

PRAKTICKÁ PNEUMOLOGIE

Kniha byla vydána za laskavé podpory společností:



GENERÁLNÍ PARTNER



Hlavní PARTNER



Prof. MUDr. Miloš Pešek, CSc.
a kolektiv

PRAKTICKÁ PNEUMOLOGIE

DŮLEŽITÉ UPOZORNĚNÍ

Autoři i nakladatel vynaložili velkou péči a úsilí, aby všechny informace v knize obsažené týkající se dávkování léků a forem jejich aplikace odpovídaly stavu vědy v okamžiku vydání. Nakladatel však za údaje o použití léků, zejména o jejich indikacích, kontraindikacích, dávkování a aplikačních formách, nenese žádnou odpovědnost, a vylučuje proto jakékoli přímé či nepřímé nároky na úhradu eventuálních škod, které by v souvislosti s aplikací uvedených léků vznikly. Každý uživatel je povinen důsledně se řídit informacemi výrobců léčiv, zejména informací přiloženou ke každému balení léku, který chce aplikovat.

Ochranné obchodní známky (chráněné názvy) léků ani dalších výrobků nejsou v knize zvlášť zdůrazňovány. Z absence označení ochranné známky proto nelze vyvozovat, že v konkrétním případě jde o název nechráněný.

Toto dílo, včetně všech svých částí, je zákonem chráněno. Každé jeho užití mimo úzké hranice zákona je nepřipustné a je trestné. To se týká zejména reprodukování či rozšiřování jakýmkoli způsobem (včetně mechanického, fotografického či elektronického), ale také ukládání v elektronické formě pro účely rešeršní i jiné. K jakémukoli využití díla je proto nutný písemný souhlas nakladatele, který také stanoví přesné podmínky využití díla. Písemný souhlas je nutný i pro případy, ve kterých může být udělen bezplatně.

© Miloš Pešek, 2020

© Maxdorf, 2020

Illustrations © Maxdorf, 2020

Cover layout © Maxdorf, 2020

Cover photo © iStockphoto.com / Yevhen Lahunov

Vydal Maxdorf s. r. o., nakladatelství odborné literatury, Na Šejdru 247/6a, 142 00 Praha 4

e-mail: info@maxdorf.cz, internet: www.maxdorf.cz

Jessenius® je chráněná značka [No. 267113] označující publikace určené odborné zdravotnické veřejnosti

Odpovědný redaktor: **Ing. Veronika Pátková, PharmDr. Aleš Dvořák**

Sazba: **Blanka Filounková**

Ilustrace: **Ing. Jaroslav Nachtigall, Ph.D., Mgr. Veronika Mrázová**

Tisk: Books print s.r.o.

Printed in the Czech Republic

ISBN 978-80-7345-642-9

HLAVNÍ AUTOR

- Prof. MUDr. Miloš Pešek, CSc., Klinika pneumologie a ftizeologie LF UK a FN Plzeň

SPOLUAUTOŘI

- Doc. MUDr. Jan Baxa, Ph.D., Klinika zobrazovacích metod LFP UK a FN Plzeň
- MUDr. Radka Bittenglová, Klinika pneumologie a ftizeologie LFP UK a FN Plzeň
- MUDr. Václava Dubová, Klinika pneumologie a ftizeologie LFP UK a FN Plzeň
- Doc. RNDr. Pavel Fiala, CSc., Ústav anatomie, LFP UK Plzeň
- MUDr. David Havel, Ph.D., Klinika pneumologie a ftizeologie LFP UK a FN Plzeň
- MUDr. Jan Havlín, III. chirurgická klinika 1. LF UK a FN Motol
- Ing. et Ing. Božena Hosnedlová, Ph.D., LFP UK Plzeň
- MUDr. Vladan Hrabě, Otorinolaryngologická klinika LFP a FN Plzeň
- MUDr. Zdeněk Chudáček, Ph.D., Oddělení radiodiagnostiky nemocnice Privamed, Plzeň
- MUDr. Olga Kirchnerová, Ph.D., Klinika pneumologie a ftizeologie LFP UK a FN Plzeň
- MUDr. Gabriela Krákorová, Ph.D., Klinika pneumologie a ftizeologie LFP UK a FN Plzeň
- Prof. MUDr. Robert Lischke, Ph.D., III. chirurgická klinika 1. LF UK a FN Motol
- MUDr. Barbora Nussbaumerová, Ph.D., Centrum preventivní kardiologie, II. interní klinika LFP UK a FN Plzeň
- MUDr. Krista Plicková, Klinika pneumologie a ftizeologie, FN Plzeň
- MUDr. Petr Pužman, Interní oddělení Nemocnice Rokycany
- *Prof. RNDr. MUDr. Jaroslav Slípka, CSc., Ústav histologie embryologie LFP UK Plzeň
- MUDr. Martin Svatoň, Ph.D., Klinika pneumologie a ftizeologie LFP UK a FN Plzeň
- MUDr. Petr Šafránek, EUC Klinika Plzeň
- Doc. MUDr. Milan Teř, Ph.D., Klinika pneumologie a ftizeologie LFP UK a FN Plzeň
- Doc. MUDr. Josef Vodička, Ph.D., Chirurgická klinika LFP UK a FN Plzeň
- Doc. MUDr. František Vožeh, CSc., Ústav patologické fyziologie LFP UK Plzeň
- MUDr. Jana Vyskočilová, EUC Klinika Plzeň
- Prof. MUDr. Václav Zeman CSc., Ústav sportovní medicíny a aktivního zdraví LFP UK Plzeň

RECENZENT

- Prof. MUDr. Miloslav Marel, CSc., Pneumologická klinika 2. LF UK a FN Motol

Motto:
*Dýchání je most, jenž spojuje život s vědomím
a sjednocuje vaše tělo s vašimi myšlenkami.*

Thich Nhat Hanh
(Vietnamský zen buddhistický mnich,
spisovatel a mírový aktivista)

*Věnuji svým spolupracovníkům
a našim pokračovatelům*

PŘEDMLUVA

Vážení zájemci o problematiku plicních onemocnění, dostáváte do rukou učebnici, která Vám poskytne základní informace z oboru pneumologie, tedy plicního lékařství. Tento obor je pozoruhodný svým rozsahem a celospolečenským významem a je zajímavý i svou historií a dynamikou vývoje.

