

Univerzita Palackého v Olomouci
Přírodovědecká fakulta
Katedra experimentální fyziky



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Dýchání člověka jako integrované téma ve výuce
fyziky a biologie**

Autor:	Lucie Pavlásková
Studijní program:	B1701 Fyzika
Studijní obor:	Fyzika – Biologie
Forma studia:	Prezenční
Vedoucí práce:	Doc. RNDr. Roman Kubínek, CSc.
Termín odevzdání práce:	2016

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením doc. RNDr. Romana Kubínka, CSc. a že jsem použila zdroje, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

V Olomouci

.....

Poděkování:

Touto cestou chci v první řadě poděkovat doc. RNDr. Romanu Kubínkovi, CSc za vedení práce, cenné rady a pomoc, které mi byly dány během tvorby práce. Také děkuji za kontakty, díky kterých jsem mohla uskutečnit experimentální část. Děkuji RNDr. Renatě Holubové, CSc. za pomoc s experimentálním měřením vitální kapacity plic, MUDr. Mgr. Martině Jakobové za kontrolu biologické části, Fakultní nemocnici Olomouc za provedení spirometrického vyšetření a MUDr. Lence Hajdové za konzultaci výsledků. Také děkuji učitelům gymnázia za umožnění průzkumu a všem studentům, kteří se podíleli na experimentální části.

Děkuji rodině a přátelům za velkou podporu při studiu.

Bibliografická identifikace:

Jméno a příjmení autora	Lucie Pavlásková
Název práce	Dýchání člověka jako integrované téma ve výuce fyziky a biologie
Typ práce	Bakalářská
Pracoviště	Katedra experimentální fyziky
Vedoucí práce	doc. RNDr. Roman Kubínek, CSc.
Rok obhajoby práce	2016
Abstrakt	Bakalářská práce je zaměřena na propojení fyziky a biologie v oblasti dýchání člověka. Vysvětluje pohyb plynů v lidské těle, a zároveň fyzikální zákony, které v dýchací soustavě probíhají. Klade důraz na funkční vyšetření plic, které je v dnešní době velice žádané. Zkoumá informovanost studentů střední a vysoké školy o tomto tématu. Práce je doplněna o zajímavosti a návod na měření vitální kapacity plic.
Klíčová slova	dýchání, plyny, spirometrie, vitální kapacita plic
Počet stran	60
Počet příloh	3
Jazyk	Český

Bibliographical identification:

Autor's first name and surname	Lucie Pavlásková
Title	Human breathing as an integrated theme in teaching physics and biology
Type of thesis	Bachelor
Department	Department of Experimental Physics
Supervisor	doc. RNDr. Roman Kubínek, CSc.
The year of presentation	2016
Abstract	Bachelor thesis is focused on linking physics and biology in human breathing. Explains the movement of gases in the human body, while the physical laws that take place in the respiratory system. This work emphasizes on lung function tests, which nowadays is very much in demand. Examines the awareness of high school students and university students on this topic. The work is complemented with interest and instruction on the measurement of vital lung capacity.
Keywords	respiration, gases, spirometry, vital lung capacity
Number of pages	60
Number of appendices	3
Language	Czech

Obsah

ÚVOD	8
1 FYZIKA DÝCHÁNÍ	10
1.1 IDEÁLNÍ PLYNY	10
1.2 REÁLNÉ PLYNY	11
1.3 DALTONŮV ZÁKON.....	11
1.4 HENRYHO ZÁKON.....	12
1.5 FICKŮV ZÁKON.....	12
1.6 LAPLACEŮV ZÁKON	13
2 FYZIOLOGIE DÝCHÁNÍ	14
2.1 ANATOMIE DÝCHACÍHO SYSTÉMU	14
2.1.1 <i>Cesta vzduchu v lidském těle</i>	14
2.1.2 <i>Plíce jako vzdušný vak</i>	15
2.2 MECHANIKA DÝCHÁNÍ	16
2.2.1 <i>Vnější dýchání</i>	16
2.2.2 <i>Vnitřní dýchání</i>	17
2.2.3 <i>Dýchací svaly</i>	17
2.3 ŘÍZENÍ DÝCHÁNÍ	18
3 ZAJÍMAVOSTI SPOJENÉ S DÝCHÁNÍM	20
3.1 PŮSOBENÍ VNĚJŠÍHO PROSTŘEDÍ NA DÝCHACÍ SOUSTAVU	20
3.1.1 <i>Podtlak</i>	20
3.1.2 <i>Přetlak</i>	20
3.2 PNEUMOTORAX	22
3.3 BRONCHIÁLNÍ ASTMA	23
3.4 KYSLÍKOVÝ DLUH	24
4 SPIROMETRIE	25
4.1 SPIROMETRICKÉ VYŠETŘENÍ.....	28
4.1.1 <i>Profesionální vyšetření</i>	28
4.1.2 <i>Školní spirometrie</i>	31
4.2 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ VITÁLNÍ KAPACITY PLIC	36

4.3 NÁVOD NA MĚŘENÍ VITÁLNÍ KAPACITY PLIC SPIROMETREM VERNIER	38
5 PRŮZKUM INFORMOVANOSTI STUDENTŮ	39
5.1 ŘEŠENÍ TESTOVÝCH OTÁZEK	39
5.2 VÝSLEDKY PRŮZKUMU	43
ZÁVĚR	47
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	48
CITACE OBRÁZKŮ:	50
PŘÍLOHA 1	51
PŘÍLOHA 2	53
PŘÍLOHA 3 - NÁVOD NA LABORATORNÍ CVIČENÍ Z FYZIKY A BIOLOGIE.....	55

Úvod

Fyzikové často argumentují tím, že „za vším stojí fyzika“. Málokomu však dochází, že se nejedná jen o děje, které každodenně pozorujeme kolem nás, ale také bychom našli její podstatný vliv i v našem těle. Zpravidla potom před fyziku stavíme předponu „bio“. Pokud je spojena s fungováním lidského těla jedná se o obor lékařské biofyziky, která je úzce spojena s medicínským oborem fyziologie a zabývá se tím, jak je tělo řízeno ve svých jednotlivých funkcích, které zachovávají život člověka.

Jeden z mnoha procesů v lidském těle, který spojuje fyziku s biologií, ale i s dalšími obory, je dýchání. Dýchání, je pro život zcela nezbytné. Probíhá ve všech živých organismech. Je spojeno nejen s biologickými procesy, ale také se známými fyzikálními zákony a ději, které spadají především do oblasti molekulové fyziky.

