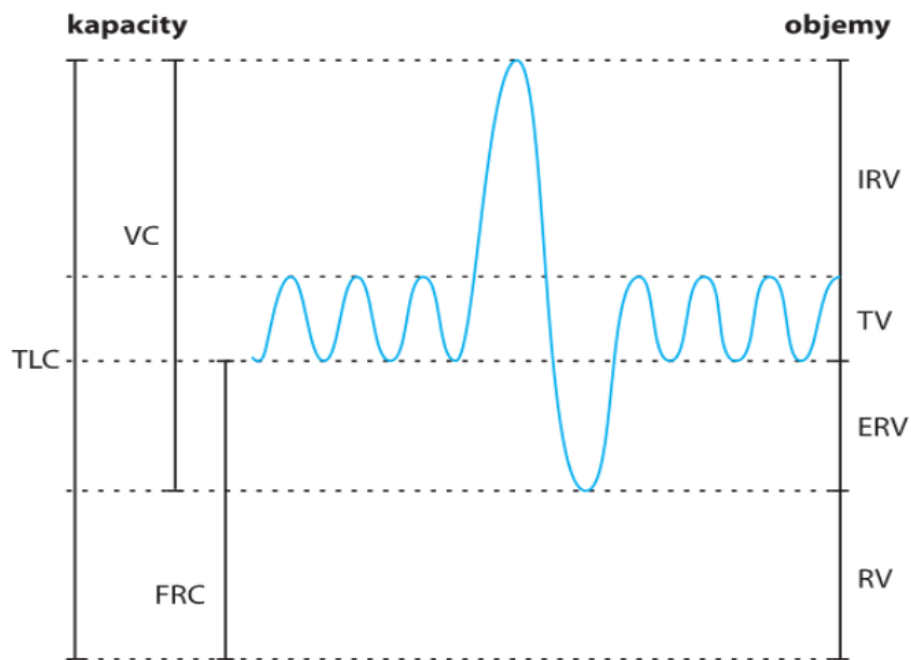
**Vitální kapacita** (*vital capacity, VC*) – představuje objem vzduchu, který je možné v plicích vyměnit v případě, že jedinec provede maximální možný nádech a následně maximální možný výdech. Skládá se z dílčích statických plicních objemů (Quanjer et al., 1993):

**Dechový objem** (*tidal volume, V<sub>T</sub>*) – představuje objem vzduchu, jenž může jedinec vydechnout a nadechnout během klidného dechového cyklu (Quanjer et al., 1993).

**Expirační a inspirační rezervní objem** (*expiratory reserve volume, ERV; inspiratory reserve volume; IRV*) – představují objemy vzduchu, které mohou být vydechnuty (*expirace*) či nadechnuty (*inspirace*) nad rámec dechového cyklu, který probíhá prostřednictvím dechového objemu (Quanjer et al., 1993).

Vitální kapacita má tři úzce spjaté varianty, které se liší metodou jejich měření. Jak jsme viděli v Tabulce 1, u dětí se v rámci vitální kapacity plic velmi často měří, kromě jednoho případu měření SVC, pouze usilovná vitální kapacita (FVC). Dalšími variantami měření jsou pomalá vitální kapacita (*slow vital capacity, SVC*) a inspirační vitální kapacita (*inspiratory vital capacity, IVC*)

(Chhabra, 1998; Levy et al., 2009). Pomalá vitální kapacita (SVC) představuje objem vzduchu, který je možné nenuceně vydechnout po maximálním nádechu. Vzduch se vydechuje, pokud možno klidným neměnným tempem (Levy et al., 2009). Výše zmíněný parametr IVC ani další existující parametry plicních funkcí nejsou pro tuto práci stěžejní, a proto nebudou dále rozebírány ani definovány. Jelikož má usilovná vitální kapacita (FVC) dynamickou povahu, popis tohoto parametru bude uveden v další podkapitole.



**Obrázek 4.** Schéma plicních objemů a kapacit. Převzato od (Rokyta, 2015).

VC – vitální kapacita plic, TLC – celková plicní kapacita, FRC – funkční reziduální kapacita,  
 IRV – inspirační rezervní objem, TV – dechový objem, ERV – expirační rezervní objem,  
 RV – reziduální objem

## 4.2. Dynamické plicní parametry

**Usilovná vitální kapacita (FVC)** je maximální objem vzduchu, který je vydechnut co nejprudčeji po maximálním nádechu (Levy et al., 2009). Jinými slovy je to měření vitální kapacity (VC), které je provedeno velice prudkým výdechem (Miller, 2005).

**Usilovný výdech vitální kapacity během  $t$  sekundy ( $FEV_t$ )** je objem vzduchu, který je vydechnut během specifikovaného času  $t$  v průběhu výdechu při měření usilovné vitální kapacity (FVC) (Miller, 2005).

$FEV_1$  – objem vzduchu vydechnutý maximálním úsilím za první sekundu

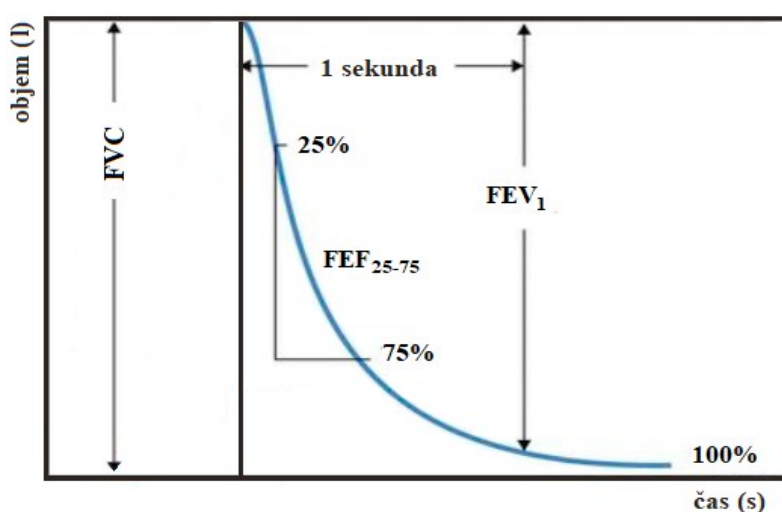
$FEV_{0,5}$  – objem vzduchu vydechnutý maximálním úsilím za první půl sekundu

$FEV_{0,75}$  – objem vzduchu vydechnutý maximálním úsilím za první třičtvrtě sekundu

(Nève et al., 2016)

**Tiffeneauův index** ( $FEV_1/VC$ ) je poměr jednosekundové usilovné kapacity ku jedné z možných variant měření vitální kapacity plic: IVC, SVC nebo FVC. Udává se v procentech a využívá se zejména za účelem odhalení plicních obstrukcí (Levy et al., 2009).

**Střední výdechová rychlost** ( $FEF_{25-75}$ ) je střední výdechový tok mezi 25-75 % vydechnutého objemu usilovné vitální kapacity (Miller, 2005).



**Obrázek 5.** Schéma dynamických plicních parametrů. Upraveno podle (URL3).

FVC – usilovná vitální kapacita,  $FEF_{25-75}$  střední výdechová rychlost,  $FEV_1$  – usilovný výdech vitální kapacity za první půl sekundu

Usilovná vitální kapacita (FVC) se odvíjí od velikosti objemu plic jedince, přičemž ten závisí na počtu a velikosti alveolů. Ovlivňuje ji také síla dýchacích svalů a tvar či tuhost hrudníku (Piccioni et al., 2015). Velikostí objemu plic jsou rovněž ovlivněny veškeré parametry založené na FVC, např.  $FEV_1$  (Mortola, 1983; Hancox a Rasmussen, 2018). Parametr  $FEV_1$ , jež hovoří o průtoku vzduchu, je mj. ovlivněn také odporem dýchacích cest a elasticitou plic (Piccioni et al., 2015). Poměr těchto hodnot, tedy Tiffeneauův index, jakož i  $FEV_{0,5}/FVC$  a  $FEV_{0,75}/FVC$  vypovídají také o průtoku vzduchu plícemi (Mortola, 1983; Hancox a Rasmussen, 2018). Střední výdechová rychlost  $FEF_{25-75}$  je oproti parametru  $FEV_1$  méně závislá na úsilí (Piccioni et al., 2015).

## 5. Klinický význam parametrů plicních funkcí

Měření parametrů plicních funkcí u dětí má oproti jejich měření u dospělých svá specifika. V dřívější době bylo možné spirometricky vyšetřovat děti předškolního věku jen s určitými omezeními, a proto se vyšetřovali spíše jedinci od věku 6 let. V posledních třech dekadách ale došlo v této věci ke znatelnému pokroku. Dnes mohou spirometrická vyšetření úspěšně absolvovat i mladší děti (Crenesse et al., 2001; Aurora et al., 2004).

**Tabulka 2.** Úspěšnost měření plicních funkcí u zdravých a nemocných dětí. Zdroj: vlastní zpracování.

Zdravotní stav	Věk (let)	3	4	5	6	Parametry
	Studie	Úspěšnost měření				
zdravý	Zapletal a Chalupová, 2003	40 %			–	FEV <sub>1</sub>
		62 %				
zdravý	Eigen et al., 2001	82,6 %				FEV <sub>1</sub>
zdravý	França et al., 2016	–	79 %	85 %	95 %	FEV <sub>0,5</sub> ; FEV <sub>1</sub>
zdravý	Nystad et al., 2002	51 %	69 %	76 %	78 %	FEV <sub>0,5</sub> ; FEV <sub>1</sub>
zdravý	Vilozni et al., 2005	62 %	69 %	75 %	78 %	FEV <sub>0,5</sub> ; FEV <sub>1</sub>
astma	Vilozni et al., 2005	65 %	75 %	82 %	88 %	FEV <sub>0,5</sub> ; FEV <sub>1</sub>
CF a zdravý	Aurora et al., 2004	78 %				FEV <sub>0,5</sub>
		58 %				FEV <sub>1</sub>
chronický kašel a astma	Crenesse et al., 2001	55 %			–	FEV <sub>1</sub>

FEV<sub>1</sub> – usilovný výdech vitální kapacity za první sekundu, FEV<sub>0,5</sub> – usilovný výdech vitální kapacity za první půl sekundu,

Z Tabulky 2 vyplývá, že schopnost dětí vykonat akceptovatelná měření stoupá s věkem. U starších studií (Eigen et al., 2001; Nystad et al., 2002; Zapletal a Chalupová, 2003) je používáno měření hodnoty FEV<sub>1</sub>. Později bylo kriticky zhodnoceno, že ne všechny děti předškolního věku jsou schopny usilovného výdechu po dobu jedné sekundy (Aurora et al., 2004). Tuto skutečnost velice dobře mapuje studie Zapletal a Chalupová (2003). V případě, že byla sledována skupina 3-6 let, úspěšnost byla 62 %, naproti tomu sledování skupiny 3-5 let přineslo úspěšnost měření pouhých 40 %. Z tabulky dále vyplývá, a to na základě studie Aurora et al. (2004), že použití parametru FEV<sub>0,5</sub> má vyšší úspěšnost měření.

Ve studii Eigen et al. (2001) je úspěšnost měření hodnocena v rámci širšího věkového spektra, v důsledku čehož není podána přesná informace např. o úspěšnosti u tříletých dětí. Vzhledem ke stylu provedení výzkumu či způsobu prezentace výsledků není možné ve studiích

Nystad et al. (2002), Vilozni et al. (2005) a França et al. (2016) určit úspěšnost měření u jednotlivých parametrů, neboť výsledky byly prezentovány souhrnně.