Pneumologie vyrostla na základech nauky o diagnostice a léčbě tuberkulózy – ftizeologii. Postupně se stala jedním z nejrozsáhlejších oborů rodiny vnitřního lékařství. Na jejím vzniku a vývoji se tak podíleli jak čeští odborníci – ftizeologové, například její zakladatel prof. MUDr. Jaroslav Jedlička, MUDr. Karel Stýblo, doc. MUDr. Ladislav Šula, DrSc., tak poslze i pneumologové – prof. MUDr. Severin Daum a prof. MUDr. Cyril Šimeček, DrSc. A samozřejmě i řada dalších význačných odborníků v nedávné minulosti i v současnosti, jejichž výčet a popisy jejich odborných a výzkumných aktivit jsou obsahem samostatné monografie (Viršík, Křišťůfek, 2000).

Pneumologie nabízí v současnosti řadu vlastních diagnostických metod a pneumolog specialista poskytuje péči širokému spektru nemocných s chorobami plic, průdušek, pohrudnice a mediastina na všech úrovních zdravotnických služeb. Patří sem problematika akutních stavů a intenzivní péče, zánětlivá onemocnění, diagnostika a podíl na léčbě nitrohruďných nádorových onemocnění, diagnostika a léčení nemocí s bronchiální obstrukcí, zejména bronchiálního astmatu a chronické obstrukční plicní nemoci. Závažnou skupinou onemocnění plic jsou i choroby plicního intersticia.

Každodenní problematikou, která se řeší na pneumologických jednotkách intenzivní péče, je respirační nedostatečnost u širokého spektra nemocných s různými chorobami a jejich koincidencemi. Na naší jednotce intenzivní péče pracují kromě specialistů – pneumologů i dva lékaři, kteří mají současně i specializaci v oboru intenzivní medicína. I když se výskyt tuberkulózy v naší populaci postupně snižuje, péče o konkrétní nemocné je stále dlouhodobá a často bývá komplikovaná z důvodů sociálního i zdravotního stavu nemocných postižených touto společensky stále závažnou chorobou. Pneumologové se věnují i problematice poruch dýchání ve spánku, jejich diagnostice a indikacím přetlakové léčby.



Zleva: doc. MUDr. Milan Teřl, Ph.D., prof. MUDr. Miloš Pešek, CSc., MUDr. Olga Kirchnerová, Ph.D., MUDr. Gabriela Krákorová, Ph. D., a prim. MUDr. David Havel, Ph.D.

Tato léčba má zásadní vliv na zdravotní stav a kvalitu života nemocných, vyžaduje však systematické a dlouhodobé sledování pacientů.

I v pneumologii se využívá biologicky cílená léčba. Je soustředěna do specializovaných center, která se věnují například léčbě obtížně léčitelného bronchiálního astmatu, idiopatické plicní fibrózy a cystické fibrózy dospělých. Vysoce specializovaná pneumologická pracoviště jsou v současnosti součástí pneumoonkochirurgických center a podílejí se na indikacích transplantací plic.

Do této problematiky patří nevyhnutelně i oblast funkčních vyšetření plic a bronchologie a její diagnostické a terapeutické aplikace.

Věřím, že Vás naše učebnice pneumologie zaujme a přinese Vám informace, které budou užitečné na Vaší další lékařské životní dráze.

S přáním všeho dobrého,

autoři

OBSAH

PŘEDMLUVA	7
1 ZÁKLADY VÝVOJE, STRUKTURY A FUNKCÍ DÝCHACÍHO SYSTÉMU	13
1.1 Vývoj dýchacího systému	13
1.2 Anatomie dýchacího systému a mediastina	17
1.3 Fyziologie a patofyziologie dýchacího systému	24
1.4 Imunologie dýchacího systému	33
2 ZÁKLADNÍ VYŠETŘOVACÍ METODY V PNEUMOLOGII	36
2.1 Náplň základního pneumologického vyšetření	36
2.2 Anamnéza	38
2.3 Fyzikální vyšetření	40
3 NEJČASTĚJŠÍ SYMPTOMY ONEMOCNĚNÍ DÝCHACÍ SOUSTAVY	66
3.1 Kašel	66
3.2 Bolest na hrudi	68
3.3 Dušnost	69
3.4 Hemoptýza	70
4 VYBRANÉ SPECIÁLNÍ ZOBRAZOVACÍ METODY	72
4.1 Výpočetní tomografie	72
4.2 Magnetická rezonance	75
4.3 Ultrasonografie	75
5 INVAZIVNÍ A INTERVENČNÍ RADIOLOGICKÉ METODY	77
5.1 Angiografie	77
5.2 Srdeční katetrizace	78
5.3 Vaskulární intervenční radiologické výkony	79
5.4 Nevaskulární invazivní a intervenční radiologické výkony	79
5.5 Radioizotopové metody	81
5.6 Vyšetřování perfuze	81
5.7 Vyšetřování ventilace	82
5.8 Radioizotopová vyšetřování zánětlivých a nádorových procesů	83
5.9 Hybridní zobrazovací metody v pneumologii	84
6 FUNKČNÍ VYŠETŘENÍ PLIC	87
6.1 Spirometrické vyšetření – křivka (smyčka) průtok-objem	88
6.2 Bronchoprovokační testy	91
6.3 Nepřímě měřitelné statické ventilační objemy a kapacity	92