Hlavním důvodem, proč mě toto téma zaujalo, byly mezipředmětové vazby fyziky a biologie, což je kombinace, kterou jsem si vybrala v rámci učitelské kombinace na naší fakultě. Vztahy fyziky a biologie se na středních školách, a hlavně v středoškolských učebnicích vesměs opomíjejí, a tím studenti přicházejí o spoustu důležitých a zajímavých informací. Proto jeden z mých hlavních cílů je uchopit bakalářskou práci tak, aby přinesla užitek nejen mně, ale i ostatním studentům a žákům. Středoškolským učitelům pak může poskytnout námět do semináře z fyziky.

Bakalářská práce je rozdělena na část teoretickou a experimentální. V teoretické části je na dýchání nahlíženo zvlášť z pohledu fyziky a biologie s tím, že jsou navzájem propojeny a odkazovány na sebe. Také je součástí „kapitola zajímavostí spojených s dýcháním“, která obsahuje z mého pohledu poutavé informace. Experimentální část věnuji hlavně funkčnímu vyšetření plic. Porovnávám spirometrii, používanou jako standardní vyšetření na plicních klinikách a ve zdravotnických zařízeních, s orientačním měřením se spirometrickou sondou Vernier, kterou lze využít na střední škole. V experimentální části dále srovnávám vitální kapacitu plic studentů přírodovědecké fakulty ve spojení s různými mimoškolními aktivitami, které ovlivňují objem plic (například sportovní či hudební aktivity). Součástí experimentální části je také průzkum informovanosti studentů gymnázia a vysoké školy na sadě testových otázek z oblasti dýchání člověka. V příloze je potom sestaven návod na laboratorní cvičení se spirometrem Vernier.

V názvu práce se objevuje, že jde o integrované téma. Měli jsme na mysli hlavně mezipředmětové vazby, nebo jak se ta integrace projeví.

Cílem bakalářské práce je popsat mezipředmětové vazby mezi fyzikou a biologií u tématu fyzika a fyziologie dýchání. Dále v rámci spirometrie porovnat vitální kapacitu plic sportovců, hráčů na hudební nástroj, zpěváků, a ostatních. V poslední řadě srovnat znalostní rozdíly studentů všeobecného gymnázia, technického gymnázia a prvního ročníku bakalářského studia fyziky.

1 Fyzika dýchání

Kapitola je zaměřena na základní fyzikální jevy, které probíhají při dýchání. Nejedná se pouze o učivo ze střední školy. Většina zákonů, které se zde vyskytují, nespádají do oblasti fyziky, ale biofyziky.

1.1 Ideální plyny

Ideální plyn představuje model, který umožňuje jednodušší výpočty plynů. Již slovo „ideální“ naznačuje, že v reálném světě neexistuje. Definuje se jako dokonale stlačitelný plyn, bez vnitřního tření. Molekuly plynu jsou kulovitého tvaru s velmi malou hmotností. Velikostně jsou zanedbatelné oproti průměrné vzdálenosti od sebe. Jsou to pružné koule, to znamená, že se dokonale od sebe odrážejí. Molekuly na sebe nepůsobí žádnými silami (pouze při srážce), proto konají rovnoměrně přímočarý pohyb. V momentě, kdy dojde ke srážce, se molekula začne pohybovat s jinou rychlostí. Tento pohyb se zdá být chaotický. Jelikož se jedná o pružné srážky, musí dojít k zákonu zachování hybnosti, a navíc k zákonu zachování mechanické energie, kde se kinetická energie přeměňuje na potenciální. Molekuly ideálního plynu nemají potenciální energii, poněvadž na ně nepůsobí tíhová síla. Proto se při pružné srážce mění pouze energie kinetická.

Pro ideální plyny platí stavová rovnice (1), která popisuje stav plynné soustavy pomocí základních veličin tlaku p , objemu V , termodynamické teploty T a látkového množství n .

$$pV = nRT, \quad (1)$$

kde R je univerzální plynová konstanta ($R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$). Rovnice (1) určuje stav plynů a je užitečná k pochopení základních biofyzikálních dějů.

Známé děje s ideálními plyny vycházejí z předpokladu, že plyn má látkové množství 1 mol a jedna ze stavových veličin je konstantní. Při dýchání se uplatňuje děj izotermický. Pro izotermický děj ideálních plynů platí **Boyle–Mariottův zákon**, který říká, že tlak plynu je nepřímo úměrný jeho objemu. Jinými slovy, zvětší-li se tlak plynu, zmenší se jeho objem a naopak (více: [1]). U reálných plynů se tento děj nevyskytuje, ale můžeme si jej pro příklad velice zjednodušeně představit při plicní ventilaci (Vnější dýchání). [1, 2, 3, 4]

1.2 Reálné plyny

V běžném životě se setkáváme s reálnými plyny, které se pouze za normálních podmínek, to znamená při termodynamické teplotě $T = 273,15$ K a tlaku $p = 101,325$ kPa, chovají jako plyny ideální. Za těchto předpokladů můžeme použít stavovou rovnici ideálních plynů (1).

Od ideálních plynů se markantně liší při nízkých teplotách a vysokých tlacích. Při vysokých tlacích začnou mezi molekulami působit síly, které je drží při sobě. Také se zmenšuje objem se zvyšujícím tlakem. Poněvadž reálné plyny mají nenulovou hmotnost, rovnice (1) nebere v úvahu vlastní objem molekul. Proto se pro reálné plyny používá Van der Waalsova rovnice (2), která upravuje vlastní objem molekul a síly soudržnosti v rovnici ideálních plynů (1).

$$\left(p + \frac{a}{V_m^2}\right)(V_m - b) = R_m T, \quad (2)$$

kde a , b jsou konstanty závislé na druhu plynu. Nelze je určit početně, určují se experimentálně. [1, 4]

1.3 Daltonův zákon

Atmosférický vzduch je složen z dílčích plynů – dusík, kyslík, oxid uhličitý. Jestliže známe procentuální zastoupení plynných částí a tlak vzduchu, jsme schopni vypočítat jednotlivé tlaky složek neboli parciální tlaky. Daltonův zákon říká, že součet parciálních tlaků složek p_i je rovný celkovému tlaku směsi p (3).