V případě hodnocení plicních funkcí u jedinců s respiračními patologiemi je zřejmá vhodnost použití parametrů, které potřebují kratší výdechový čas, jako je např. FEV<sub>0,5</sub>. Vhodnost výběru tohoto parametru je dobře demonstrována studií Aurora et al. (2004), která hodnotí zdravé a nemocné děti společně, přičemž u tohoto smíšeného vzorku náleží vyšší úspěšnost měření parametru FEV<sub>0,5</sub> oproti druhému sledovanému parametru FEV<sub>1</sub>.

Tabulka 1 dokládá, že ve starších studiích (r. 2001 a r. 2003) zabývajících se dětmi v předškolním věku je parametr FEV<sub>1</sub> v porovnání s FEV<sub>0,75</sub> či FEV<sub>0,5</sub> používaný výrazně častěji. Naopak studie, které pochází z roku 2009 nebo 2016, tyto parametry již používají běžně. Důvodem využití usilovného výdechu vitální kapacity za první sekundu (FEV<sub>1</sub>) může být, že navzdory horší proveditelnosti u mladších dětí je tento parametr vhodný pro zajištění srovnatelnosti naměřených dat s výstupy výzkumů, které se omezovaly právě na FEV<sub>1</sub>, např. studie staršího data, jak poukazuje Nève et al. (2016).

Nève et al. (2016) dále poukazuje na fakt, že FEV<sub>1</sub> může být u dětí v porovnání s alternativami méně přesný. Tím přispívá ke kritice užívání tohoto parametru u jedinců v dětském věku. Současná preference FEV<sub>0,75</sub> nebo FEV<sub>0,5</sub> pak může souviset také s tím, že diagnostická praxe u respiračních onemocnění se ve snaze o zachycení zdravotních problémů co nejdříve orientuje i na čím dál tím mladší jedince. V takovémto případě je však nutné přizpůsobit se jiným podmínkám, které panují při práci s mladšími dětmi. Technickým pokrokem, jímž je např. zavedení spirometrických her (Nystad et al., 2002), se povedlo snížit, nikoliv však zcela eliminovat problematičnost výkonu spirometrických měření u mladších dětí.

Spirometrické vyšetření je primárně užíváno pro diagnostiku respiračních onemocnění a pro následný monitoring jejich průběhu (Jat, 2009; Moore, 2012). S využitím spirometrie se vyhodnocuje i účinnost nasazené léčby (Moore, 2012). Primární orientace spirometrie na medicínu samozřejmě nebrání jejímu využití v oblasti základního výzkumu zaměřeného na vývoj plic u člověka. Je ovšem důležité zvážit použití parametrů pro danou věkovou skupinu.

## 6. Vývoj plicních funkcí

Funkční diferenciaci plic a s tím související vývoj plicních funkcí (dále jen PF) je závislá na antropometrických parametrech jako jsou věk a pohlaví jedince, hmotnost a výška (Talaminos Barroso et al., 2018). Kromě těchto základních faktorů ovlivňuje vývoj plicních funkcí také například etnicita (Lum et al., 2015), životní prostředí a mnoho dalších faktorů z nichž některé budou dále zmíněny (Talaminos Barroso et al., 2018).

### Novorozenecké až batolecí období

PF je možné měřit již u novorozenců a kojenců. Měření se provádí např. pomocí rychlé torakoabdominální komprese (Feher et al., 1996). V novorozeneckém až batolecím období není zaznamenán rozdíl PF mezi pohlavími, je tedy možné použití jednotných referenčních rovnic pro chlapce i dívky (Jones et al., 2000; Eigen et al., 2001; França et al., 2016).

V prvních měsících života jedince jsou dýchací cesty nepoměrně větší v porovnání s velikostí (objemem) plic. Z tohoto důvodu mají novorozenci nejrychlejší vyprázdnění plic ze všech věkových kategorií. Kvůli kratšímu výdechovému času je v případě mladších dětí nutné využívat k hodnocení plicních funkcí výdech usilovné vitální kapacity během první půl sekundy ( $FEV_{0,5}$ ) (Tepper et al., 1999). S postupujícím růstem plicního objemu klesá výdechová rychlost (Jones et al., 2000).

Od kojeneckého období až do období předškolního věku rostou objemy plic relativně rychleji než velikost (průměr) dýchacích cest (Eigen et al., 2001). Tento jev, při kterém dochází k disproporcionálnímu (tedy nerovnoměrnému) růstu, např. mezi částmi jednoho orgánu, se nazývá dysanaptický růst (*dys* – nerovný; *anaptix* – růst) (Green et al., 1974). Nejmarkantnější dysanaptický růst respiračního systému byl zaznamenán během prvního roku života dítěte (Eigen et al., 2001). Během tohoto období dochází k největšímu nárůstu plicního objemu (Tepper et al., 1999; Jones et al., 2000).

U kojenců byla nalezena souvislost rozvoje PF s tělesnou délkou. Hodnoty usilovné vitální kapacity (FVC), usilovný výdech za první půl sekundu usilovné vitální kapacity ( $FEV_{0,5}$ ) a střední výdechový proud ( $FEF_{25-75}$ ) vzrůstají se zvyšující se délkou jedince (Jones et al., 2000). Poměr  $FEV_{0,5}/FVC$  klesá se zvyšující se délkou (Jones et al., 2000) a se stoupajícím věkem (Tepper et al., 1999).

## Předškolní období

Předškolní období je vymezené věkem mezi 3. a 6. až 7. rokem. Stejně jako v dřívějších vývojových obdobích, ani v tomto nebyl zaznamenán intersexuální rozdíl plicních funkcí, z tohoto důvodu je tedy i zde možné pro obě pohlaví využívat totožné referenční rovnice (Jones et al., 2000; Eigen et al., 2001; Zapletal a Chalupová, 2003; França et al., 2016).

**Tabulka 3.** Trendy ve změnách hodnot plicních funkcí u předškolních dětí.

Zdroj: vlastní zpracování.

Parametr	Zdroj	Vilozni et al. (2005)	Eigen et al. (2001)
	Faktor		
	narůstající věk	narůstající výška	
Usilovný výdech vitální kapacity během první sekundy (FEV <sub>1</sub> )		↑	↑
Usilovný výdech vitální kapacity (FVC)		↑	↑
Tiffeneauův index (FEV <sub>1</sub> /FVC)		↓	↓

↑ - zvyšování hodnoty parametru, ↓ - snižování hodnoty parametru

Uvedené trendy ve změnách hodnot měřených parametrů v novorozeneckém až batolecím období se objevují i u předškolních dětí, jak je zřejmé z tabulky 3. Usilovná vitální kapacita (FVC) i usilovný výdech vitální kapacity během první sekundy (FEV<sub>1</sub>) vzrůstají s věkem i výškou. Naopak Tiffeneauův index (FEV<sub>1</sub>/FVC) s věkem i výškou klesá. Quanjer et al. (2010) ve své studii zjistili, že ačkoliv obě hodnoty, jak FVC, tak FEV<sub>1</sub>, během dětství narůstají, nárůst hodnot FVC je intenzivnější. Rozdílem nárůstu obou uvedených parametrů dochází k poklesu poměru FEV<sub>1</sub>/FVC.

## Prepubertální období

Prepubertální období trvá od 6 či 7 let do nástupu puberty, což je v průměru do 10 let u dívek a do 12 let u chlapců. Během tohoto období dochází u chlapců i dívek k téměř lineárnímu nárůstu hodnot usilovné vitální kapacity (FVC) a usilovného výdechu vitální kapacity během první sekundy (FEV<sub>1</sub>). Prepubertální chlapci mají vyšší FVC a FEV<sub>1</sub> hodnoty než stejně staré dívky (Wang et al., 1993; Smith et al., 2015). Prepubertální dívky mají v tomto období vyšší hodnoty střední výdechové rychlosti (FEF<sub>25-75</sub>) než chlapci.

Z důvodu vyššího poklesu usilovné vitální kapacity (FVC) hodnota Tiffeneauova indexu (FEV<sub>1</sub>/FVC) u prepubertálních jedinců obou pohlaví klesá (Quanjer et al., 2010). Ze studie Wang et al. (1993) vyplývá, že dívky mají hodnotu Tiffeneauova indexu (FEV<sub>1</sub>/FVC) vyšší než chlapci. Během prepubertálního období mají chlapci větší rozměry plic než stejně staré dívky (Simon et al., 1972).



## Pubertální období

Pubertální období začíná v průměru v 10 letech u dívek a ve 12 letech u chlapců. U dívek s počátkem puberty nastupuje pubertální růstový spurt, vrcholu růstové rychlosti dosahují ve 12 letech. U chlapců nastupuje pubertální růstový spurt okolo 12. roku, vrcholu růstové rychlosti dosahují okolo 14. roku (Malina, 2020). Během pubertálního období dočasně přestává platit klesající tendence  $FEV_1/FVC$ , neboť na začátku pubertálního růstového spurtu dochází k rychlejšímu nárůstu  $FEV_1$  oproti nárůstu FVC (Wang et al., 1993; Quanjer et al., 2010).

Vzhledem k tomu, že růstový spurt začíná u dívek dříve než u chlapců, dívky ve věku 10-12 let mohou v hodnotách PF převyšovat stejně staré chlapce. V tomto období mají dívky na čas vyšší hodnoty parametru  $FEV_1$ . Během chlapeckého růstového spurtu však hodnoty FVC a  $FEV_1$  narůstají mnohem intenzivněji než u dívek, a proto je později překonávají. Vyšší hodnota střední výdechové rychlosti ( $FEF_{25-75}$ ) je u dívek přítomna do věku 14 let, kdy dosahuje svého maxima, kdežto u chlapců růst ve stejném věku i nadále pokračuje (Wang et al., 1993).

V průběhu dětství roste výška jedince intenzivněji na základě růstu dolních končetin než horní poloviny těla, dochází tak k dosažení menšího objemu plic, než jaký by bylo možné předpokládat na základě zvyšující se výšky postavy. Oproti tomu během pubertálního období dochází k urychlení růstu horní poloviny těla, a tak je naopak možné získat vyšší hodnoty PF, než jaké jsou pro danou výšku predikované. Z tohoto důvodu je při hodnocení PF nutné zohlednit pohlaví, věk a výšku jedince (Quanjer et al., 2010).

Podle studie DeGroot et al. (1988) mezi 11,5-18,5 lety došlo u dívek i chlapců k relativnímu nárůstu délky hrudníku vůči jeho šířce. U dívek ve věku 13-18 let nedocházelo k signifikantnímu nárůstu hrudníku do šířky, nárůst hrudníku do délky byl u nich nižší než u chlapců. Ve věku, kdy dívky dosahovaly finální dospělé výšky postavy a šířky hrudníku, docházelo u stejně starých chlapců k pokračování nárůstu hrudníku do délky. U dívek se ukončení nárůstu PF objevuje okolo 16. roku, přičemž po období začátku menarche narůstají PF již pouze mírně (Nève et al., 2002). U chlapců pokračuje rozvoj PF i dále po ukončení růstu (Wang et al., 1993).

Z důvodu změny proporcionality v růstu parametrů uvedených PF není vhodné používání průřezových studií a jednoduchých referenčních rovnic, chceme-li sledovat vývoj a růst plicních funkcí jedince během delšího časového úseku (DeGroot et al., 1988). Do rovnic je vhodné kromě věku a pohlaví zařadit další proměnné, jako jsou např. již zmíněná tělesná výška (DeGroot, 1988; Wang et al., 1993; Quanjer et al., 2010) nebo výška v sedě (Quanjer et al., 2010; Lum et al., 2015) nebo fáze puberty (Tribelsi et al., 2007).