6.4	Vyšetřování difúzní kapacity plic	94
6.5	Spiroergometrie	95
7	SPECIÁLNÍ BRONCHOLOGICKÉ METODY	99
7.1	Bronchoalveolární laváž	99
7.2	Terapeutické bronchoskopie	100
8	INHALAČNÍ LÉČBA	104
8.1	Dlouhodobá domácí oxygenoterapie	104
8.2	Inhalační aerosolová léčba	104
9	MECHANICKÁ VENTILACE	111
9.1	Neinvazivní přetlaková léčba	112
9.2	Invazivní ventilace	116
10	PŘEDOPERAČNÍ VYŠETŘENÍ A PŘÍPRAVA Z POHLEDU PNEUMOLOGA	123
10.1	Předoperační vyšetření	123
10.2	Předoperační příprava a pooperační péče	126
11	CHIRURGICKÉ METODY	128
11.1	Punkce pohrudniční dutiny	128
11.2	Drenáž pohrudniční dutiny	130
11.3	Videotorakoskopie, videoasistované výkony	133
11.4	Videomediastinoskopie	135
11.5	Operační přístupy do pleurální dutiny a mediastína	135
11.6	Torakochirurgické operace	139
11.7	Tracheotomie	141
12	TRANSPLANTACE PLIC	144
12.1	Indikace k transplantaci plic – zařazení na čekací listinu	145
12.2	Kontraindikace transplantace plic	146
12.3	Alokace	147
12.4	Typ prováděného výkonu	147
12.5	Sledování po transplantaci plic	149
12.6	Transplantace plic v ČR	149
13	INFEKČNÍ NESPECIFICKÁ ONEMOCNĚNÍ PRŮDUŠEK A PLIC	151
13.1	Akutní tracheobronchitida	151
13.2	Akutní bronchiolitida	153
13.3	Pneumonie	154
13.4	Plicní absces	164
14	TUBERKULÓZA A MYKOBAKTERIÓZY	166
14.1	Základní charakteristiky TBC infekce	166
14.2	Klinický obraz plicní a mimoplicní tuberkulózy	169
14.3	Diagnostika plicní tuberkulózy	173

14.4	Terapie tuberkulózy	176
14.5	Netuberkulózní mykobakteriomy	184
15	CHRONICKÁ OBSTRUKČNÍ PLICNÍ NEMOC	187
16	ASTHMA BRONCHIALE	200
17	CYSTICKÁ FIBRÓZA A BRONCHIEKTAZIE	216
17.1	Cystická fibróza	216
17.2	Bronchiektazie	222
18	INTERSTICIÁLNÍ PLICNÍ PROCESY	224
18.1	Exogenní alergická alveolitida	234
18.2	Pneumokoniózy	236
18.3	Idiopatické intersticiální pneumonie	237
18.4	Sarkoidóza	240
18.5	Plicní vaskulitidy	243
19	NÁDORY PRŮDUŠEK A PLIC	249
19.1	Plicní karcinom	249
19.2	Benigní nádory	267
19.3	Metastázy zhoubných nádorů do plic	268
19.4	Jiné maligní nádory plic	268
20	ONEMOCNĚNÍ PLEURÁLNÍ DUTINY	271
20.1	Pneumotorax	271
20.2	Pleurální syndrom	275
20.3	Mezoteliom	286
21	ONEMOCNĚNÍ MEDIASTINA	289
21.1	Tumory a pseudotumory mediastina	290
21.2	Záněty mezihrudí	295
21.3	Pneumomediastinum a krvácení do mediastina	296
22	RESPIRAČNÍ INSUFICIENCE	298
23	DIAGNOSTIKA SRDEČNÍHO SELHÁNÍ – NOVÁ KLASIFIKACE SRDEČNÍHO SELHÁNÍ	306
24	PATOLOGIE MALÉHO OBĚHU	312
24.1	Plicní hypertenze	312
24.2	Chronické cor pulmonale	318
24.3	Akutní cor pulmonale	319
25	PLICNÍ EMBOLIE	320
26	PLICNÍ INFEKCE U IMUNOKOMPROMITOVANÝCH NEMOCNÝCH	325
27	SPÁNKOVÁ APNOE / HYPOPNOE	328

28	URGENTNÍ STAVY V PNEUMOLOGII	333
28.1	Obstrukce velkých dýchacích cest	333
28.2	Hemoptýza – vykašlávání krve	335
28.3	Poškození plic vyvolané úrazy	337
28.4	Plicní edém	338
	DOSLOV	339
	POUŽITÁ A DOPORUČENÁ LITERATURA	341
	PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK	342
	SEZNAM OBRÁZKŮ	347
	MEDAILONEK HLAVNÍHO AUTORA	349
	REJSTŘÍK	351

1 ZÁKLADY VÝVOJE, STRUKTURY A FUNKCÍ DÝCHACÍHO SYSTÉMU

Jaroslav Slípka[†], Pavel Fiala, František Vožeh, Milan Teřl

1.1 VÝVOJ DÝCHACÍHO SYSTÉMU

Z fylogenetického i ontogenetického hlediska je celý respirační systém derivátem systému trávicího, je tedy entodermálního původu. V evoluci se stala jeho mateřskou oblastí kraniální, po stranách proděravělá krátká oblast hltanu, která zřejmě u prvních strunatců sloužila jako potravní síto. Tito drobní živočichové (typu dnešního kopinatce) s tenkým kožním krytem dýchali původně ještě celým povrchem těla. Teprve v průběhu kmenového vývoje a v souvislosti se zvětšováním těla už kožní respirace nestačí, a tak oblast hltanu přibírá k funkci nutritivní i funkci respirační.

1.1.1 Fylogeneze dýchacího systému

Z potravního síta vznikají žábry. Celá žaberní, tj. branchiální oblast se specializuje již u prvních obratlovců (ryb a larev obojživelníků) na výměnu plynů. Žábry jsou výhodně umístěny v exponované a strategicky důležité oblasti kraniální.

U **ryb** jsou většinou vytvořeny čtyři žaberní štěrbin, komunikující přímo s hltanem. Mezi štěrbinami je pět žaberních oblouků, vyběhajících zevně v jemné žaberní lamely. U vyšších ryb kostnatých je celá žaberní oblast překryta zvláštním operkulem, tj. skeletem, které jemné žábry ochraňují. Žábry jsou bohatě vaskularizované útvary, pokryté tenkým epitelem, umožňujícím výměnu plynů. Nemají však jen funkci respirační, ale i exkretorickou a doplňují tak funkci ledvin, což je zvláště důležité u mořských živočichů, u nichž mají další úkoly v hospodaření se solí. U některých ryb a larev obojživelníků se vyskytují i různé další akcesorní respirační orgány ve formě vnějších žaber, vyrůstajících nad žábry vnitřními. Také kožní dýchání je u mnohých ryb a obojživelníků s bohatě prokrvenou kůží zachováno a je dokonce téměř stejně důležité jako dýchání plicní.