$$p = \sum_{i=1}^n p_i. \quad (3)$$

Pokud dojde k nasycení plynu vodou, poklesnou parciální tlaky složek. Tohoto poklesu se využívá v dutině nosní. Vzduch se sytí vodní parou, aby kyslík, který vstupuje do dýchacích cest, měl menší parciální tlak. Pro lidské tělo jsou parciální tlaky kyslíku a oxidu uhličitého velmi důležité. Hodnota parciálního tlaku kyslíku při vdechu navozuje výměnu dýchání. Když je parciální tlak velký, může dojít k hyperoxii (Přetlak), zatímco když je příliš malý k hypoxii (Podtlak). Kyslík a oxid uhličitý difundují vždy ve směru tlakového spádu (Vnější dýchání, vnitřní dýchání). [1, 5, 6]

1.4 Henryho zákon

Henryho zákon vyjadřuje fyzikální princip rozpustnosti plynů v kapalinách. Závisí na teplotě, vnějším tlaku a druhu plynu. Platí pro něj vztah (4), který popisuje přímou úměru mezi koncentrací rozpuštěného plynu C_i a parciálním tlakem plynu ve vnějším prostředí p_i .

$$C_i = K_i \cdot p_i, \quad (4)$$

kde K_i je koeficient rozpustnosti plynu závislý na teplotě kapaliny a tlaku. Čím vyšší je teplota kapaliny, tím klesá rozpustnost plynů.

Právě díky rozpustnosti plynů ve vodě existuje pestrý vodní svět, jehož organismy jsou závislé na rozpuštěném kyslíku. S Henryho zákonem jsou obeznámeni hlavně potápěči ve velkých hloubkách, kterým při nedodržení pravidel hrozí dekomprese (Přetlak). Dekomprese nehrozí jen potápěčům, ale také vodním živočichům, kteří dýchají plicemi a musí si pro atmosférický kyslík dojít z hlubin až nad hladinu moře. [6, 7]

1.5 Fickův zákon

Difúze je pohyb částic, které přechází z jedné soustavy do druhé. Může probíhat ve všech skupenstvích. Hnací silou je elektrochemický gradient, ten určuje směr pohybu částic. Difúze probíhá na základě rozdílu koncentrací, to znamená, že molekuly z vyšší koncentrace putují do místa s nižší koncentrací až do dovršení rovnováhy. Děj probíhá samovolně, to znamená, že k jeho aktivaci není třeba dodat energii. Je ovšem závislý na teplotě. Se zvyšující se teplotou roste rychlost pohybu částic, a tím se zvyšuje rychlost difúze. První Fickův zákon difúze popisuje závislost hustoty difúzního toku h na změně gradientu koncentrace k (5). Znaménko mínus představuje tok difúze ve směru koncentračního spádu.

$$h = -D \frac{\Delta k}{\Delta l}, \quad (5)$$

kde D je difúzní koeficient, l je vzdálenost dvou soustav.

Druhý Fickův zákon vyjadřuje změnu koncentrace s časem, z toho vyplývá, že rychlost difúze je závislá na čase. Rovnovážný stav difúze je, když rychlost újmu koncentrace je stejná jako příjmu. Pokud v lidském těle dojde k nerovnováze v příjmu a výdaji koncentrace dýchacích plynů, například v důsledku zvýšené sportovní aktivity, tělo na tento stav reaguje zvýšením frekvence dýchání. Difúze je klíčový děj, díky němuž dochází k přenosu plynů v lidské těle (Vnější dýchání, vnitřní dýchání). [1, 2, 8]

1.6 Laplaceův zákon

Laplaceův zákon se vztahuje na duté struktury a popisuje přímou závislost mezi tlakem p a povrchovým napětím T . Pokud je tvar sférický a tenkostěnný, oba poloměry křivosti R jsou velikostně stejné a platí pro ně vztah (6).

$$\Delta p = \frac{2T}{R}, \quad (6)$$

kde Δp je rozdíl vnitřního a vnějšího tlaku. Čím menší je poloměr struktury, tím větší je vnitřní tlak. Jako příklad můžeme uvést bubliny. Pokud otevřeme šampaňské, malé bubliny vytváří silné šumění, zatímco velké bubliny piva zvuk nevytváří.

Laplaceův zákon se vztahuje i na plicní sklípky. Soubor plicních sklípků funguje jako propojené bubliny. Pokud máme jednu bublinu A větší a druhou bublinu B menší, tak díky propojení začne putovat větší tlak do bubliny A, což způsobí zmenšení bubliny B. Vnitřní tlak bubliny B se bude postupně zvětšovat až expanduje. Takto pracují plicní sklípky při dýchání. Aby nedošlo ke kolapsu plic, je na plicních sklípcích přítomna látka, která se nazývá surfaktant (Plíce jako vzdušný vak). V alveolech zajišťuje stabilitu na rozhraní vzduch-kapalina. Také snižuje sílu, kterou musí bránice vykonat, aby roztáhla alveoly. U dospělého člověka, při ploše svalů bránice 500 cm^2 , vynakládá sílu přibližně 150 N . Z toho vyplývá, že bránice pracuje se závažím o hmotnosti 15 kg (Dýchací svaly). [8, 9, 10]