## 7. Faktory ovlivňující plicní kapacitu

### 7.1. Prenatální faktory

Kapacita plic je ovlivněna vývojem dýchacího systému a také jeho stavbou. Mezi prenatální faktory, které mají vliv na růst plic patří velikost nitrohruďního prostoru (Kitterman, 1988; Greenough, 2000). Nedostatečný růst plic v důsledku omezení nitrohruďním prostorem může omezit i plicní objemy a z nich vycházející hodnoty plicních kapacit. Na velikost hrudního prostoru má vliv např. správný růst žeber, vývoj chrupavek hrudního koše či přítomnost kolagenu (Greenough, 2000). Ke správnému růstu plic je také potřeba přiměřené množství fetální plicní tekutiny a přítomnost dýchacích pohybů plodu (Kitterman, 1988; Joshi a Kotecha, 2007). Dýchací pohyby mohou být ovlivněny např. konzumací alkoholu či jiných drog matkou během těhotenství (Kotecha, 2000). Plicní tekutina obsahuje růstové faktory, bez kterých může dojít k omezení růstu plic a v konečném důsledku i ke vzniku vývojových vad (Silver et al., 1988).

Mezi další z prenatálních faktorů, které ovlivňují vývoj funkcí plic, patří zralost surfaktantového systému (Kitterman, 1988). Nedostatek surfaktantu, jeho snížené množství nebo jeho špatná funkce může způsobit kolaps alveolů, který znemožní udržení plicních objemů (Janota a Straňák, 2013). Dalším z faktorů může být gestační věk při narození; nižší gestační věk může představovat nebezpečí pro vznik trvale snížených hodnot některých plicních funkcí (Schultz et al., 2018). Děti narozené ve 28.-34. gestačním týdnu (g.t.) měly v 8-9 letech signifikantně nižší hodnoty plicních funkcí ( $FEV_1$ , FVC,  $FEF_{25-75}$ ,  $FEV_1/FVC$ ) než jedinci narození v 37. g.t. a starší. Děti narozené v 35.-36. g.t. neměly signifikantně odlišné hodnoty výše zmíněných plicních funkcí od jedinců narozených v termínu. Ve věku 14–17 let u dětí narozených ve 33.-34. g.t. nebyl zjištěn významný rozdíl v hodnotách  $FEV_1$  a FVC oproti dětem narozeným v termínu,  $FEF_{25-75}$  a  $FEV_1/FVC$  zůstalo i nadále sníženo (Kotecha et al., 2012).

Kromě gestačního věku při narození se mezi relevantní faktory řadí také porodní hmotnost (Rona et al., 1993; Schultz et al., 2018; He et al., 2020). U jedinců v rané dospělosti ve věku 18-22 let, kteří měli nižší porodní hmotnost, byl zaznamenán nižší výkon plic oproti jejich vrstevníkům s normální porodní hmotností. S každými 100 gramy, které má dítě při narození navíc, dochází ke znatelnému zvýšení výkonu plicních funkcí: v případě  $FEV_1$  je nárůst o 0,013 l, v případě FVC je nárůst o 0,015 l (Boezen et al., 2002).

Nižší hodnoty plicních funkcí u kojenců (Hanrahan et al., 1992) a starších dětí (Hollams et al., 2014) má na svědomí také kouření matek během těhotenství. Studie Cunningham et al. (1994) zjistila, že děti matek, které kouřily během těhotenství, měly nižší FEF<sub>25-75</sub> než děti, které nebyly kouření v prenatálním období vystaveny. Vzhledem k tomu, že jejich studie ukázala změnu převážně ve FEF<sub>25-75</sub>, autoři došli k názoru, že kouření během těhotenství má vliv především na průtok vzduchu dýchacími cestami než na samotné plicní objemy. Ve studii Thacher et al. (2018) děti vystavené kouření matek během těhotenství měly ve věku 16 let nižší hodnoty FVC. Vystavení jedince nikotinu během prenatálního období může mít vliv na maximální velikost plic, které budou jedinci schopni dosáhnout (McEvoy a Spindel, 2017).

## **7.2. Postnatální faktory**

### **7.2.1. Fyzická aktivita**

Fyzická aktivita u dětí a mladistvých má pozitivní vliv na celkový fyzický stav i duševní pohodu (World Health Organization, 2020). Je otázkou, jak působí na samotný vývoj plic a jejich funkci. Fyzickou aktivitu člověka je možné definovat jako jakýkoliv jím vykonávaný pohyb, přičemž takový pohyb je vždy spojený s energetickým výdejem. Cvičení je taková fyzická aktivita, která má za cíl zvýšit fyzickou zdatnost. Fyzická zdatnost je soubor určitých prvků, které člověku umožní vykonávání fyzické aktivity. Mezi ně patří např. síla a výdrž svalů, flexibilita těla, agilita a kardiorespirační zdatnost (Caspersen et al., 1985).

Již před dosažením 1. roku života je pro správný růst potřeba každodenní fyzická aktivita, přičemž s nabývajícím věkem objem aktivity, který je pro dítě optimální, stoupá (World Health Organization, 2019). U dětí nad 5 let by mělo být přítomno denně nejméně 60 minut střední až vysoce zatěžující aktivity (World Health Organization, 2020). Ke středně až vysoce zatěžující aktivitě patří např. rychlejší chůze, rychlejší jízda na kole, běh, aerobik, bruslení, různé kolektivní sporty a plavání na kratší vzdálenost. Mezi fyzickou aktivitu s vysokou zátěží pak patří usilovný běh i jízda na kole, příp. sportovní aktivity na závodní úrovni (Janošková et al., 2018).

České děti ve věku 11-15 let dosáhli doporučeného množství fyzické aktivity (dále jen FA) pouze v 15 % u dívek a 22 % u chlapců (Kalman, 2020). Přitom autoři studie zjistili, že FA u dětí klesala se stoupajícím věkem. Pokles FA se netýká pouze dětí a mladistvých, ale klesá globálně u všech věkových kategorií. Pohybovou aktivitu děti i dospělí nahrazují užíváním elektronických zařízení a časem stráveným na sociálních sítích (Puente-Maestu a Stringer, 2018).

Autoři studie Kalman (2019) zjišťovali, kolik českých dětí tráví extrémní množství času, v tomto případě 4 a více hodin denně, sledováním TV a videí, hraním her nebo užíváním sociálních sítí. Během všedních dní sledovalo televizi 19 % chlapců a 15 % dívek, hry hrál téměř každý čtvrtý chlapec, ale pouze 8,5 % dívek. Čtvrtina chlapců a 28 % dívek využívali sociální sítě. Uvedená studie uvádí výrazný nárůst těchto pasivních aktivit během víkendů. 27 % dívek sleduje televizi, 13 % se věnuje hraní her a 33 % dívek se věnuje sociálním sítím déle než 4 hodiny. V případě chlapců sleduje televizi 33 % jedinců, hry hraje 37 % a sociální sítě využívá 31 %. Podle studie Alonazi et al. (2021) chlapci, kteří byli závislí na užívání telefonu, měli nižší hodnotu FEV<sub>1</sub> než jejich vrstevníci, kteří na užívání telefonu závislí nebyli. Excesivní užívání telefonu mělo u závislých chlapců negativní vliv na jejich držení těla a tím na plicní funkce.

FA je pro člověka velice důležitá. Studie se však neshodují na tom, zda FA, fyzická zdatnost či cvičení mají u zdravých jedinců významný účinek na vývoj jejich plicních funkcí. Podle komparativní studie Cassim et al. (2019) jsou důkazy dlouhodobého účinku FA na vývoj plicních funkcí u dětí a dospívajících značně nejasné. Vyvození závěru, který by jednoznačně definoval pozitivní vliv na vývoj plicních funkcí u zdravých dětí, se setkává s mnoha překážkami.

Mezi hlavní překážky, které často znemožňují komparaci výsledků, patří rozdílnost v typu studie; velmi záleží na tom, zda se jedná o studie longitudinální nebo průřezové (da Silva et al., 2016; Roda et al., 2019; Smith et al., 2016), neboť např. průřezové studie nejsou vhodné k popisování delšího vývojového období (Twisk et al., 1998). Dalšími překážkami jsou způsoby měření zkoumaných prvků, ať už je to měření plicních funkcí (Smith et al., 2016) nebo měření fyzické aktivity či zdatnosti. Fyzická aktivita může být měřena buď přímo, např. pomocí akcelerometrů (Roda et al., 2019), nebo vyvozována z dat získaných pomocí dotazníků (Smith et al., 2016). Komparování jednotlivých studií může také komplikovat složení vzorku, především pokud jde o věk (da Silva et al., 2016), a také nezahrnutí některých intervenujících proměnných, např. hodnota BMI nebo fáze pubertálního vývoje (Roda et al., 2019).

Některé studie zjistily, že FA a výkon plicních funkcí nejsou ve vztahu pozitivní korelace, např. Eisenmann et al. (1999), Trabelsi et al. (2008) nebo Smith et al. (2016). Studií, které dokládají pozitivní vliv FA na vývoj plicních funkcí, je celkově více. Ani ty se ale neshodují ve všech aspektech, neboť pokud studie nalézají pozitivní korelaci mezi plicními funkcemi a FA, často se liší např. v tom, u jakého pohlaví či věkové kategorie se vliv na plicní funkce podle nich projevuje. V budoucnu bude velmi důležité soustředit se na poznání mechanismů souvislosti plicních funkcí a FA (Hancox a Rasmussen, 2018; Roda et al., 2019).

Studie da Silva et al. (2016) měřila na vzorku chlapců prostřednictvím dotazníkového šetření míru FA ve volném čase. Měření proběhlo v 11 a 15 letech. Chlapci, kteří byli aktivní pouze v 11 letech, měli vyšší přírůstky plicních funkcí v období mezi 15 a 18 lety než jejich neaktivní vrstevníci. Oproti tomu chlapci, kteří byli aktivní pouze v 15 letech neměli výrazné přírůstky oproti neaktivním vrstevníkům. Dále bylo ve studii zjištěno, že chlapci aktivní v obou obdobích, měli v navazujícím období mezi 15 a 18 lety větší přírůstky FEV<sub>1</sub> a FVC než jejich neaktivní vrstevníci i než jedinci, kteří byli aktivní pouze v 11 letech. FA, která začíná na počátku pubertálního období nebo těsně před ním, zvyšuje hodnoty plicních funkcí u dospívajících chlapců. Pro maximální nárůst plicních funkcí je důležitá aktivita v obou obdobích.

Další studie našly vztah mezi FA a plicními funkcemi pouze u dívek. Takovou studií je např. Menezes et al. (2012). Její autoři zjistili, že dívky, které byly aktivní ve svém volném čase mezi 11 a 15 lety, měly vyšší hodnoty FVC oproti dívkám, které v těchto letech aktivní nebyly. Dívky, které byly aktivní v 11 letech a v 15 letech neaktivní nebo v 11 letech neaktivní a v 15 letech aktivní, měly redukovanou hodnotu FEV<sub>1</sub>. Ve studii Ji et al. (2013) byla nalezena vyšší hodnota FVC u dívek, které byly mezi 9-11 lety v jednom či obou měření během 18ti měsíčního sledování aktivnější než jejich vrstevnice. Tempo růstu jejich plicních funkcí bylo vyšší než tempo růstu u neaktivních dívek. Ve studii Berntsen et al. (2008) byl nalezen nárůst hodnoty FEV<sub>1</sub> u dívek ve věku 9-10 let, které byly aktivní 4x a vícekrát týdně. Údaje o FA byly ve třech výše zmíněných studiích zjišťovány pomocí dotazníkového šetření. V případě studie Roda et al. (2019), v níž byla FA zaznamenávána s použitím akcelerometru, byla nalezena pozitivní korelace u dívek se střední nebo vysokou FA během 11-15 let s hodnotami plicních funkcí v 15 letech, přičemž jejich méně aktivní vrstevnice dosahovaly menšího nárůstu post-bronchodilatačních hodnot FEV<sub>1</sub> a FVC.