Pro evoluci plic je důležitým vývojovým mezičlánkem existence tzv. **vzdušného měchýře**. Známe jej u většiny ryb jako nepárovou dorzální výchlipku přední části trávicí trubice.

Vzdušný měchýř je hydrostatický orgán, naplněný vzduchem a umožňujícím rybě zachovávat i v hloubce svoji polohu. U dvojdyšných je už měchýř párový a sestupuje ventrálně, tedy do stejné polohy jako u plic suchozemských živočichů, a také u těchto ryb jako plíce u suchozemských živočichů slouží k dýchání atmosférického kyslíku.

Pravé plíce se vyvíjejí teprve u postlarválních stadií **obožživelníků** jako párové, jednoduché, tenkostěnné a průsvitné vaky bez vnitřního zřasení. U žab chybějí žebra, a proto jsou jejich plíce plněny zvláštním mechanismem pomocí pohybu svaloviny hrdla a jazyka.

Ještě u **plazů** (hadů a ještěrek) jsou plíce ve formě vakovitých útvarů s malým vnitřním řasením. U mnohých plazů se dokonce vyvinula jen jedna plíce, ale trachea tu bývá rozšířena v tzv. tracheální plíce. U chameleona vybíhají obě plíce v dlouhé prstovité výběžky, které slouží jako rezervoár vzduchu a umožňují živočichu výhodně méně časté dýchací pohyby. Plazi mají ovšem dobře vytvořená žebra (hrají u hadů také velkou úlohu při lokomoci) a tedy i mezižební svaly, významně zapojené do dýchacích pohybů. U želv je ovšem dýchací mechanismus závislý na pohybech lopatkového a pánevního pletence.

U **ptáků** jsou plíce relativně malé a kompaktní, tj. málo roztažitelné, a proto se některé z průdušek rozšiřují v párové vzdušné vaky (zpravidla čtyři), které pronikají do všech částí těla, i kostí.

Z předních vzdušných vaků (expiratorních) jsou to výběžky do kostí křídel a do kůže (např. „chrastící“ kůže pelikána). Ze zadních vaků (inspiratorních) pronikají výběžky do kostí dolních končetin a pánve.

Průdušinky přecházejí u ptáků v bohatou síť vzdušných vlásečnic, které mezi sebou a s vaky vzájemně komunikují. Nejsou tu tedy vytvořeny slepé alveoly jako u savců, ale vzduch tu cirkuluje všemi otevřenými oddíly dýchacích cest a k výměně plynů dochází v průchodných vzdušných vlásečnicích.

Obecně lze konstatovat, že se v evoluční řadě obratlovců, a zvláště pak u **savců** vnitřní plocha plic zvětšuje zřasením stěn nebo bohatým rozvětvením průdušek, které se větví ve stále jemnější větve – průdušinky, které pak končí v tenkostěnných váčcích – plicních alveolech. Stěna těchto váčků je opletena sítí vlásečnic a dochází zde k výměně plynů.

1.1.2 Ontogeneze dýchacího systému

Vývoj dýchacích orgánů u suchozemských živočichů začíná na distálním konci branchiální oblasti. Celá žaberní oblast prodělává (přesně podle zákonitostí rekapitulace fylogenetických struktur v ontogenezi evolučně vyšších organismů) v raném embryonálním období stejné vývojové pochody, jako tomu bylo u živočichů na nižším vývojovém stupni.

I u raných zárodků člověka se tedy vytvářejí 4 žaberní štěrbiny, které se však neotevírají a nevyvíjejí v žábry jako např. u ryb, ale místo respirace přijímají jiné důležité úlohy homeostatické, zastávají funkci imunologickou nebo endokrinní. K plnění těchto úkolů se vyvinuly v žaberních štěrbinách orgány typu thymus, thyroidea, tonzila a příštítná tělíska.

Embryonální vývoj plic nelze oddělit od vývoje dýchacích cest, zakládajících se těsně za poslední žaberní štěrbinou v entodermální oblasti na dně faryngu. Zde se u člověka ve třetím týdnu vývoje vytváří ve střední čáře podélná vkleslina, laryngotracheální brázda. Ta se žlábkovitě prohlubuje a posléze uzavírá v laryngotracheální trubici, lemovanou mezenchymálními řasami. Tento mezenchym se z obou stran spojí a vytváří tracheoefozofageální septum, oddělující postupně trubici dýchací od trávicí. Z horního úseku této trubice vzniká larynx, z dalšího trachea a kaudální konec vytváří plicní pupen, který představuje vlastní základ plic a v němž už lze prokázat zvýšenou koncentraci alkalické fosfatázy jako důkaz proliferací aktivity. Z tohoto entodermálního útvaru pochází výstelka nejen laryngu a trachey, ale i bronchů a alveolů. Vazivo, skelet, hladká svalovina a cévy vznikají z okolního mezenchymu a nutno připomenout, že v oblasti laryngu je to většinou materiál, derivovaný z žaberních oblouků, v němž převládá ektomezenchym původem z neurální lišty.

Vývoj plic, a zvláště jejich bronchiálního kmene probíhá u člověka ve čtyřech hlavních fázích.

V první, tzv. **časné embryonální fázi**, v době mezi 4. a 7. týdnem vývoje, se plicní základ odškrube od uzavírající se laryngotracheální brázdy a rozděluje se na menší levý a větší pravý bronchiální čep. Oba tyto čepy už tedy v této době naznačují budoucí asymetrii plic. Z těchto pupenů vznikají hlavní bronchy plicních laloků, vlevo dva a vpravo tři. Ty se pak dále větví a dávají základ bronchům segmentárním.

Druhá fáze – **pseudoglandulární** – začíná již kolem 5. týdne a táhne se do cca 17. týdne. Dochází v ní k vývoji bohatě rozvětveného bronchiálního kmene, připomínajícího tuboalveolární žlázu.

Jde o proces epigenetický, v němž se pod vlivem indukce okolního mezenchymu epitelové základy bronchů dichotomicky větví, většinou nerovnoměrně, takže jeden bronchus je kmenový a druhý vytváří postranní větev.

Na konci této fáze je v průběhu asi 15–20 dělicích generací definitivně vytvořen celý bronchiální kmen včetně terminálních bronchiolů. Proximální bronchy jsou vystlány cylindrickým epitelem, který se postupně diferencuje na řasinkový a doplňuje o pohárkové buňky. Distálně se výstelka snižuje na epitel kubický.