2 Fyziologie dýchání

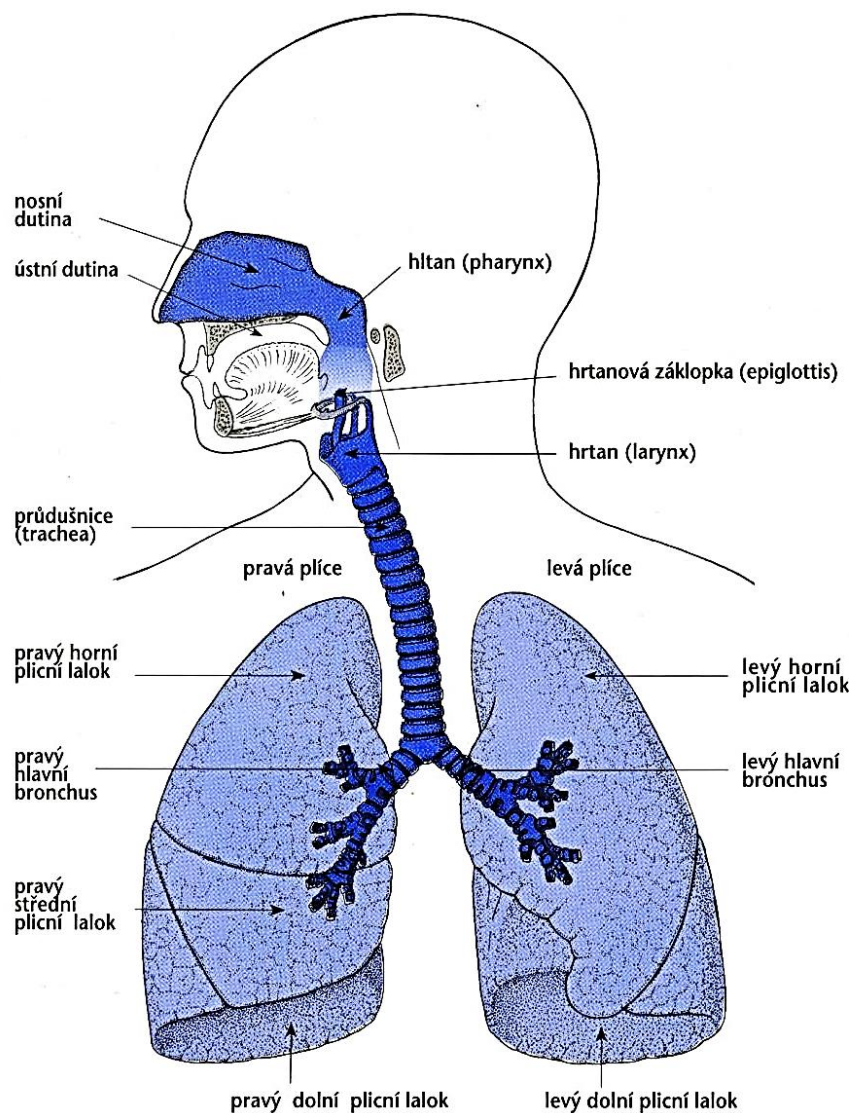
2.1 Anatomie dýchacího systému

V této kapitole si objasníme základní části dýchacích cest, jejich posloupnost a důležité funkce, které jsou nezbytné ke správnému pochopení dýchání.

2.1.1 Cesta vzduchu v lidském těle

Dýchací cesty rozlišujeme na horní a dolní. Dutina nosní (*cavitas nasi*) a nosohltan (*nasopharynx*) tvoří horní dýchací cesty, zatímco hrtan (*larynx*), průdušnice (*trachea*) a průdušky (*bronchi*) jsou součástí dolních dýchacích cest (Obr. 1).

Vzduch se do těla dostává prostřednictvím dvou cest. První, a taky nejvyužívanější vstup, je dutina nosní, v níž se vdechovaný vzduch čistí, ohřívá na tělesnou teplotu a sytí vodní párou. Druhá cesta je dutinou ústní, kterou na dýchání používáme hlavně při fyzické zátěži nebo ucpání dutiny nosní. Vzduch z obou směrů pokračuje do nosohltanu, který tvoří horní část hltanu. Právě přes hltan prochází nejen dýchací soustava, ale také trávicí soustava. Toto spojení nám umožňuje dýchat ústy i nosem. Z hltanu se vzduch posouvá do hrtanu. Zde dochází ke vzniku hlasu díky hlasivkovým vazům, které jsou odděleny štěrbinou. Hlasivková štěrбина neustále pracuje. Při nádechu se rozšiřuje, naopak při výdechu zužuje. Aby nedocházelo ke vniknutí potravy či tekutiny do dolních dýchacích cest, nachází se v hrtanu chrupavčitá záklopka (*epiglottis*), která při polykání uzavírá vstup do hrtanu a potrava může bezpečně pokračovat do trávicího traktu. Vzduch dále pokračuje do průdušnice, která se dichotomicky dělí na dvě průdušky – pravou a levou. Průdušky se dále větví a svou strukturou tvoří průduškový strom. Se zvyšujícím se větvením se zvětšuje průsvit větví, ale zmenšuje se jejich průměr. Jelikož je vzduch stlačitelný, jsou průdušnice a průdušky vyztuženy podkovovitými chrupavkami, které udržují dýchací cesty stále otevřené a průchozí. Nejmenší průdušinky (*bronchioly*), nazývané terminální, uzavírají vodivou (konduktivní) zónu, která měla za úkol pouze přivést vzduch do místa, kde dojde k výměně plynů. V respirační zóně již dochází k výměně plynů. Vzduch prochází z respiračních průdušinek alveolárními chodbičkami a váčky až do plicních sklípků (*alveolů*). Kdybychom spočítali plochu těchto velmi početných, ale průměrově malých (0,2 mm) a jemných struktur, zjistili bychom, že pokrývá čtyřicetinasobek plochy lidského těla. Atmosférické plyny se z plicních sklípků dostávají do krevního řečiště. Kyslík, který je součástí směsi plynů, zásobuje tkáně a životně důležité orgány. [11, 12, 13]



Obr. 1 Stavba dýchací soustavy (převzato z: [29], upraveno)

2.1.2 Plíce jako vzdušný vak

Plíce (*pulmo*) jsou velmi důležitý párový orgán, které mají své místo, spolu se srdcem, v dutině hrudní. Mezihrudní přepážka (*mediastinum*) je dělí na pravou a levou plíci. Pravá plíce je větší a má tři laloky, zatímco levá plíce je vzrůstově menší. Skládá se ze dvou laloků, a tím vytváří místo pro srdce (Obr. 1). Na povrchu plic se nachází vazivová blána poplicnice (*viscerální pleura*), vnitřní strana hrudníku je pokryta pohrudnicí (*parietální pleura*) a mezi nimi je intrapleurální prostor vyplněný tekutinou. Díky povrchovému napětí tekutiny jsou plíce rozvinuté, dýchání je snadnější, blány po sobě kloužou a třecí síla je tedy minimální. Na smršťování plic se podílí síly elastického napětí plic a povrchového napětí plicních sklípků.

Aby k tomu nedošlo, působí v opačném směru síla elastického napětí hrudníku, která jej roztahuje. Výsledkem je negativní nitrohrudní tlak, který je potřebný pro stálé rozednutí plic.

Vnitřní prostor plic se skládá z průdušinek, plicních váčků, sklípků, které jsou obklopeny nervy, krevními cévami a kapiláry. Uvnitř plicních sklípků je na povrchu tenká vrstva zvaná surfaktant, která usnadňuje přenos dýchacích plynů difúzí do krve. Surfaktant obsahuje bílkoviny a tuky, jenž přispívají ke snížení povrchového napětí na alveolo-kapilární membráně (Laplaceův zákon). [11, 12]

2.2 Mechanika dýchání

Dýchání představuje souhrn několika dějů, které probíhají v krátkém časovém měřítku. My si jej rozdělíme na dvě odvětví - vnější a vnitřní. Pod pojmem vnější dýchání rozumíme výměnu kyslíku a oxidu uhličitého mezi atmosférou a plicními sklípků, zatímco vnitřní dýchání zajišťuje výměnu plynů mezi krví a tkáněmi. Součástí této kapitoly jsou dýchací svaly, které hrají významnou roli při nádechu a výdechu.