Na základě uvedených studií je možné říct, že u dětí, které vykonávají FA, dochází k většímu růstu plicních funkcí. Můžeme se domnívat, že u chlapců ve studiích Berntsen et al. (2008), Menezes et al. (2012), Ji et al. (2013) a Roda et al. (2019) nebyl zaznamenán vliv FA na vývoj plicních funkcí z důvodu hodnocené věkové skupiny a faktu, že dívky mají dřívější nástup růstového spurtu i vrcholu růstové rychlosti. U dívek je tak možné zaznamenat změnu plicních funkcí v nižším věku, než jak je tomu u chlapců (da Silva et al., 2016). Studie Berntsen et al. (2008) a Ji et al. (2013) se zabývaly dětmi ve věku mezi 9-10 a 9-11 lety. V tomto období zaznamenávají růst zejména dívky, a proto u nich byly zaznamenány změny plicních funkcí,

kdežto u chlapců v tomto období významné změny růstu zaznamenány nebyly. Puberta u chlapců nastupuje později, jejich věk nástupu však ve studiích hodnocen nebyl.

Kromě vlivu FA byl v některých studiích zkoumán také vliv fyzické zdatnosti na plicní funkce. Ve studii Twisk et al. (1998) nebyla zaznamenána souvislost mezi kardiopulmonální zdatností a plicními funkcemi. Proti této studii je možné postavit téměř o 20 let mladší studii Hancox a Rasmusenn (2018), v níž byl doložen pozitivní vztah fyzické zdatnosti a hodnot FVC a FEV<sub>1</sub>. Autoři došli k závěru, že pokud dochází ke zvyšování fyzické zdatnosti již od dětství, plicní funkce v rané dospělosti jak u žen, tak u mužů vykazují vyšší hodnoty; u mužů byl tento jev výraznější. Na základě zvýšené fyzické zdatnosti došlo u jedinců ke zvětšení plicních objemů.

Existují studie, které se zabývají vztahem sportovních aktivit a vývojem plicních funkcí. U elitních atletů ve věku 22 ± 4 roky byla nalezena nejsilnější pozitivní korelace mezi vývojem plicních funkcí a vytrvalostními sporty, mezi něž patří např. cyklistika, běh na dlouhou trať, plavání, veslování nebo triatlon (Lazovic et al., 2015).

## **7.2.2. Cílená fyzická aktivita – sport**

### **Plavání**

Plavání je jeden z vytrvalostních sportů, který u jedinců v rané dospělosti pozitivně koreloval s hodnotami plicních funkcí (Lazovic et al., 2015). Otázkou je, zda lze tuto souvislost najít i u jedinců mladších. V této práci je pro posouzení účinků plaveckého tréninku na plicní funkce dětí a dospívajících čerpáno z několika studií, které nejsou starší než 25 let.

Studie Courteix et al. (1997) se zabývá porovnáním prepubertálních dívek ve věku 9 let, které absolvovaly roční plavecký trénink, a stejně staré kontrolní skupiny. Před zahájením tréninku se hodnoty plicních funkcí obou skupin zásadně nelišily. Po jednom roce byl u plavecké skupiny zjištěn nárůst hodnot FEV<sub>1</sub>, VC a FVC, který byl vyšší oproti kontrolní skupině. O téměř 20 let mladší studie Bovard et al. (2018) měřila funkce před a po sedmiměsíčním období u dívek ve věku 12-13 let, z nichž jednu skupinu tvořily závodní plavkyně, druhá skupina byla kontrolní. Na počátku byl zaznamenán u skupin rozdíl v hodnotách plicních funkcí, avšak po absolvování sedmiměsíčního plaveckého tréninku rozdíl v nárůstu hodnot zaznamenán nebyl.

Ačkoliv jsou obě studie longitudinální, jejich výsledky jsou odlišné. Důvodem může být věk vybrané skupiny, dále pak také velikost sledovaného vzorku. V případě první studie jsou dívky devítileté a na počátku i konci studie stále v prepubertálním období. Ve druhé studii jsou dívky

již v období puberty, navíc pravděpodobně v různé fázi pubertálního spurtu, což ovlivňuje i dynamiku růstu plic.

Studie Courteix et al. (1997) a Bovard et al. (2018) se sice nezabývají jednoznačnou identifikací příčin naměřených skutečností, na dané téma ale nabízejí určité zajímavé hypotézy. Autoři první studie předkládají názor, že plavecký trénink může způsobit utlumení dysanaptického růstu plic a může zlepšit vodivost dýchacích cest. Ve druhé studii její autoři pak došli k názoru, že plavecký trénink nemá vliv na velikost a funkci plic během pubertálního období, dívky v experimentální skupině podle nich měly vyšší objemy plic již před zahájením studie.

## **Běh**

Ve studii Nourry et al. (2005) je zkoumán účinek vysoce intenzivního osmitýdenního běžeckého tréninku na prepubertální děti. Výsledkem bylo zvýšení FVC a FEV<sub>1</sub> oproti kontrolní skupině. Autoři zjistili, že intenzivní cvičení, které je vykonáváno pravidelně, vede ke stimulaci respiračních svalů, čímž dochází k jejich posílení. To může zvýšit hodnotu usilovného výdechu. Ke stejným závěrům dospěli i Akhade a Muniyappanavar (2014).

### **7.2.3. Patologie**

#### **Bronchiální astma**

Bronchiální astma patří mezi reverzibilní obstrukční plicní onemocnění (Moore, 2012). Charakterizováno je jako chronické zánětlivé onemocnění respiračního systému. Hlavní roli při zánětlivé reakci hrají buňky imunitního systému, které způsobují zánět. Ten se může projevat např. hvízdavým dýcháním (*wheezing*), kašlem (především v noci) nebo dušností. Vlivem zánětu v dýchacích cestách je omezen průtok vzduchu (obstrukce). K tomuto omezení dochází buďto bronchokonstrikcí, tj. přehnaným zúžením dýchacích cest při reakci na podnět (typicky alergen) v důsledku stažení hladkého svalstva (dochází k tzv. hyperreaktivitě) nebo tvorbou zvýšeného množství hlenu (National Asthma Education and Prevention Program, 2007).

K posouzení přítomnosti astmatu se užívá primárně zaznamenání dynamických plicních parametrů pomocí křivky průtok/objem a bronchodilatační test (BDT) (Teřl et al., 2015). V České republice trpí astmatem zhruba 10 % dětí ve věku 5-17 let, přičemž u chlapců je v tomto věku výskyt častější (Kratěnová et al., 2017). Astma je možné klasifikovat např. podle úrovně kontroly příznaků: úplně pod kontrolou, částečně pod kontrolou a pod nedostatečnou kontrolou

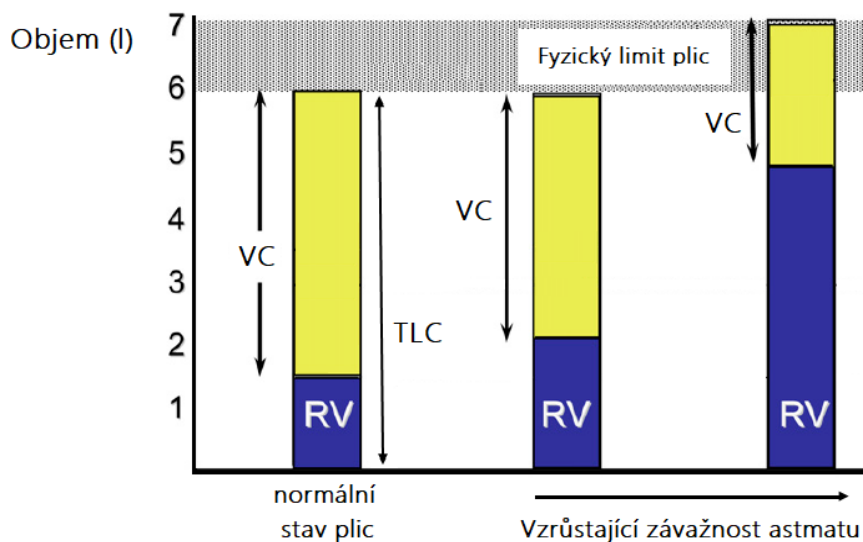
(Teřl et al., 2015). Naměřené hodnoty při spirometrickém vyšetření se dříve uváděly jako procento z předpokládané hodnoty, např. 80-120 %, kdy hodnota pod 80 % značí abnormalitu. V posledních několika letech se přistupuje k hodnocení hranice referenčních hodnot, která je určena dolním limitem normy (LLN). Určení dolního limitu normy lépe odráží přirozenou variabilitu plicních funkcí v populaci a je tedy v současné době upřednostňováno (Chlumský et al., 2019). Pro děti do 4 let nejsou výše zmíněné hodnoty dostupné, v tomto období se astma diagnostikuje primárně podle rodinné anamnézy (Beránková, 2011). U dětí nad 5 let jsou dostupná data pro oba typy hodnocení (URL4).

Diagnostika obstrukce dýchacích cest ve většinou provádí na základě měření parametrů  $FEV_1$  a  $FEV_1/FVC$  (Piccioni et al., 2015). Přesto existují i děti s diagnózou těžkého astmatu, jež jsou stabilizované a mají naměřené hodnoty  $FEV_1$  v normálním rozmezí (Comberiat et al., 2020). Dokonce i děti s příznaky pod nedostatečnou kontrolou mohou vykazovat normální hodnoty výše zmíněných parametrů (Piccioni et al., 2015). Ve studii Comberiat et al. (2020) měly těžce astmatické děti s normální hodnotou  $FEV_1$  ( $HFEV_1$ ) odlišné mechanické vlastnosti plic, např. elastický odpor plic a poddajnost plic, oproti dětem, které měly těžké astma a hodnotu  $FEV_1$  sníženou ( $LFEV_1$ ). Pro diagnostiku astmatu lze spolehlivěji použít parametr  $FEF_{25-75}$ , který je citlivější (Simon et al., 2010; Piccioni et al., 2015; Nève et al., 2016; Mishra et al., 2020;). Čím je závažnost astmatu vyšší, tím více se tento parametr snižuje. Při použití parametru  $FEF_{25-75}$  byl zaznamenán 4x vyšší záchyt onemocnění než s pomocí parametru  $FEV_1$  (Vilozni et al., 2016).

K odhalení astmatu se dále využívá bronchodilatační test (BDT). Podle studie Vilozni et al. (2016) byl bronchodilatační test v porovnání se samotným spirometrickým měřením v detekci onemocnění úspěšnější. Při bronchodilatačním testu je většinou po podání bronchodilatancia měřen parametr  $FEV_1$ . Bylo zjištěno, že pokud se měřil parametr  $FEF_{25-75}$ , došlo k dvojnásobně úspěšnějšímu záchytu astmatu (Rao et al., 2012; Mishra et al., 2020).

Astmatické dívky a chlapci mají podobné růstové přírůstky jako děti neastmatické, mohou mít ovšem nižší roční růstovou rychlost plicních funkcí (Strunk et al., 2006). U astmatických chlapců je v porovnání s astmatickými dívkami vyšší hodnota FVC, u astmatických dívek je nižší hodnota  $FEV_1$  (Weiss et al., 1992).





**Obrázek 6.** Změna proporcionality plicního objemu a kapacit se zhoršujícím se astmatem. Upraveno podle (Irvin a Bates, 2009).