V 7. týdnu se vyvíjejí tracheální chrupavky, ve 12. týdnu chrupavky segmentárních bronchů.

Třetí fáze – **kanalikulární** – probíhá přibližně ve 13.–26. týdnu. Po předchozí fázi tvorby základních konduktivních struktur je fáze s rozvojem respirační části bronchiálního kmene. Z terminálních bronchiolů vyrůstají krátké kanálky, odpovídající budoucím *ducti alveolares*. Ve 24.–26. týdnu je respirační část bronchiálního kmene vybudována

a zakončena distálními pupeny jakožto základy pro budoucí *sacculi alveolares*.

Na tuto fázi navazuje fáze čtvrtá – **alveolární**, která začíná již v cca 23.–24. týdnu vývojem alveolů distálně od respiračních úseků bronchiálního kmene. Současně dochází k rozvoji interalveolárních a interlobulárních sept tím, že se v mezenchymu diferencují svazky elastických a kolagenních vláken.

Vývoj interalveolárních sept sice začíná kolem 24. týdne, ale pokračuje i v prvních postnatálních letech života. Respirační bronchioly jsou po 24. týdnu obklopeny hustou sítí elastických a kolagenních vláken, do jejíž ok se po 30. týdnu vyklenují prolifерující epitelové čepy dalších alveolů. Už od 24. týdne se zprvu kubický epitel v budoucích *ductus et saccus alveolares* začíná ztenčovat.

Vyvíjejí se první dlaždicové epitelové buňky, které se diferencují v pneumocyty I. typu. Vznikají v místech, kde se těsně k epitelu přikládají krevní kapiláry. Některé buňky výstelky si zachovávají kubický tvar, diferencují se v pneumocyty II. typu a vytvářejí fosfolipidy surfaktantu.

Člověk se rodí uprostřed alveolární fáze. Před 7. měsícem vývoje nemohou plíce plnit respirační úkoly, i když respirační pohyby byly již prokázány u potracených plodů ve 3. měsíci vývoje. Důsledkem těchto pohybů je nasávání části amniové tekutiny do bronchiálního kmene. Fetální plíce připomínají pak vodou nasáklou houbu. Tekutina musí být odstraněna ještě před dýcháním vzduchem. Děje se tak vstřebáváním do krevních i lymfatických cév, a dále mechanickým vytlačněním tekutiny při prostupu novorozence porodním kanálem. Provdzdušnění plic spočívá tedy především ve výměně tekutiny za vzduch a nikoli v roztažení kolabované plíce vzduchem, jak bývá často interpretováno. Při narození je již celý bronchiální kmen rozvětven a zakončen v zatím velmi ploché alveoly. Zároveň se jejich epitel ztenčuje a dochází ke zvýšené sekreci surfaktantu a k intimním kontaktům se sítí kapilár.

Po narození pokračuje dostavba alveolů, která končí až v prvních letech postnatálního života. Bývá to ve 3.–4. roce věku a měla by být ukončena nejpozději do 6–8 let života. V absolutních číslech je počet alveolů u novorozence přibližně 50 milionů a zvětšuje se až na cca 300 milionů alveolů v plicích dospělého člověka.

Otázka, zda může docházet i v dospělosti k tvorbě nových alveolů, není stále úplně zodpovězena. Je však prokázáno, že po resekcí částí plic nebo v podmínkách hypoxie k takové novotvorbě u mladých pokusných zvířat dochází.

Histogeneticky se již od 28. týdne prenatalního vývoje vytvářejí ve výstelce alveolů nejprve pneumocyty I. typu s roztroušenými pneumocyty II. typu. Též při novotvoření alveolů se s vývojem pneumocytů paralelně vytvářejí sítě kapilár a tento obraz se příliš neliší od mikrostruktury dospělých plic. Mezenchym mezi alveoly se během vývoje zahušťuje a vytváří

postupně tenouká interalveolární septa. Původně dvojvrstevná kapilární síť se mění na síť jednovrstevnou. Elastické a kolagenní systémy vláken vznikají kolem vstupu do alveolů kolem 30. týdne a v době porodu jsou u novorozence dobře vybudovány.

Obecně lze konstatovat, že celý proces vývoje alveolů, ztenčení jejich stěny, tvorba surfaktantu a kontakt s kapilární sítí, tj. vytvoření funkční zralosti plic, je u většiny savců dosažen přibližně po uplynutí 80 % celkové délky gravidity. Člověk je ale mezi savci výjimečný tím, že u něho dochází k rozvoji alveolární fáze mnohem dříve, již po uplynutí 60 % délky těhotenství.

Toto vývojové zkrácení souvisí nejspíše s celkovým prodloužením gravidity u člověka během jeho evoluce. Na toto prodloužení, které souvisí zřejmě s mohutným a komplikovaným rozvojem mozku, se dosud vývoj plic neadaptoval. Svědčí o tom i situace u našeho nejbližšího příbuzného – šimpanze, u něhož alveolární fáze spadá stejně jako u ostatních savců do 80 % délky gravidity.

1.2 ANATOMIE DÝCHACÍHO SYSTÉMU A MEDIASTINA

1.2.1 Průdušnice – *trachea*

Průdušnice je přibližně 10–12 cm dlouhá a 12–15 mm široká trubice, ve výši těla obratle C6 připojená k hrtanu. Sestupuje skrze *apertura thoracis superior* do hrudníku, kde se ve výši obratle Th4 větví (*bifurcatio tracheae*) ve dvě průdušky (*bronchi principales*). Dva oddíly průdušnice (část krční – *pars cervicalis* a část hrudní – *pars thoracica*) jsou přibližně stejně dlouhé. Průdušnice má tvar válce, který je dorzálně oploštěn. Podkladem je 15–20 podkovovitých chrupavek (*cartilagine tracheales*), vzájemně spojených vazy (*ligg. anularia*). Vzadu je pružná stěna (*paries membranaceus*) tvořená vazivem a hladkou svalovinou. Pružná stěna umožňuje roztažení jícnu při polykání. S okolními útvary je průdušnice spojena řídkým vazivem (*tunica adventitia*). Uvnitř je trachea vystlána sliznicí krytou víceřadým cylindrickým epitelem s řasinkami. Ve sliznici a zejména v podslizničním vazivu jsou četné seromucinózní žlázy (*glandulae tracheales*).