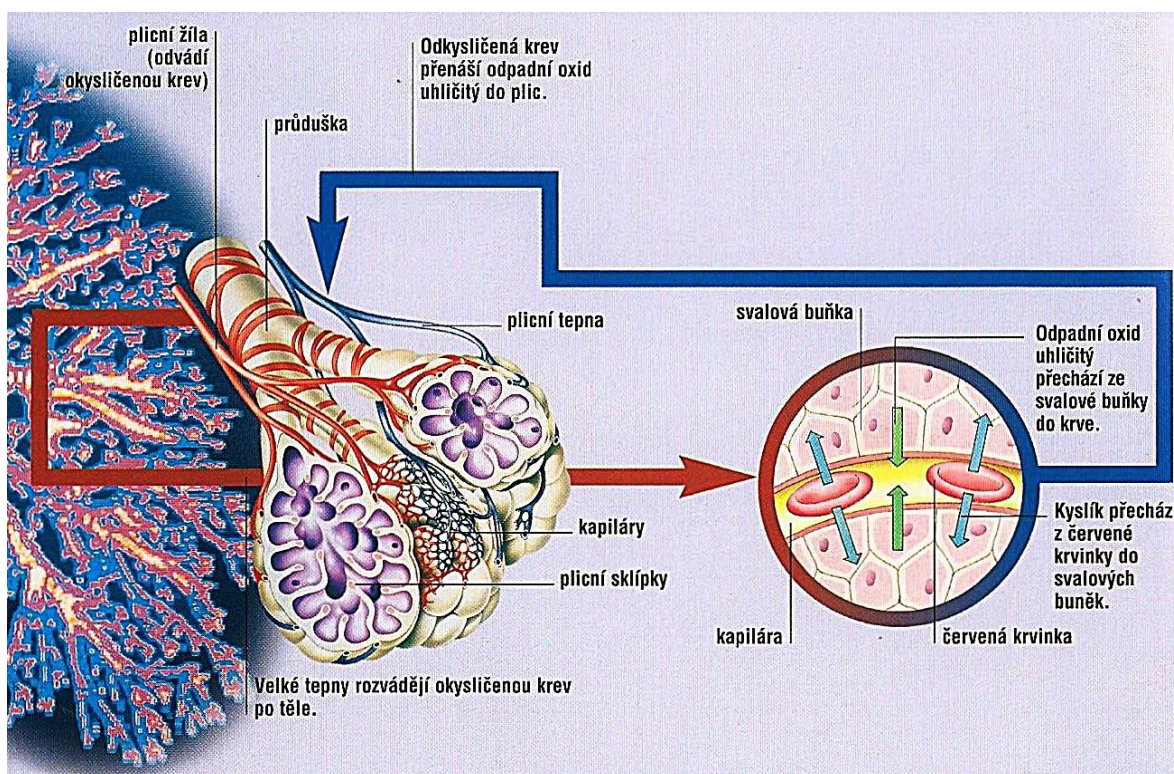
2.2.1 Vnější dýchání

Při plicní ventilaci dochází k výměně vzduchu mezi okolním prostředím a plicemi, kde tlak i objem plic se mění, zatímco teplota zůstává stálá (Boyle-Mariottův zákon). Proudění vzduchu probíhá na základě rozdílnosti tlaku atmosférického a alveolárního (tlaku plicních sklípků). Před nádechem vzduch neproudí, protože jsou tlaky vyrovnané. Při nádechu (*inspiriu*) poklesne tlak v plicích pod hodnotu atmosférického tlaku a vzduch proudí ve směru tlakového spádu do plic. Se snižujícím se alveolárním tlakem se zvětšuje objem plic. Vyrovnání tlaků signalizuje konec nádechu. Při výdechu (*expiriu*) naopak objem vzduchu klesá. Tlak v plicích stoupne nad hodnotu atmosférického tlaku a vzduch může proudit opět po tlakovém spádu z plic do atmosféry. V okamžiku kdy jsou oba dva tlaky v rovnováze, končí výdech a dýchací cesty se opět připravují na další nádech.

Výměna plynů z plicních sklípků do krve a naopak probíhá na základě difúze (Fickův zákon), to znamená ve směru koncentračního spádu (Obr 2). Kyslík putuje z alveolů přes alveolo-kapilární membránu do plicních kapilár, přesněji do červených krvinek, kde se váže na červené krevní barvivo hemoglobin. Naopak oxid uhličitý přechází z kapiláry přes alveolo-kapilární membránu do alveolů. Jelikož má oxid uhličitý větší rozpustnost než kyslík, lépe difunduje z krve do plicních sklípků. Alveolo-kapilární membrána funguje jako cedník. Když se ucpe, voda neteče ani tam, ani zpátky. Tedy čím je stěna tlustší, tím je rychlost difúze menší. [11, 5]

2.2.2. Vnitřní dýchání

Vnitřní dýchání zahrnuje dopravu kyslíku z krve do tkání přes kapilární stěnu, kde se ukládá do svalových buněk jako zásobárna kyslíku pro případ zvýšené aktivity svalů. Kyslík se také spotřebovává v buněčném dýchání na výrobu energie. Jako odpadní produkt této reakce vzniká oxid uhličitý, který se uvolňuje z tkání a ve směru tlakového spádu difunduje do krve (Obr 2). [11]