VC – vitální kapacita, RV – reziduální objem, TLC – celková plicní kapacita

Z Obrázku 6 je zřejmé, že plíce astmatických jedinců mají oproti zdravému jedinci jiné rozložení plicních objemů a kapacit. Reziduální objem (*residual volume*, RV) představuje množství vzduchu, které není možné z plic vydechnout (Levy et al., 2009). Při astmatu je RV zvýšen na úkor vitální kapacity plic (VC). U jedinců s těžší formou astmatu dochází k tomu, že plíce se přirozeně snaží zvýšit svou celkovou kapacitu (*total lung capacity*, TLC) až na fyzické maximum, přičemž toto zvýšení je i nadále doprovázeno zvyšováním RV na úkor VC (Irvin a Bates, 2009).

## Cystická fibróza

Cystická fibróza (dále jen CF) je jedním z nejčastěji se vyskytujících dědičných onemocnění v bělošské populaci. Řadí se mezi autosomálně recesivní onemocnění, které se v ČR vyskytuje u 1 z 2800 narozených dětí (Eber a Midulla, 2013). Onemocnění zasahuje dýchací systém, slinivku a také další orgány. Postižení respiračního systému se řadí mezi nejzávažnější symptomy CF, úmrtnost je až 90 % (Jakubec, 2006).

Při narození se plíce novorozenců s CF mohou jevit zdravé, dochází u nich však k velice rychlé infekci patogenními organismy. Následně dochází k rozvinutí endobronchiální infekce, která může být způsobena několika různými druhy bakterií. Bakterie způsobují rozsáhlé záněty dýchacích cest, poškozují tkáň a snižují účinnost imunitního systému. Toto vše vede např. ke vzniku bronchiectázie a zadržování vzduchu v dýchacích cestách (Eber a Midulla, 2013).

V počátcích nemoci se vyskytují zejména gastrointestinální symptomy (Eber a Midulla, 2013), jako je např. špatné vstřebávání živin z důvodu pankreatické insuficience (Woestenenk, et al., 2014). Již několik týdnů po narození je možné v dýchacích cestách pozorovat strukturní změny. Následně se mohou, ale nemusí začít projevovat respirační symptomy (Hoo et al., 2012). Ve studii Hoo et al. (2012) až 92 % dětí nemělo do tří měsíců žádné respirační příznaky. Bylo ovšem prokázáno, že již u kojenců trpících CF se mohou vyskytovat snížené hodnoty plicních funkcí (Eber a Midulla, 2013). Ve studii Hoo et al. (2012) se u čtvrtiny dětí vyskytl do 3 měsíců usilovný výdech vitální kapacity během první půl sekundy ( $FEV_{0,5}$ ) a střední výdechový tok ( $FEF_{25-75}$ ) pod normálním rozmezím hodnot. Oproti tomu bylo ve studii Linnane et al. (2008) zjištěno, že plicní funkce se neodchylovaly od normality až do 6 měsíců věku. U dětí nad 6 měsíců věku se však objevily snížené hodnoty plicních funkcí. U starších dětí se jako symptomy vyskytují nejčastěji vlhký kašel a produkce hlenu (Eber a Midulla, 2013) a dále klesající respirační funkce (Woestenenk, et al., 2014).

U dětí s CF ve věku 4-8 let byly zaznamenány nižší hodnoty usilovného výdechu vitální kapacity během první půl a třičtvrtě sekundy ( $FEV_{0,5}$ ,  $FEV_{0,75}$ ), hodnota středního výdechového toku ( $FEF_{25-75}$ ) a usilovná vitální kapacita plic (FVC) (Vilozni et al., 2007; Ramsey et al., 2014). Plicní funkce snižoval o 11-15 % výskyt patogenů a pankreatická insuficience (Ramsey et al., 2014). Častý kašel a nízké hodnoty BMI pod 66. percentilem mediánu ve zkoumané kohortě způsobovaly u jedinců s mírnou formou CF výraznější roční pokles v plicních funkcích, kdy roční úbytek představoval zhruba 1 % predikované hodnoty  $FEV_1$  (Cogen et al., 2015).

## 8. Sekulární změny plicních funkcí

Sekulární trend je dlouhodobá změna některého ze zkoumaných parametrů. Trend může být pozitivní, kdy dochází ke zvyšování hodnot zkoumaných parametrů, nebo negativní, kdy dochází k jejich poklesu. Jeden z nejlépe sledovatelných znaků je tělesná výška. Stejně tak je možné zvolit plicní funkce jako zkoumaný parametr a hodnotit jejich sekulární změny. Změny v dlouhodobém horizontu se dějí na základě vzájemného působení genetiky a vnějšího prostředí (Vignerová et al., 2006). Hlavní faktory, které mohou působit na plicní funkce, jsou např. odlišný prenatální a postnatální vývoj plic, nedostatečná výživa, přítomnost infekčních nemocí, kouření a vystavení různým environmentálním faktorům (Quanjer et al., 2011).

Ve studii Quanjer et al. (2011) autoři hodnotili data v letech 1978-2009. Studie sekulární změny ve sledovaných plicních funkcích nenalezla. Příčinou může být typ zkoumané populace. Ve studii byly hodnoceny populace mj. ze Severní Ameriky či Evropy, kde se v posledních 30 letech nachází spíše stabilní socio-ekonomické prostředí (Quanjer et al., 2011). Tento trend je již delší dobu pozorován u tělesné výšky. Mezi lety 1980 a 1996 došlo k menšímu než 1 % nárůstu výšky u dospělých Čechů obou pohlaví (Roser et al., 2013). Ve studii Lipoldová et al. (2020) bylo zjištěno, že v posledních cca 15 letech se výška u dospělých Čechů zvýšila nevýznamně. V roce 2001 bylo u některých věkových kategorií pozorováno zpomalení až zástava pozitivního sekulárního trendu tělesné výšky, zejména u dívek (Vignerová et al., 2006).

Druhým důvodem uvedené absence změn plicních funkcí, jak uvádí ve své studii Quanjer et al. (2011), může být to, že se na sekulárním zvyšování tělesné výšky primárně podílí prodlužování dolních končetin, nikoliv nárůst délky horní poloviny těla. Rozdíl hodnot byl sledován na základě výšky postavy ve stoje a v sedě (Tanner et al., 1982). Ve studii Das et al. (2016), která hodnotila indickou populaci, autoři zaznamenali od roku 1952 do roku 2011 nárůst délky dolních končetin u dívek od 7 do 15 let a u chlapců od 7 do 17 let. Podle studie k tomu došlo vlivem zlepšení socio-ekonomického a zdravotního stavu populace. V případě celkové výšky postavy a rovněž délky dolních končetin byl tak zaznamenán pozitivní sekulární trend.

V letech 1975–1995 byl ve studii Jaeger a Kromeyer-Hauschild (1999) pozorován u 7–14letých Němců pozitivní sekulární trend u obou pohlaví v šířce, hloubce i obvodu hrudníku. Šířka hrudníku zaznamenala průměrně 5% nárůst. Nárůst hloubky hrudníku byl vyšší průměrně o 3,4 %. Naopak torakální index se snížil, došlo tedy k většímu oploštění hrudníku. V případě šířky hrudníku se nárůst více projevoval v prvním desetiletí studie v porovnání

s druhým (tedy mezi lety 1975 a 1985). V případě hloubky hrudníku byl nárůst v obou dekadách obdobný. Podobně byl pozorován v polské studii Kryst et al. (2017) pozitivní sekulární trend v nárůstu šířky a hloubky hrudníku u většiny dětí ve věkovém rozmezí 3-18 let.

Slovinská studie Robič Pikel et al. (2020) sledovala čtrnáctileté jedince obou pohlaví v průběhu dvacetiletého období (1993-2013). Toto období se vyznačovalo výraznou socio-ekonomickou proměnou a změnou environmentálních podmínek. Byl doložen sekulární nárůst tělesné výšky u čtrnáctiletých chlapců, přičemž délka dolních končetin se průměrně zvýšila o 2,5 cm, zatímco délka jejich hrudníku poklesla průměrně o 1,2 cm. U čtrnáctiletých dívek byl zaznamenán během zkoumaného období nárůst délky hrudníku průměrně o 1 cm, nárůst délky dolních končetin ani celkové výšky ale zaznamenán nebyl.

## 9. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo formou literární rešerše podat souhrnný přehled o vývoji plicních parametrů u dětí a mladistvých. Primárním cílem bylo zmapovat, zda existují studie, které zjišťovaly vztah mezi úrovní fyzické aktivity a rozvojem plic.

Vzhledem k vyvíjejícím se zobrazovacím metodám dochází k rozšíření vědomostí v oblasti respiračního systému. Díky moderní technice je možné detailně poznat jednotlivá prenatální i postnatální vývojová období. Období ukončení vývoje alveolů, příp. jejich celkové počty jsou i nadále předmětem zkoumání, pro další poznání je důležité např. stanovení jednotných kritérií hodnocení. Technický pokrok zaznamenala také oblast spirometrie. V dnešní době je možné sledovat parametry plicních funkcí u čím dál tím mladších dětí, přičemž limitace provedení akceptovatelného měření je ovlivněna zejména fyziologickou stavbou dýchacího systému. V klinické praxi se doporučuje využívat parametry plicních funkcí, které co možná nejlépe vyhovují tělesné konstituci dětí.

Plicní funkce již od novorozeneckého období vykazují určitou trajektorii vývoje, která se během pubertálního období mění. Ke změnám dochází zejména ve vývoji Tiffeneauova indexu. Již před narozením mohou být plicní funkce ovlivněny mnoha různými faktory.

Vliv fyzické aktivity na vývoj plicních funkcí je i v současné době nedostatečně objasněn. Značná část studií, které se tímto tématem zabývaly, využívaly k hodnocení míry fyzické aktivity dotazníkové šetření, které vzhledem k mnohdy subjektivnímu hodnocení není vhodné. Dalšími nevýhodami bývají také nízká četnost zkoumaného vzorku či skutečnost, že jsou studie často koncipované jako průřezové nikoliv longitudinální, které se pro analýzu vývoje hodí lépe.

Na základě několika málo studií, které u jedinců měřily fyzickou aktivitu experimentálně, je možné přiklánět se k názoru, že fyzická aktivita u dětí má vliv na vývoj respiračních parametrů a podporuje tak dosažení vyšších hodnot těchto parametrů v průběhu vývoje dítěte. Podle studií je pro maximalizaci nárůstu hodnot plicních funkcí podstatná fyzická aktivita zejména v pubertálním, případně v prepubertálním období. Pro potvrzení pozitivního vlivu fyzické aktivity na plicní funkce a rozšíření poznatků v dané oblasti je potřeba dalších studií s vhodnou metodikou a dostatečně velkým vzorkem. Budoucí studie by se měly soustředit na identifikaci mechanismů souvislosti fyzické aktivity a rozvoje plicních funkcí.

Nízké hodnoty plicních funkcí u mladých dospělých představují vyšší riziko vzniku nejrůznějších onemocnění v pozdějším věku. Potvrzení souvislosti vlivu fyzické aktivity a vývoje plicních funkcí může představovat jednoduchou metodu prevence závažných chorob.

Patologie popsané v této práci potvrzují v širším kontextu důležitost preventivního sledování a průběžného zaznamenávání plicních funkcí dětí, neboť v mnoha případech jejich odchýlení od normálu indikuje změnu fyzického stavu dítěte. Včasné odhalení odchylek od normálu u vyvíjejícího se dítěte vede k efektivnější léčbě. Při hodnocení plicních funkcí u dětí je důležité vybrat vhodný parametr vzhledem k účelu použití a možnostem jedince. Na základě vybraných studií vychází pro odhalení astmatu nejlépe použití středního výdechového toku společně s bronchodilatačním testem.