Topografické vztahy

Pars cervicalis tracheae sbíhá od prstencové chrupavky hrtanu až k hornímu okraji *manubrium sterni*. Kraniálně je uložena více povrchově než její kaudální část. Před průdušnicí jsou uloženy podjazykové svaly, krční fascie (povrchový a pretracheální list), isthmus a žíly štítné žlázy. Za tracheou je jícen, po stranách laloky štítné žlázy a v prostoru mezi

průdušnici a jícnem vystupují pravý a levý *n. laryngeus recurrens*. **Pars thoracica tracheae** sestupuje v horním mezihrudí (*mediastinum superius*). Před průdušnicí leží thymus, *v. brachiocephalica sinistra* a *truncus brachiocephalicus*. Pod *bifurcatio tracheae* leží mízní uzliny (*nodi lymphatici tracheobronchiales*). Po stranách trachey leží velké cévy – vlevo *arcus aortae*, vpravo *v. cava superior*. Dorzálně sestupuje jícen.

Cévní a mízní systém, inervace

Trachea je živena větvemi (*rami tracheales*) z *a. thyroidea inferior*, která vychází z *a. subclavia*. Drobné žíly odvádějí krev do žil jícnu, do *venae brachiocephalicae*, popř. do *venae thyroideae inferiores*. Míza je odváděna přes *nodi lymphatici tracheales* a *nodi lymphatici tracheobronchiales superiores* do *truncus bronchomediastinalis*. Inervace průdušnice je zajištěna větvemi z *n. vagus* a sympatickými vlákny z *ganglion stellatum* a z periarteriálních pletení.

1.2.2 Průdušky – bronchi

Průdušky tvoří systém trubic, které postupným větvením vytvářejí bronchiální strom (*arbor bronchialis*). Průdušnice se větví na dva hlavní bronchy (primární bronchy, *bronchi principales*). Oba hlavní bronchy, dělí se na lalokové bronchy (*bronchi lobares*), vstupují do plic, kde se větví na bronchy segmentární (*bronchi segmentales*). Další větvení je uvedeno u plic.

Bronchus principalis dexter je kratší (přibližně 3 cm) a širší (15 mm), probíhá více vertikálně (proto se vdechnuté cizí těleso dostane snáze do pravé průdušky). **Bronchus principalis sinister** je delší (4–5 cm), užší (méně než 11 mm) a probíhá více horizontálně. Hlavní bronchy odstupují z trachey (uvnitř průdušnice je hrana, *carina tracheae*) pod úhlem 70–80° a mají obdobnou stavbu jako průdušnice.

Topografické vztahy

Pravý hlavní bronchus je eparteriální (leží nad *a. pulmonalis*), levý hlavní bronchus je hyparteriální. Pulmonální žíly leží kaudálně od bronchů.

Cévní a mízní systém, inervace

Bronchy jsou živeny větvemi z hrudní aorty (2–3 *rami bronchiales*, které někdy mohou odstupovat i z *a. thoracica interna* či některých interkostálních tepen).

Žilní krev odtéká cestou vv. *bronchiales* vpravo do v. *azygos* a vlevo do v. *hemiazygos*.

Mízní cévy sbírají mízu do mízních uzlin při průduškách (*nodis pulmonales*), dále do hilových (*nodis bronchopulmonales*) a nakonec do mediastinálních, tzv. tracheobronchiálních uzlin. Ty se dělí na dolní, resp. subkarinální, uložené centrálně pod bifurkací trachey (*nodis tracheobronchiales inferiores*), dále na horní tracheobronchiální uzliny, uložené kraniálně a laterálně v úhlech mezi tracheou a odstupem hlavních bronchů (*nodis tracheobronchiales superiores dextri et sinistri*). Nervy přicházejí z *n. vagus* a sympatických periarteriálních pletení.

(Pozn.: Anatomická nomenklatura uzlin se liší od klinické, používané v rámci TNM klasifikace.)

1.2.3 Plíce – *pulmones*

Plíce jsou párové orgány uložené v pleurálních dutinách. Prostor mezi nimi se nazývá mezihrudí (*mediastinum*). Pleurální dutinu vystýlá pohrudnice – nástěnná, parietální pleura (*pleura parietalis*), která kolem plicní stopky přechází v poplicnici – viscerální pleuru (*pleura visceralis*).

Topografie plicních hilů je u obou plic odlišná: v ***radix pulmonis dextra*** je kraniálně *bronchus principalis dexter*, uprostřed je *a. pulmonalis dextra* a ventrokaudálně jsou vv. *pulmonales*. V ***radix pulmonis sinistra*** je nahoře *a. pulmonalis sinistra*, uprostřed *bronchus principalis sinister* a dole vpředu vv. *pulmonales*.

Na mediálních plochách plic jsou patrné *otisky naléhajících orgánů*: před *hilus pulmonis pravé plíce* je otisk v. *cava superior* a *impressio cardiaca*, nad ním je otisk v. *azygos* a *a. subclavia dextra*, dorzálně je otisk jícnu. Na mediální ploše **levé plíce** je před hilem hluboká vkleslina (*impressio cardiaca*), za hilem je *sulcus aorticus* a nad hilem je otisk *a. subclavia sinistra* a mělký otisk prvního žebra. Plochy plic se setkávají v okrajích – *margo inferior*, *margo anterior* (má na levé plíci zářez *incisura cardiaca*, pod ním je *lingula pulmonis*).

Členění, struktura a vlastnosti plic

Plíce jsou rozděleny zářezy (mezilalokové rýhy – *fissurae*) na laloky (*lobi*).

Fissura obliqua (seu *maior*, tzv. velké interlobium) sbíhá na obou plicích na úrovni těla Th4 (na zadním okraji plic) k přednímu okraji plic ve výši chrupavky 6. žebra a dělí plíce na ***lobus superior*** a ***lobus inferior***.

Fissura horizontalis (seu *minor*, tzv. malé interlobium) je přítomna pouze na pravé plíci. Vychází v zadní axilární čáře od ***fissura obliqua***

a běží podél 4. žebra směrem ke sternu a odděluje střední lalok (*lobus medius*).