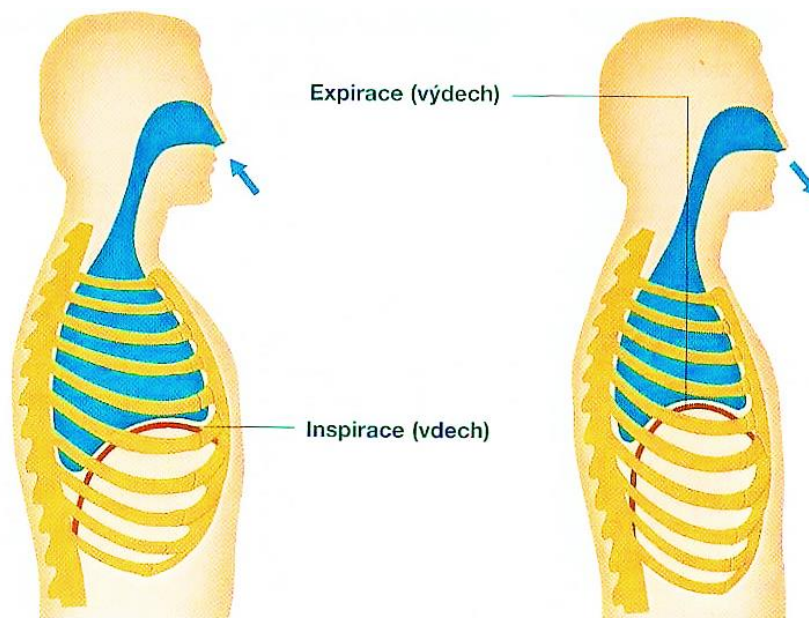
Obr. 2 Putování dýchacích plynů (převzato z: [30])

2.2.3. Dýchací svaly

Hlavním dýchacím svalem je bránice (*diaphragma*), která je na Obrázku 3 znázorněna červenou barvou. Je to plochý, šlachový sval, nacházející se pod plícemi. Upíná se na hrudní koš, a tím odděluje dutinu hrudní od dutiny břišní. Spolu s hrudníkem usnadňuje dýchání. Bránice se podílí na nádechu a výdechu. Existují ovšem svaly, které jsou typické jen pro nádech nebo výdech.

Při nádechu jsou aktivní inspirační svaly. Mezi ně patří bránice, která se oplošťuje a stahuje směrem dolů. Dále se zvětšuje hrudník zdvihem vnějších mezižebních svalů a rovněž pomocné inspirační svaly (velký a malý prsní sval) napomáhají k zvětšení objemu hrudního koše (Obr 3).

Výdech je děj pasivní. Dýcháme-li klidně, bránice a zevní mezižeberní svaly se vracejí do klidové polohy. Pokud ale dýcháme usilovně, výdech se stává aktivním. Stahují se navíc vnitřní mezižeberní svaly, které hrudník zmenšují a svaly břišní stěny, které tlačí bránici výš do dutiny hrudní (Obr 3). [5, 11, 14]



Obr. 3 Nádech a výdech (převzato z: [31], upraveno)

2.3 Řízení dýchání

V prodloužené míše je centrum životně důležitých funkcí, mezi které patří i dýchání. Dýcháme automaticky, aniž bychom museli být při vědomí. Kdyby dech řídila jen prodloužená mícha, nemohli bychom jej ovládat vůlí. Proto existuje podřadné centrum dýchání v šedé kůře mozkové. Prostřednictvím emocí nebo vlastní vůlí řídíme frekvenci, hloubku a zadržení dechu. Budeme-li se pokoušet o úplné zastavení dechu, nepovede se nám to, protože prodloužená mícha převezme „velení“ nad šedou mozkovou kůrou. Vyšle impuls k příčně pruhovaným dýchacím svalům (bránice, mezižeberní svaly) a dojde k automatickému nádechu.

Dýchání regulují za normálních podmínek respirační neurony z prodloužené míchy. Dělí se na dva základní typy – inspirační a expirační. Inspirační neurony posílají signál při nádechu, zatímco expirační neurony při výdechu. Nacházejí se v oblasti krční míchy, kde jsou prostorově odděleny, avšak navzájem propojeny. Činností se vzájemně střídají a udržují dýchací rytmus.

Chemoreceptory jsou nervové buňky, které reagují na zvýšené množství parciálního tlaku oxidu uhličitého v krvi. S tím souvisí i pH krve, poněvadž při zvýšené koncentraci oxidu uhličitého se zvyšuje její pH. Krev je kyslejší. Chemoreceptory vyšlou signál do řídicího

centra a dojde ke vzestupu plicní ventilace do doby, než dojde k rovnováze. Chemoreceptory také regulují koncentraci kyslíku v krvi. Na kyslíku závislé jsou hlavně nervové buňky v mozku. Po pěti minutách bez přísunu kyslíku odumírají a dochází k jeho nevratnému poškození. [5, 11, 12, 15]

3 Zajímavosti spojené s dýcháním

3.1 Působení vnějšího prostředí na dýchací soustavu

3.1.1 Podtlak

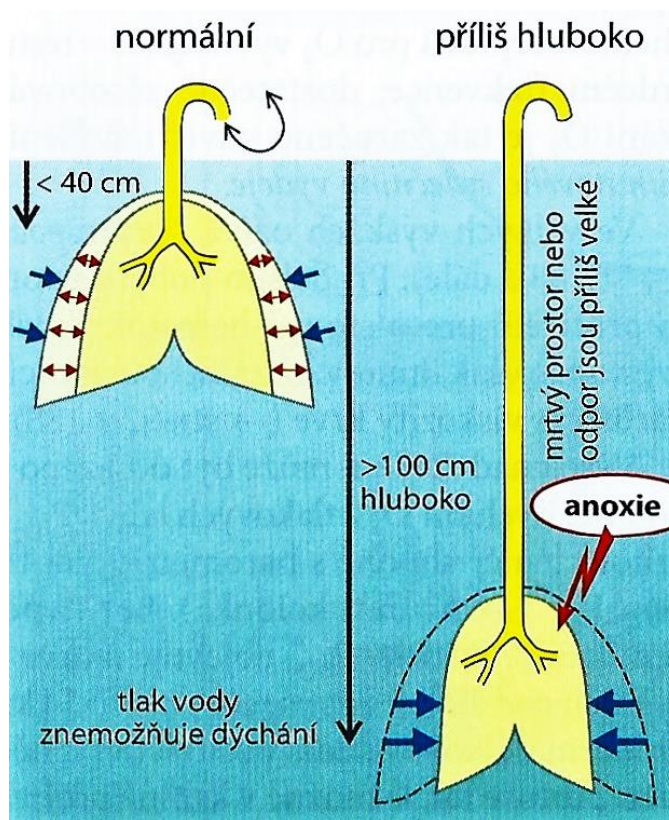
Při vysokohorském výstupu se zvyšuje nadmořská výška, a zároveň exponenciálně klesá atmosférický tlak. Je to dáno snížením parciálních tlaků kyslíku a oxidu uhličitého, které jsou obsaženy ve vzduchu (Daltonův zákon). Při dýchání navíc parciální tlaky v těle ještě poklesnou. Klesne-li zásoba kyslíku pod kritickou hodnotu, dojde k hypoxii. Míra postižení a reakcí člověka je různá v závislosti na nadmořské výšce a poklesu tlaků. Velké procento jedinců má příznaky bolesti hlavy, jiní až otok mozku. Tělo je schopné se aklimatizovat na tyto podmínky, ale pokud se příznaky hypoxie zhorší, mluvíme o vysokohorské nemoci. Zde se tělo již nepřizpůsobí podmínkám vnějšího prostředí, a proto na něj reaguje narušováním smyslového vnímání, chápání, a podobně.