U evropské populace se sekulární trend ve vývoji plicních funkcí posledních pár desítek let neprojevuje. Podle studií je to dáno dlouhodobou socio-ekonomickou stabilitou evropských společností. Dalším důvodem nepřítomnosti sekulárního trendu u plicních funkcích může být to, že ačkoliv v dřívějších dobách populace rostly, výška postavy se zvyšovala na základě akcelerace růstu dolních končetin, nikoliv horní poloviny těla.

## 10. Literární zdroje

- Akhade, V., a Muniyappanavar, N. (2014). The Effect of Running Training on Pulmonary Function Tests. *National Journal of Physiology, Pharmacy and Pharmacology*, 4(2), 168–170.
- Alonazi, A., Almutairi, W., Bains, G., Daher, N., a Alismail, A. (2021). Effects of Smartphone Addiction on Children's Lung Function. *Pediatrics International*, 63(3), 323–330.
- Augustí, A., Noell, G., Brugada, J., a Faner, R. (2017). Lung Function in Early Adulthood and Health in Later Life: a Transgenerational Cohort Analysis. *The Lancet Respiratory Medicine*, 5(12), 935–945.
- Aurora, P., Stocks, J., Oliver, C., Saunders, C., Castle, R., Chaziparasis, G., a Bush, A. (2004). Quality Control for Spirometry in Preschool Children with and without Lung Disease. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 169, 1152–1159.
- Beránková, K. (2011). Aktuální pohled na léčbu astmatu u dětí nejnižších věkových skupin. *Pediatric pro praxi*, 12(5), 306–308.
- Berntsen, S., Wisløff, T., Nafstad, P., a Nystad, W. (2008). Lung Function Increases with Increasing Level of Physical Activity in School Children. *Pediatric Exercise Science*, 20, 402–410.
- Beydon, N., Davis, S. D., Lombardi, E., Allen, J. L., Arets, H. G. M., Aurora, P., Bisgaard, H., Davis, M. G., Ducharme, F. M., Eigen, H., Gappa, M., Gaultier, C., Gustafsson, P. M., Hall, G. L., Hantos, Z., Healy, M. J. R., Jones, M. H., Klug, B., Lodrup Carlsen, K. C., McKenzie S. A., Marchal, F., Mayer, O. H., Merkus, P. J. F. M., Morris, M. G., Oostveen, E., Pillow, J. J., Seddon, P. C., Silverman, M., Sly, P. D., Stocks, J., Tepper, R. S., Vilozni, D., a Wilson, N. M. (2007). An Official American Thoracic Society/European Respiratory Society Statement: Pulmonary Function Testing in Preschool Children. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 175(12), 1304–1345.
- Boezen, H. M., Vonk, J. M., van Aalderen, W. M. C., Brand, P. L. P., Gerritsen, J., Schouten, J. P., a Boersma, E. R. (2002). Perinatal Predictors of Respiratory Symptoms and Lung Function at a Young Adult Age. *European Respiratory Journal*, 20(2), 383–390.
- Bovard, J. M., Welch, J. F., Houghton, K. M., McKenzie, D. C., Potts, J. E., a Sheel, A. W. (2018). Does Competitive Swimming Affect Lung Growth? *Physiological Reports*, 6(15), 1–13.
- Burri, P. H. (2006). Structural Aspects of Postnatal Lung Development – Alveolar Formation and Growth. *Neonatology*, 89(4), 313–322.
- Caspersen, C. J., Powell, K. E., a Christenson, G. M. (1985). Physical Activity, Exercise, and Physical Fitness: Definitions and Distinctions for Health-Related Research. *Public Health Reports*, 100(2), 126–131.
- Cassim, R., Dharmage, C. S., Koplin, J. J., Milanzi, E., Paro, F. M., a Russell, M. A. (2019). Does Physical Activity Strengthen Lungs and Protect Against Asthma in Childhood? A Systematic Review. *Pediatric Allergy and Immunology*, 30(7), 1–13.
- Chlumský, J., Fišerová, J., Kociánová, J., Zindr, V., Koblížek, V., a Křepelka, J. (2019). Doporučený postup pro interpretaci základních vyšetření plicních funkcí. In Kolek, V. a kol. *Doporučené postupy v pneumologii* (3. vyd.). Praha: Maxdorf.
- Cogen, J., Emerson, J., Sanders, D. B., Ren, C., Schechter, M. S., Gibson, R. L., Morgan, W., a Rosenfeld, M. (2015). Risk Factors for Lung Function Decline in a Large Cohort of Young Cystic Fibrosis Patients. *Pediatric Pulmonology*, 50(8), 763–770.
- Coles, D. T., a Fowler, W. S. (1964). Pulmonary Surfactant. *Medical Clinics of North America*, 48(4), 1055–1061.
- Comberiati, P., Spahn, J. D., Paull, K., Faino, A., Cherniack, R., a Covar, R. A. (2020). Lung Mechanical Properties Distinguish Children with Asthma with Normal and Diminished Lung Function. *Clinical and Experimental Allergy*, 50(4), 453–462.

- Cotes, J. E., Chinn, D. J., a Miller, M. R. (2006). *Lung function: Physiology, measurement and application in medicine* (6. vyd). Malden (USA): Blackwell Pub.
- Courteix, D., Guenon, P., Lecoq, A.-M., Obert, P., a Koch, G. (1997). Effect of intensive swimming training on lung volumes, airway resistances and on the maximal expiratory flow-volume relationship in prepubertal girls. *European Journal Applied Physiology*, 76(3), 264–269.
- Crenesse, D., Berlioz, M., Bourrier, T., a Albertini, M. (2001). Spirometry in Children Aged 3 to 5 Years: Reliability of Forced Expiratory Maneuvers. *Pediatric Pulmonology*, 32(1), 56–61.
- Cunningham, J., Dockery, D. W., a Speizer, F. E. (1994). Maternal Smoking during Pregnancy as a Predictor of Lung Function in Children. *American Journal of Epidemiology*, 139(12), 1139–1152.
- Čihák, R. (2013). Systema respiratorium – Systém dýchací. In *Anatomie 2*. (3. upravené a doplněné vyd., str. 186–260). Praha: Grada Publishing, a.s.
- da Silva, B. G. C., Wehrmeister, F. C., Quanjer, P. H., Perez-Padilla, R., Gonçalves, H., Horta, B. L., Hallal, P. C., Barros, F., a Menezes, A. M. B. (2016). Physical Activity in Early Adolescence and Pulmonary Function Gain From 15 to 18 Years of Age in a Birth Cohort in Brazil. *Journal of Physical Activity and Health*, 13(11), 1164–1173.
- Das, R., Das, S., Datta Banik, S., Saha, R., Chakraborty, A., a Dasgupta, P. (2016). Secular Trends in Physical Growth and Maturation in 7 to 21 Year-old Bengali Boys and Girls from Kolkata, India, Over Six Decades of Time Interval. *International Journal of Antropology*, 31(3-4), 185–226.
- DeGroot, E. G., van Pelt, W., Borsboom, G. J. J. M., Quanjer, P. H., a van Zomeren., B. C. (1988). Growth of Lung and Thorax Dimensions during the Pubertal Growth Spurt. *European Respiratory Journal.*, 1(2), 102–108.
- Dunnill, M. S. (1962). Postnatal Growth of the Lung. *Thorax*, 17(4), 329–333.
- Dylevský, I. (2017). *Anatomie dítěte. Nipioanatomie 2. díl* (1. vyd.). Praha: ČVUT.
- Eber, E., a Midulla, F. (2013). *ERS Handbook of Paediatric Respiratory Medicine* (1. vyd.). Sheffield: European Respiratory Society.
- Eigen, H., Bieler, H., Grant, D., Christoph, K., a Terrill, D., Heilman, D. K., Ambrosius, W. T., a Tepper, R. S. (2001). Spirometric Pulmonary Function in Healthy Preschool Children. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 163, 619–623.
- Eisenmann, J. C., Katzmarzyk, P. T., Thériault, G., Song, T. M. K., Malina, R. M., a Bouchard, C. (1999). Physical Activity and Pulmonary Function in Youth: The Québec Family Study. *Pediatric Exercise Science*, 11(3), 208–217.
- Feher, A., Castile, R., Kisling, J., Angelicchio, C., Filbrun, D., Flucke, R., a Tepper, R. (1996). Flow limitation in Normal Infants: A New Method for Forced Expiratory Maneuvers from Raised Lung Volumes. *Journal of Applied Physiology*, 80(6), 2019–2025.
- França, D. C., Camargos, P. A. M., Jones, M. H., Martins, J. A., Vieira, B. da S. P. P., Colosimo, E. A., Pinto de Mendonca, K. M. P., Borja, R. de O., Britto, R. R., a Parreira, V. F. (2016). Prediction Equations for Spirometry in Four – to Six-Year-Old Children. *Jornal de Pediatria*, 92(4), 400–408.
- Green, M., Mead, J., a Turner, J. M. (1974). Variability of Maximum Expiratory Flow-Volume Curves. *Journal of Applied Physiology*, 37(1), 67–74.
- Greenough, A. (2000). Factors Adversely Affecting Lung Growth. *Paediatric Respiratory Reviews*, 1(4), 314–320.
- Hancox, R. J., a Rasmussen, F. (2018). Does Physical Fitness Enhance Lung Function in Children and Young Adults? *European Respiratory Journal*, 51(2), 1–10.
- Hanrahan, J. P., Tager, I. B., Segal, M. R., Tosteson, T. D., Castile, R. G., van Vunakis, H., Weiss, S. T., a Speizer, F. E. (1992). The Effect of Maternal Smoking during Pregnancy on Early Infant Lung Function. *American Review of Respiratory Disease*, 145(5), 1129–1135.