Plicní laloky jsou členěny na **bronchopulmonální segmenty** (*segmenta bronchopulmonalia*). Segmenty mají tvar kužele (s hrotem obráceným k hilu a bázi přivrácenou k povrchu plic) a jsou navzájem oddělené vazivovými septy. Do hrotu segmentu vstupují segmentární bronchus s větví plicní tepny, zatímco plicní žíly probíhají při přepážkách mezi segmenty.

Pravá plíce má tři laloky (horní, střední a dolní) a celkem 10 bronchopulmonálních segmentů, menší levá plíce má dva laloky (horní, zahrnující lingulu, která je určitou analogií středního laloku vpravo, a dolní) a obvykle 9 segmentů.

Z klinického hlediska je důležité, že dolní laloky plic jsou vůči horním lalokům lokalizovány spíše „vzadu“ než dole a horní laloky naopak spíše „vředu“ než nahoře. To má význam při lokalizaci patologických nálezů jak při fyzikálním, tak rentgenovém vyšetřování.

Například při fyzikálním vyšetření jsou nálezy (např. pneumonie) lokalizované v dolních lalocích zjistitelné poklepem a poslechem na zádech, při lokalizaci v horních lalocích na hrudi. Při RTG vyšetření může např. pneumonie postihující levý horní lalok způsobit na zadopředním snímku zastření celého hemithoraxu a teprve z bočního snímku je patrné, že levý dolní lalok není postižen.

Jednotky menší než segmenty se v klinické terminologii označují jako subsegmenty. *Bronchi segmentales* se postupně dělí až na průdušinky (*bronchioli*). Průdušinky mají průměr ≤ 1 mm, jejich stěna již nemá chrupavčité výztuže a žlásky, obsahuje však hladkou svalovinu (mění průsvit) a elastická vlákna. Tato elastická vlákna přecházejí do okolního intersticia – zjednodušeně si lze představit, že bronchioly jsou hadice, zavěšené na paprscitě vybíhající pružiny elastických vláken, která brání kolapsu jejich lumen. Tento mechanismus, nazývaný v anglické literatuře „**elastic recoil**“, brání kolapsu stěny bronchiolů, které již nemají chrupavčitou oporu, především během výdechu. *Bronchioli terminales* již nemají řasinkový epitel a větví se ve 2–3 *bronchioli respiratorii* (mají v průměru 0,2–0,3 mm, obsahují kubický epitel a z jejich stěny se vyklenují plicní sklípky). Tyto respirační průdušinky se větví na 5 až 10 *ductuli alveolares* (s plochým epitelem), přecházejících v *atria alveolaria*. Na jejich konci jsou slepá rozšíření (*sacculi alveolares*), vyklenující se v tenkostěnné plicní sklípky (*alveoli pulmonis*). Plicní sklípky mají průměr 0,15–0,90 mm a jsou zevně kryty kapilárními sítěmi.

Základní morfologickou a funkční jednotkou plic je sekundární plicní lalůček (*lobulus pulmonis secundarius*) o velikosti 0,5–2 cm, ventilova-

ný *bronchiolus terminalis*. Jeho součástí je *lobulus pulmonis primarius* s alveoly náležejícími jednomu respiračnímu bronchiolu.

Stěna alveolů je vystlána pneumocyty (I. a II. typu) a obsahuje též alveolární makrofágy. Mezi laloky, segmenty a kolem bronchiálního stromu je intersticiální vazivo tvořící septa, směrem k hilu plic je vazivo mohutnější. Vzájemné naléhání alveolárních stěn a přítomnost intersticiální tkáně s významným množstvím elastických vláken jsou zodpovědné za tzv. **strukturální interdependenci** plic. To znamená, že pokud malá oblast alveolů uvnitř lalůčku kolabuje, okolní tkáň je napínána a snaží se kolabovanou oblast opět rozvinout. Tato skutečnost, spolu s existencí interalveolárních komunikací a přítomnosti surfaktantu napomáhá prevenci atelektáz při obstrukci bronchiolů.

Velikost plic: výška činí u muže v průměru 20–24 cm. Průměrná hmotnost pravé plíce je 620 g, levé 560 g. Hustota normální vzdušné plicní tkáně je 0,4–0,8 g/cm³ (plíce na vodě plavou, naopak plíce mrtvé narozených plodů ve vodě klesají). Objem plic u dospělých osob dosahuje v průměru 4000–6500 ml, u některých jedinců (trénovaní sportovci, např. potápěči) až 8–9 litrů. Je třeba rozlišovat (celkový) objem plic a vitální kapacitu – viz odd. 1.3.1 Dílčí procesy respirace.

Barva plic je nejprve růžová (u novorozence), později dostává šedé až šedočerné mramorování, způsobené vdechnutými inertními prachovými částicemi, které jsou uloženy ve vazivu plic a v mizních uzlinách (obvykle jsou fagocytovány v makrofázích – tzv. antrakofágy).

Cévní a mizní systém, inervace

Oběh krve v plicích je dvojitý. **Nutritivní oběh** je zajištěn *rr. bronchiales* (z hrudní aorty a často i z některé mezižební tepny, event. též z *a. thoracica interna* aj.), které dosahují až k *bronchioli respiratorii* a k poplicnicí. V periférii mají řadu anastomóz s větvemi *a. pulmonalis*. *Venae bronchiales* ústí do *v. azygos*, *v. hemiazygos*, popř. do *vv. intercostales*. Žilní krev z řečiště kolem bronchů v periférii plíce je odváděna řadou anastomóz do plicních žil. Anastomózy (arterioarteriální, arteriovenózní) napomáhají vyrovnávat objemové změny v krevním řečišti, propojují funkční a nutritivní oběh. **Funkční oběh** je tvořen malým krevním oběhem. Arteriální větve pokračují podél bronchiolů až na povrch alveolů, kde vytvářejí husté kapilární síť. Pulmonální žíly se sbírají z těchto sítí, probíhají nezávisle na nutritivních cévách ve vazivové tkáni v septech a konečně při plicním hilu vytvářejí *venae pulmonales*, ústící v počtu 2–3 vpravo a 2 vlevo do levé srdeční síně.