Horolezcům, a všem turistům stoupajícím na vrcholky hor, se při zvyšující se nadmořské výšce zvětšují počty krevníchrvinek (erytrocytů) a také hemoglobinu, což vede ke zvětšení krevního objemu. Aby nedošlo k hypoxii, vyhýbají se jí dostatečnou aklimatizací. Uvádí se, že u netrénovaných lidí ve výškách větších než 3000 metrů je doporučené stoupat maximálně 300 metrů za den s velkým přísunem tekutin a odpočinku. Obecně platí, že při nadmořských výškách větších než 7000 metrů nad mořem již nejsme schopni se adaptovat na vnější podmínky, ani nelze dýchat atmosférický kyslík ze vzduchu, ale pouze z tlakových lahví. [2, 11]

3.1.2 Přetlak

Může se člověk potápět se šnorchem o průměru 2 cm, který je delší než 40 cm? Odpověď znázorňuje Obr. 4. Ve větší hloubce působí na tělo větší hydrostatický tlak, který stlačuje hrudník. Proto, abychom se nadechli, musí vzniknout v dutině hrudní dostatečný podtlak. V hloubce vyšší než 1,1 metr je hydrostatický tlak tak velký, že již nejsme schopni se nadechnout. Dojde k anoxii - nepřítomnosti kyslíku v organismu. Z tohoto důvodu se na větší hloubky používají dýchací přístroje, které tlak vdechnutého vzduchu vyrovnávají s hydrostatickým tlakem. Dále při větším objemu šnorchlu (přes 200 ml) může dojít k nadechnutí již vydechnutého vzduchu. Je to z důvodu zvětšení mrtvého prostoru. V lidském těle existuje anatomický mrtvý dýchací prostor. Představuje část, která se nezúčastní výměny plynů

v plicních sklípcích (dutina ústní nebo nosní až průdušky). Při zvětšení objemu šnorchlu se zvětší mrtvý dýchací prostor, a proto nejsme schopni vydechnout vzduch z plic ven ze šnorchlu.

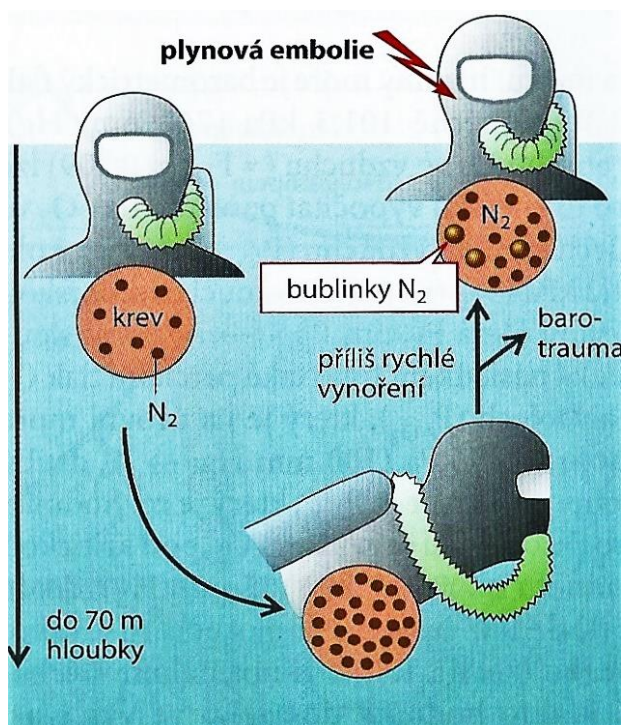


Obr. 4 Délka šnorchlu při potápění (převzato z: [32])

Ačkoliv se zdá potápění zcela jednoduché, z daleka tomu tak není. Se vzrůstající hloubkou potápěče roste hydrostatický tlak i tlak vzduchu, který potápěč vdechuje. To znamená, že rostou parciální tlaky jednotlivých plynů vzduchu. Lépe se v těle rozpouštějí a jejich množství přibývá. Proto při rychlém vynořování potápěče z velké hloubky může dojít k dekompresi neboli kesonové nemoci (Henryho zákon). Tento stav je znázorněn na Obr. 5. Dusík, který se uložil v tkáních, za normálních podmínek (při pomalém vynoření) difunduje z tkání do krve a plic, kde se vydechuje. Při dekompresi je velmi málo času na vyloučení dusíku difúzí, a proto se v tkáních a krvi akumuluje ve formě bublinek. Bublínky nejčastěji způsobují bolesti kloubů, křeče, ale i plynovou embolii. Kesonovou nemoc si můžeme v běžném životě představit jako otevírání minerálky. Když je minerálka zavřená, je natlakovaná a nejsou v ní bublinky. Jestliže ji otevřeme, snížíme tlak, čímž se vytvoří velké množství bublinek.

Při potápění se plíce zmenšují, ale při pomalém zpětném vynoření se opět rozeplnou. Vlivem rychlého vynoření různorodě uniká vzduch a může dojít k ruptuře a pneumotoraxu plic.