- He, B., Kwok, M. K., Au Yeung, S. L., Lin, S. L., Leung, J. Y. Y., Hui, L. L., Li, A. M., Leung, G. M., a Schooling, C. M. (2020). Birth Weight and Prematurity With Lung Function at ~17.5 Years: “Children of 1997” Birth Cohort. *Scientific Reports*, 10(1), 341.
- Herring, M. J., Putney, L. F., Wyatt, G., Finkbeiner, W. E., a Hyde, D. M. (2014). Growth of Alveoli During Postnatal Development in Humans Based on Stereological Estimation. *American Journal of Physiology-Lung Cellular and Molecular Physiology*, 307(4), L338–L344.
- Hislop, A. A., Wigglesworth, J. S., a Desai, R. (1986). Alveolar development in the human fetus and infant. *Early Human Development*, 13(1), 1–11.
- Hoo, A.-F., Thia, L. P., Nguyen, T. T. D., Bush, A., Chudleigh, J., Lum, S., Ahmed, D., Balfour-Lynn, I., Carr, S. B., Chavasse, R. J., Costeloe, K. L., Price, J., Shankar, A., Wallis, C., Wyatt, H. A., Wade, A., a Stocks, J. (2012). Lung Function is Abnormal in 3-month-old Infants with Cystic Fibrosis Diagnosed by Newborn Screening. *Thorax*, 67(10), 874–881.
- Hollams, E. M., de Klerk, N. H., Holt, P. G., a Sly, P. D. (2014). Persistent Effects of Maternal Smoking during Pregnancy on Lung Function and Asthma in Adolescents. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 189(4), 401–407.
- Irvin, C. G., a Bates, J. H. T. (2009). Physiologic Dysfunction of the Asthmatic Lung: What’s Going On Down There, Anyway? *Proceedings of the American Thoracic Society*, 6(3), 306–311.
- Jaeger, U., a Kromeyer-Hauschild, K. (1999). *Growth Studies in Jena, Germany: Changes in thoracic Measurements Between 1975 and 1995*. American Journal of Human Biology, 11, 784–792.
- Jakubec, P. (2006). Cystická fibróza. *Interní medicína pro praxi*, 5, 235–239.
- Janošková, H., Šeráková, H., a Mužík, V. (2018). *Zdravotně preventivní pohybové aktivity* (1. vyd.). Brno: Masarykova univerzita.
- Janota, J., a Straňák, Z. (2013). RDS– syndrom dechové tísně novorozence. In *Neonatologie* (1. vyd., str. 358–366). Praha: Mladá fronta. ISBN 978-80-204-2994-0.
- Jat, K. R. (2013). Spirometry in Children. *Primary Care Respiratory Journal*, 22(2), 221–229.
- Ji, J., Wang, S., Liu, Y., a He, Q. (2013). Physical Activity and Lung Function Growth in a Cohort of Chinese School Children: A Prospective Study. *PLOS ONE*, 8(6), 1–4.
- Jones, M., Castile, R., Davis, S., Kisling, J., Filbrun, D., Flucke, R., Goldstein, A., Emsley, Ch., Ambrosius, W., a Tepper, R. S. (2000). Forced Expiratory Flows and Volumes in Infants: Normative Data and Lung Growth. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 161(2), 353–359.
- Joshi, S., a Kotecha, S. (2007). Lung Growth and Development. *Early Human Development*, 83(12), 789–794.
- Kalman, M. (2019). Mladí Češi jsou ve volném čase aktivní. *Zdravá generace* [Online]. Dostupné z: <https://zdravagenerace.cz/reporty/volny-cas/> [24.02.2021]
- Kalman, M. (2020). Děti se hýbou a sportují. Ale nestačí to. *Zdravá generace* [Online]. Dostupné z: <https://zdravagenerace.cz/reporty/pohyb/> [24.02.2021]
- Kitterman, J. A. (1988). Physiological Factors in Fetal Lung Growth. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 66(8), 1122–1128.
- Kociánová, J. (2017). Spirometrie – základní vyšetření funkce plic. *Vnitřní Lékařství*, 63(11), 889–894.
- Kotecha, S. (2000). Lung Growth: Implications for the Newborn Infant. *Archives of Disease in Childhood. Fetal and Neonatal Edition*, 82(1), F69–F74.
- Kotecha, S. J., Watkins, W. J., Paranjothy, S., Dunstan, F. D., Henderson, A. J., a Kotecha, S. (2012). Effect of Late Preterm Birth on Longitudinal Lung Spirometry in School Age Children and Adolescents. *Thorax*, 67(1), 54–61.

- Kratěnová, J., Malý, M., Puklová, V., a Žejglicová, K. (2017). Zdravotní stav obyvatel. In *Systém monitorování zdravotního stavu obyvatelstva ve vztahu k životnímu prostředí: Souhrnná zpráva za rok 2016* (1. vydání). Praha: SZÚ.
- Kryst, Ł., Woronkiewicz, A., Kowal, M., a Sobiecki, J. (2017). Intergenerational Changes in Chest Size and Proportions in Children and Adolescents Aged 3-18 from Kraków (Poland), within the Last 70 years. *American Journal of Human Biology*, 29(2), 1–10.
- Lazovic, B., Mazic, S., Suzic-Lazic, J., Djelic, M., Djordjevic-Saranovic, S., Durmic, T., Zikic, D., a Zugic, V. (2015). *Respiratory Adaptations in Different Types of Sport. European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, 19, 2269–2274.
- Levy, M. L., Quanjer, P. H., Rachel, B., Cooper, B. G., Holmes, S., a Small, I. R. (2009). Diagnostic Spirometry in Primary Care: Proposed standards for general practice compliant with American Thoracic Society and European Respiratory Society recommendations. *Primary Care Respiratory Journal*, 18(3), 130–147.
- Lewin, G., a Hurtt, M. E. (2017). Pre – and Postnatal Lung Development: An Updated Species Comparison: Comparative Postnatal Lung Development. *Birth Defects Research*, 109(19), 1519–1539.
- Linnane, B. M., Hall, G. L., Nolan, G., Brennan, S., Stick, S. M., Sly, P. D., Robertson, C. F., Robinson, P. J., Franklin, P. J., Turner, S. W., a Ranganathan, S. C. (2008). Lung Function in Infants with Cystic Fibrosis Diagnosed by Newborn Screening. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 178(12), 1238–1244.
- Lipoldová, M., Hitka, M., Sedmák, R., Kolena, B., a Jambal, T. (2020). Secular Trends of Adult Population and Their Impacts in Industrial Design and Ergonomics. *Applied Sciences*, 10(21), 1–16.
- Lum, S., Bountziouka, V., Sonnappa, S., Wade, A., Cole, T. J., Harding, S., Wells, J. C. K., Griffiths, Ch., Treleaven, P., Bonner, R., 1, Kirkby, J., Lee, S., Raywood, E., Legg, S., Sear, D., Cottam, P., Feyerabend, C., a Stocks, J. (2015). Lung Function in Children in Relation to Ethnicity, Physique and Socioeconomic Factors. *European Respiratory Journal*, 46(6), 1662-1671.
- Malina, R. M. (2020). Adolescent Growth Spurt. In *The Encyclopedia of Child and Adolescent Development* (1. vyd., str. 1-12). -----: Wiley.
- McEvoy, C. T., a Spindel, E. R. (2017). Pulmonary Effects of Maternal Smoking on the Fetus and Child: Effects on Lung Development, Respiratory Morbidities, and Life Long Lung Health. *Paediatric respiratory reviews*, 21, 27-33.
- Menezes, A. M. B., Wehrmeister, F. C., Muniz, L. C., Perez-Padilla, R., Noal, R. B., Silva, M. C., Gonçalves, H., a Hallal, P. C. (2012). Physical Activity and Lung Function in Adolescents: The 1993 Pelotas (Brazil) Birth Cohort Study. *Journal of Adolescent Health*, 51(6), S27–S31.
- Miller, M. R., Hankinson, J., Brusasco, V., Burgos, F., Casaburi, R., Coates, A., Crapo, R., Enright, P., van der Grinten, C. P. M., Gustafsson P., Jensen, R., Johnson, D. C., MacIntyre, N., McKay, R., Navajas, D., Pedersen, O. F., Pellegrino, R., Viegi, G., a Wagner, J. (2005). Standardisation of Spirometry. *European Respiratory Journal*, 26(2), 319–338.
- Mishra, A., Ugra, D., a Kumar, U. (2020). Study of Spirometry Parameters in Suspected Asthmatic Children in a Tertiary Care Hospital. *International Journal of Contemporary Pediatrics*, 7(5), 1023–1027.
- Moore, K. L., a Persaud, T. V. N. (2002). *Zrození člověka: Embryologie s klinickým zaměřením* (1. české vyd.). Praha: ISV.
- Moore, V. C. (2012). Spirometry: Step by Step. *Breathe*, 8(3), 232–240.
- Mortola, J. P. (1983). Dysanaptic Lung Growth: An Experimental and Allometric Approach. *Journal of Applied Physiology*, 54(5), 1236–1241.
- Naňka, O., a Elišková, M. (2015). *Přehled anatomie* (3. doplněné a přepracované vyd.). Praha: Galén.
- Narayanan, M., Owers-Bradley, J., Beardsmore, C. S., Mada, M., Ball, I., Garipov, R., Panesar, K. S., Kuehni, C. E., Spycher, B. D., Williams, S. E., a Silverman, M. (2012). Alveolarization Continues during Childhood

- and Adolescence: New Evidence from Helium-3 Magnetic Resonance. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 185(2), 186–191.
- National Asthma Education and Prevention Program. (2007). Expert Panel Report 3 (EPR-3): Guidelines for the Diagnosis and Management of Asthma—Summary Report 2007. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 120(5), S94–S138.
- Neve, V., Girard, F., Flahault, A., a Boule, M. (2002). Lung and Thorax Development during Adolescence: Relationship with Pubertal Status. *European Respiratory Journal*, 20(5), 1292–1298.
- Nève, V., Hulo, S., Edmé, J.-L., Boileau, S., Baquet, G., Pouessel, G., Thumerelle, C., Deschildre, A., a Matran, R. (2016). Utility of Measuring FEV<sub>0.75</sub>/FVC Ratio in Preschoolers with Uncontrolled Wheezing Disorder. *European Respiratory Journal*, 48(2), 420–427.
- Nourry, C., Deruelle, F., Guinhouya, C., Baquet, G., Fabre, C., Bart, F., Berthoin, S., a Mucci, P. (2005). High-Intensity Intermittent Running Training Improves Pulmonary Function and Alters Exercise Breathing Pattern in Children. *European Journal of Applied Physiology*, 94(4), 415–423.
- Nystad, W., Samuelsen, S. O., Nafstad, P., Edvardsen, E., Stensrud, T., a Jaakkola, J. J. K. (2002). Feasibility of Measuring Lung Function in Preschool Children. *Thorax*, 57, 1021–1027.
- Ochs, M., Nyengaard, J. R., Jung, A., Knudsen, L., Voigt, M., Wahlers, T., Richter, J., a Gundersen, H. J. G. (2004). The Number of Alveoli in the Human Lung. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 169(1), 120–124
- Patrick, J., Campbell, K., Carmichael, L., Natale, R., a Richardson, B. (1980). Patterns of Human Fetal Breathing During the Last 10 Weeks of Pregnancy. *Obstetrics & Gynecology*, 56(1), 24–30.
- Petrovický, P. (2001). *Anatomie s topografií a klinickými aplikacemi* (1. vyd.). Martin (SR): Osveta.
- Piccioni, P., Tassinari, R., Carosso, A., Carena, C., Bugiani, M., a Bono, R. (2015). Lung Lunction Changes from Childhood to Adolescence: A Seven-year Follow-up Study. *BMC Pulmonary Medicine*, 15(31), 1-8.
- Polgar, G., a Weng, T. R. (1979). The Functional Development of the Respiratory System. *American Review of Respiratory Disease*, 120, 625-695.
- Puente-Maestu, L., a Stringer, W. W. (2018). Physical Activity to Improve Health: Do Not Forget that the Lungs Benefit too. *European Respiratory Journal*, 51(2), 1–4.
- Quanjer, P. H., Stanojevic, S., Cole, T. J., Baur, X., Hall, G. L., Culver, B. H., Enright, P. L., Hankinson, J. L., Ip, M. S. M., Zheng, J., Stock, J. a the ERS Global Lung Function Initiative. (2012). Multi-Ethnic Reference Values for Spirometry for the 3–95-yr Age Range: The Global Lung Function 2012 Equations. *European Respiratory Journal*, 40(6), 1324–1343.
- Quanjer, P. H., Stanojevic, S., Stocks, J., Hall, G. L., Prasad, K. V. V., Cole, T. J., Rosenthal, M., Perez-Padilla, R., Hankinson, J. L., Falaschetti, E., Golshan, M., Brunekreef, B., Al-Rawas, O., Kühr, J., Trabelsi, Y., a Ip, M. S. M. (2010). Changes in the FEV1/FVC Ratio during Childhood and Adolescence: An Intercontinental Study. *European Respiratory Journal*, 36(6), 1391–1399.
- Quanjer, P. H., Stocks, J., Cole, T. J., Hall, G. L., Stanojevic, S. (2011). Influence of Secular Trends and Sample Size on Reference Equations for Lung Function Tests. *European Respiratory Journal*, 37(3), 658–664.
- Quanjer, P. H., Tammeling, G. J., Cotes, J. E., Pedersen, O. F., Peslin, R., a Yernault, J.-C. (1993). Lung Volumes and Forced Ventilatory Flows. *European Respiratory Journal*, 6(16), 5–40.
- Ramsey, K. A., Ranganathan, S., Park, J., Skoric, B., Adams, A.-M., Simpson, S. J., Robins-Browne, R. M., Franklin, P. J., de Klerk, N. H., Sly, P. D., Stick, S. M., a Hall, G. L. (2014). Early Respiratory Infection Is Associated with Reduced Spirometry in Children with Cystic Fibrosis. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 190(10), 1111–1116.
- Rao, D. R., Gaffin, J. M., Baxi, S. N., Sheehan, W. J., Hoffman, E. B., a Phipatanakul, W. (2012). The Utility of Forced Expiratory Flow between 25% and 75% of Vital Capacity in Predicting Childhood Asthma Morbidity and Severity. *Journal of Asthma*, 49(6), 586–592.