Mizní cévy plic tvoří povrchové (pleurální) síť a hluboké (pulmonální) cévy, lemující bronchy. Z plic vycházejí přes hilové mizní uzliny.

Z dolních laloků obou plic, ze středního laloku pravé plíce i linguly plíce levé proudí lymfa dále do oblasti dolních mediastinálních (subkarinálních) uzlin. Klinicky důležitá je skutečnost, že ze subkarinálních uzlin proudí míza téměř výhradně do horních tracheobronchiálních uzlin vpravo a odtud pak do *ductus lymphaticus dexter*, drénujícího současně nadklíčkovou i krční oblast vpravo. Horní lalok pravé plíce je do pravostanných tracheobronchiálních uzlin drénován přímo. Pouze kraniální tři segmenty levé plíce (analogické hornímu laloku vpravo) jsou drénovány do levostranných tracheobronchiálních uzlin a odtud do *ductus thoracicus*.

Míza z převážné části obou plic (vyjma horní části plíce levé) tedy směřuje do centrálních mízních cest doprava – což vysvětluje častější metastazování infekčních či nádorových procesů do pravého nadklíčku a na pravou stranu krku.

Inervace plic je především zajištěna autonomními nervy – parasympatickými (z *nn. vagi*) a sympatickými (z *ganglion cervicale medium et inferius* a tří horních ganglií hrudních) vlákny. Vytvářejí v hilu *plexus pulmonalis*. Z pletení jdou vlákna podél bronchů a arterií. Senzitivních vláken je velmi málo.

Pokleповé hranice plic jsou uvedeny v kapitole 2 Základní vyšetřovací metody v pneumologii.

1.2.4 Poplicnice a pohrudnice – *pleura visceralis et parietalis*

Pleura je serózní blána obsahující jednu vrstvu mezotelových buněk (produkují serózní tekutinu) a tenkou vazivovou vrstvu (subserózní vazivo). Toto velmi pružné vazivo tvoří součást elastického napínacího systému plic.

Poplicnice (*pleura visceralis*) je pevně srostlá s plicemi a přechází na plicní stopce v pohrudnici, která vystylá samostatné pleurální dutiny.

Pohrudnice (*pleura parietalis*) má tři části: *pleura costalis* (přivrácená k žebrům), *pleura mediastinalis* (obrácená k mezihrudí) a *pleura diaphragmatica* (pokrývá brániční).

Cupula pleurae je vrcholek pleury přesahující kraniálně o 2 cm klíční kost. Je kryta Sibsonovou fascií (z nitrohruďní fascie). Přes vrchol pleury přebíhá *a. subclavia* a *v. subclavia* – tato skutečnost je zdrojem iatrogenních pneumotoraxů při kanylaci podklíčkové žíly. **Recessus pleurales** jsou záhyby (výběžky) na vzájemných přechodech částí pohrudnice. Nejhlubší výběžek je *recessus costodiaphragmaticus*, je dolní hranicí pleury mezi její žeberní a brániční částí. Nejhlouběji zasahuje tento *recessus*

дорзálně – v tomto místě se proto nejdříve hromadí event. počínající výpotek a také se zde může „ukrývat“ patologický nálezn, nezjistitelný na prostém zadopředním snímku hrudníku (viz odd. 2.3.10 Skiagram hrudníku). Přední okraj plíce se zasouvá do *recessus costomediastinalis*. Mezi brániční a mediastinální částí je *recessus phrenicomediastinalis*.

Cévní a mízní systém, inervace

Krevní cévy pohrudnice přicházejí z hrudní stěny, mediastina a bránice. Poplicnice je živena plicními cévami. Míza z pohrudnice odtéká do mízních cév hrudní stěny, mediastina a bránice. Mízní cévy pohrudnice mají stomata a jsou opatřeny chlopněmi, umožňujícími pouze jednosměrný odtok lymfy. Mízní cévy poplicnice související s povrchovými mízními cévami plic mají také chlopně, ale nemají stomata.

Mechanismus tvorby a cirkulace pleurální tekutiny není přesně znám. Má se za to, že u zdravých osob převládá sekrece i vstřebávání v oblasti parietální pleury – sekrece krevními vlásečnicemi a vstřebávání mízními cestami.

Nervy poplicnice přicházejí z autonomního *plexus pulmonalis* (poplicnice je málo citlivá), naopak pohrudnice je velmi citlivá – je inervována z *nervi intercostales*, *n. phrenicus* a v menší míře z *plexus brachialis*, který inervuje *cupula pleurae*.

Hranice pleurální dutiny

Ventrální hranice sestupují od *cupula pleurae* sbíhavě do úrovně 2. žeberní chrupavky, odtud po 4. žebro. Od 4. žebra se oboje rozbíhají (více vlevo shodně s *incisura cardiaca*) k chrupavce 6. žebra. **Dolní hranice** probíhají podél oblouků dolních žeber: v medioklavikulární čáře jsou při 7. žebru, v přední axilární čáře při 8. žebru, ve střední axilární čáře při 9. žebru, v zadní axilární čáře při 10. žebru. V čáře skapulární probíhají při dolním okraji 11. žebra a dále vedou ke kostovertebrálnímu kloubu 12. žebra. **Zadní hranice** probíhá vlevo od trnu Th12 do výše C7 a odtud do *cupula pleurae*. Vpravo je hranice obdobná, avšak v rozsahu obratlů Th12 až Th4 se posouvá před obratlovými těly za jícen (tvoří *recessus retrooesophageus*).

1.2.5 Mezihrudní prostor – mediastinum

Mediastinum je prostor mezi oběma pleurálními dutinami. Je vymezen vpředu sternem, vzadu páteří a po stranách mediastinální pleurou. Kraniaálně zasahuje až k *apertura thoracis superior*, kaudálně je ohraničen bránicí. Obsahuje řadu orgánů, mezi nimiž je řídké vazivo. Mediastinum je konvenčně děleno (rovinou proloženou manubriosternálním spojením vpředu a meziobratlovou ploténkou mezi Th4/5 vzadu) na tyto oddíly: *mediastinum superius* a *mediastinum inferius*, které se dále dělí na *mediastinum anterius*, *medium* a *posterius*.