- Robič Pikel, T., Malus, T., Starc, G., a Golja, P. (2020). Changes in the Growth and Development of Adolescents in a Country in Socio-Economic Transition 1993–2013. *Slovenian Journal of Public Health*, 59(3), 164–171.
- Roda, C., Mahmoud, O., Peralta, G. P., Fuertes, E., Granell, R., Serra, I., Handerson, J., Jarvis, D., a Garcia-Aymerich, J. (2019). Physical-activity Trajectories during Childhood and Lung Function at 15 Years: Findings From the ALSPAC Cohort. *International Journal of Epidemiology*, 49(1), 131–141.
- Rokyta, R. (2015). *Fyziologie a patologická fyziologie: pro klinickou praxi* (1. vyd.). Praha: Grada Publishing.
- Rona, R., Gulliford, M. C., a Chinn, S. (1993). Effects of Prematurity and Intrauterine Growth on Respiratory Health and Lung Function in Childhood. *British Medical Journal*, 306, 817–820.
- Rosenthal, M., Bain, S. H., Cramer, D., Helms, P., Denison, D., Bush, A., a Warner, J. O. (1993). Lung function in white children aged 4 to 19 years: I–Spirometry. *Thorax*, 48(8), 794–802.
- Roser, M., Appel, C. a Ritchie, H. (2013). Human Height. OurWorldInData.org. Dostupné z: <https://ourworldindata.org/human-height> [20.03.2021]
- Schittny, J. C. (2018). How High Resolution 3 – Dimensional Imaging Changes Our Understanding of Postnatal Lung Development. *Histochemistry and Cell Biology*, 150(6), 677–691.
- Schittny, J. C. (2017). Development of the Lung. *Cell and Tissue Research*, 367(3), 427–444.
- Schultz, E. S., Hallberg, Jenny., Andersson, N., Thacher, J. D., Pershagen, G., Bellander, T., Bergström, A., Kull, I., Guerra, S., Thunqvist, P., Gustafsson, P. M., Bottai, M., a Melén, E. (2018). Early Life Determinants of Lung Function Change From Childhood to Adolescence. *Respiratory Medicine*, 139, 48–54.
- Silver, M. M., Thurston, W. A., a Patrick, J. E. (1988). Perinatal Pulmonary Hyperplasia due to Laryngeal Atresia. *Human Pathology*, 19(1), 110–113.
- Simon, G., Reid, L., Tanner, J. M., Goldstein, H., a Benjamin, B. (1972). Growth of Radiologically Determined Heart Diameter, Lung Width, and Lung Length from 5-19 Years, with Standards for Clinical Use. *Archives of Disease in Childhood*, 47, 373–381.
- Simon, M. R., Chinchilli, V. M., Phillips, B. R., Sorkness, C. A., Lemanske, R. F., Szeffler, S. J., Taussig, L., Bacharier, L.B., a Morgan, W. (2010). Forced Expiratory Flow Between 25% and 75% of Vital Capacity and FEV1/Forced Vital Capacity Ratio in Relation to Clinical and Physiological Parameters in Asthmatic Children with Normal FEV1 Values. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 126(3), 527–534.
- Smith, J. R., Emerson, S. R., Kurti, S. P., Gandhi, K., a Harms, C. A. (2015). Lung Volume and Expiratory Flow Rates from Pre-to Post-puberty. *European Journal of Applied Physiology*, 115(8), 1645–1652.
- Smith, M. P., von Berg, A., Berdel, D., Bauer, C.-P., Hoffmann, B., Koletzko, S., Nowak, D., Heinrich, J., a Schulz, H. (2016). Physical Activity is not Associated with Spirometric Indices in Lung-healthy German Youth. *European Respiratory Journal*, 48(2), 428–440.
- Stanojevic, S., Wade, A., Cole, T. J., Lum, S., Custovic, A., Silverman, M., Hall, G. L., Welsh, L., Kirkby, J., Nystad, W., Badier, M., Davis, S., Turner, S., Piccioni, P., Vilozni D., Eigen, H., Vlachos-Mayer, H., Zheng, J., Tomalak, W., Jones, M., Hankinson, J. L., a Stocks, J. on behalf of the Asthma UK Spirometry Collaborative Group. (2009). Spirometry Centile Charts for Young Caucasian Children: The Asthma UK Collaborative Initiative. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 180(6), 547–552.
- Strunk, R. C., Weiss, S. T., Yates, K. P., Tonascia, J., Zeiger, R. S., a Szeffler, S. J. (2006). Mild to Moderate Asthma Affects Lung Growth in Children and Adolescents. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 118(5), 1040–1047.
- Talaminos Barroso, A., Márquez Martín, E., Roa Romero, L. M., a Ortega Ruiz, F. (2018). Factors Affecting Lung Function: A Review of the Literature. *Archivos de Bronconeumología (English Edition)*, 54(6), 327–332.
- Tanner, J. M., Hayashi, T., Preece, M. A., a Cameron, N. (1982). Increase in Length of Leg Relative to Trunk in Japanese Children and Adults From 1957 to 1977: Comparison with British and with Japanese Americans. *Annals of Human Biology*, 9(5), 411–423.

- Thacher, J. D., Schultz, E. S., Hallberg, J., Hellberg, U., Kull, I., Thunqvist, P., Pershagen, G., Gustafsson, P. M., Melén, E., a Bergström, A. (2018). Tobacco smoke exposure in early life and adolescence in relation to lung function. *European Respiratory Journal*, 51(6), 1-9.
- Tepper, R. S., Jones, M., Davis, S., Kisling, J., a Castile, R. (1999). Rate Constant for Forced Expiration Decreases with Lung Growth during Infancy. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 160(3), 835–838.
- Teřl, M., Čáp, P., Dvořáková, R., Kařák, V., Kočí, T., Novotná, B., Panzner, P., Seberová, E., Sedlák, V., a Zindr, V. (2015). *Doporučený postup diagnostiky a léčby bronchiálního astmatu* (1. vydání). Semily: Geum.
- Thurlbeck, W. M. (1982). Postnatal Human Lung Growth. *Thorax*, 37(8), 564–571.
- Trabelsi, Y., Pariès, J., Harrabi, I., Zbidi, A., Tabka, Z., Richalet, J. P., a Buvry, A. (2008). Factors Affecting the Development of Lung Function in Tunisian Children. *American Journal of Human Biology*, 20(6), 716–725.
- Trabelsi, Y., Tabka, Z., Richalet, J. P., Gharbi, N., Bienvenu, A., Guenard, H., a Buvry, A. (2007). Spirometric Values in Tunisian Children: Relationship with Pubertal Status. *Annals of Human Biology*, 34(2), 195-205.
- Twisk, J. W. R., Staal, B. J., Brinkman, M. N., Kemper, H. C. G., a van Mechelen, W. (1998). Tracking of Lung Function Parameters and the Longitudinal Relationship with Lifestyle. *European Respiratory Journal*, 12(3), 627–634.
- Vignerová, J., Riedlová, J., Bláha, P., Kobzová, J., Krejčovský, L., Brabec, M., a Hruřková, M. (2006). 6. *Celostátní antropologický výzkum dětí a mládeže 2001. Česká republika. Souhrnné výsledky*. Praha: PŘF UK, SZÚ.
- Vilozni, D., Barak, A., Efrati, O., Augarten, A., Springer, C., Yahav, Y., a Bentur, L. (2005). The Role of Computer Games in Measuring Spirometry in Healthy and “Asthmatic” Preschool Children. *Chest*, 128(3), 1146–1155.
- Vilozni, D., Bentur, L., Efrati, O., Minuskin, T., Barak, A., Szeinberg, A., Blau, H., Picard, E., Kerem, E., Yahav, Y., a Augarten, A. (2007). Spirometry in Early Childhood in Cystic Fibrosis Patients. *Chest*, 131(2), 356–361.
- Vilozni, D., Hakim, F., Livnat, G., Ofek, M., Bar-Yoseph, R., a Bentur, L. (2016). Assessment of Airway Bronchodilation by Spirometry Compared to Airway Obstruction in Young Children with Asthma. *Canadian Respiratory Journal*, 2016, 1–6.
- Wang, X., Dockery, D. W., Wypij, D., Fay, M. E., a Ferris, B. G. (1993). Pulmonary Function between 6 and 18 Years of Age. *Pediatric Pulmonology*, 15(2), 75–88.
- Weiss, S. T., Tosteson, T. D., Segal, M. R., Tager, I. B., Redline, S., a Speizer, F. E. (1992). Effects of Asthma on Pulmonary Function in Children: A Longitudinal Population-based Study. *American Review of Respiratory Disease*, 145(1), 58–64.
- Wigglesworth, J. S., a Desai, R. (1982). Is Fetal Respiratory Function a Major Determinant of Perinatal Survival? *The Lancet*, 319(8266), 264–267.
- Woestenenk, J. W., Stellato, R. K., Terheggen-Lagro, S. W., van der Ent, C. K., a Houwen, R. H. (2014). The Relationship Between Body Growth and Pulmonary Function in Children With Cystic Fibrosis. *Acta Paediatrica*, 103(2), 162–167.
- World Health Organization. (2019). *Guidelines on Physical Activity, Sedentary Behaviour, and Sleep for Children under 5 years of age*. (1. vyd.). Geneva: World Health Organization.
- World Health Organization. (2020). *WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour* (1. vyd.). Geneva: World Health Organization.
- Zapletal, A., a Chalupová, J. (2003). Forced Expiratory Parameters in Healthy Preschool Children (3-6 Years of Age): Forced Ventilatory Parameters in Preschoolers. *Pediatric Pulmonology*, 35(3), 200–207.

Zeltner, T. B., Caduff, J. H., Gehr, P., Pfenninger, J., a Burri, P. H. (1987). The Postnatal Development and Growth of The Human Lung. I. Morphometry. *Respiration Physiology*, 67(3), 247–267.

Zeman, K. L., a Bennett, W. D. (2006). Growth of the Small Airways and Alveoli from Childhood to the Adult Lung Measured by Aerosol-Derived Airway Morphometry. *Journal of Applied Physiology*, 100(3), 965–971.

## 11. Internetové zdroje

URL1 [https://www.pig333.com/articles/the-pigs-respiratory-system-and-its-defense-mechanisms\\_15891/#img-2](https://www.pig333.com/articles/the-pigs-respiratory-system-and-its-defense-mechanisms_15891/#img-2)  
[cit. 20.3.2021]

URL2 <http://www.embryology.ch/anglais/rrespiratory/phases06.html> [cit. 10.2.2021]

URL3 [https://www.fkwiki.com/index.php/Lung\\_Function\\_and\\_Spirometry\\_Test\\_on\\_Pulmonary\\_Disease](https://www.fkwiki.com/index.php/Lung_Function_and_Spirometry_Test_on_Pulmonary_Disease)  
[cit. 10.3.2021]

URL4 Vitalograph. GLI Spirometry – Normal Values [online]. [cit. 20.4.2021]. Dostupné z:  
<https://vitalograph.co.uk/resources/gli-normal-values>.