Zjednodušeně plíce prasknou jako balónek. Takovému poškození se říká barotrauma (Obr 5). [5, 16, 17]



Obr. 5 Potápění s dýchacím přístrojem (převzato z: [32])

3.2 Pneumotorax

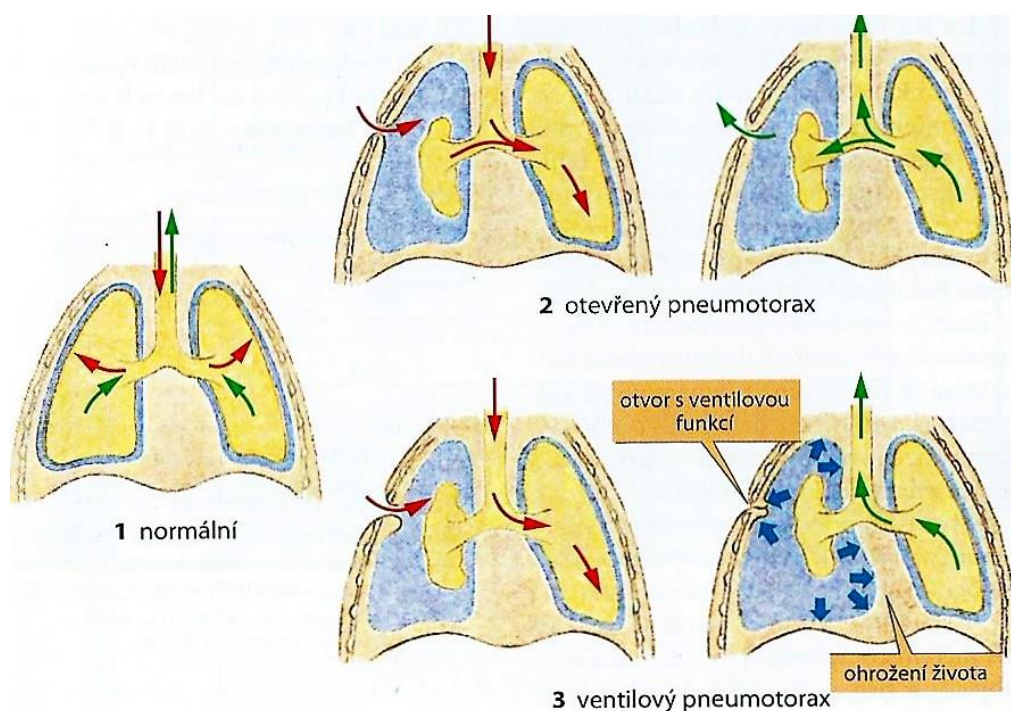
Plíce jsou rozepnuté díky své elasticitě a působením sil. V pleurální šterbině se udržuje stálý negativní tlak. Při jeho porušení vzniká pneumotorax. Vzduch se dostane do pleurální dutiny a poškozená plíce se smrští v důsledku převládající retrakční síly (síly elastického napětí plic a povrchového napětí alveolů). Poškozená plíce ztrácí dýchací funkci (Obr 6).

U uzavřeného pneumotoraxu se vzduch dostává do pohrudniční dutiny buď samovolně nebo v důsledku prasknutí plic (barotrauma). Dutina není v přímém kontaktu s vnějším prostředím, pouze je v ní obsažen vzduch.

Otevřený pneumotorax vzniká při poranění hrudníku. Ve většině případů se jedná o propíchnutí hrudní stěny zlomenými žebry. Vzduch proudí přes poraněné místo do zdravé plíce, a poté opět zpátky. Jako první pomoc se na místo přiloží igelitová rouška, která se přilepí pouze ze třech stran. Díky tomu se více vzduchu do plic dostat nemůže, zatímco ven ano.

Nejnebezpečnější je ventilový pneumotorax. Dochází k vytvoření „zátky“ na postiženém místě při výdechu. Tím se vzduch sice dostane do plic, ale ven nemůže unikat. V pleurální dutině vzniká přetlak, který zhoršuje stav zdravé plíce a přispívá k jejímu kolapsu.

Na pohled je postižená strana hrudníku bez pohybu s velkým vyklenutím. První pomoc je pomalu vypouštět vzduch, čímž se zmenší vnitřní tlak. [5, 18]

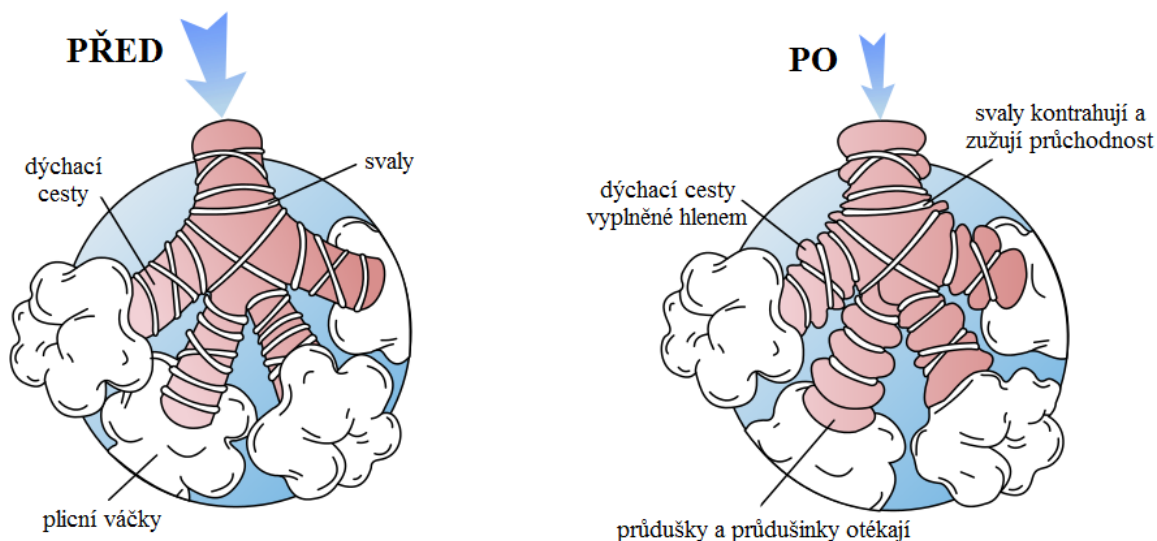


Obr. 6 Pneumotorax (převzato z: [33])

3.3 Bronchiální astma

Astma je chronické onemocnění průdušek a průdušinek, které postihuje všechny věkové kategorie. Spouštěč reakce může být opakovaný styk s alergii různých typů, velká fyzická aktivita nebo vniknutí nežádoucích plynů a prachů do dýchacích cest. Ty vyvolají reakci ve sliznici průdušek a dojde k přecitlivění a zánětu. Vytváří se velké množství hlenu, které brání vniknutí vzduchu do plic a naopak. Dýchací cesty otékají a svaly okolo nich se zužují (Obr. 7). Postižený nemůže popadnout dech, dusí se, jeho dech je sípavý a kašlem prokládaný. Také může pociťovat tlaky na hrudníku. Astma nelze podceňovat, protože i z lehkého astmatického záchvatu se může stát bojující stav o život.

Astma se zjišťuje pomocí spirometrie, přesněji podle křivky průtok – objem. Když lékař zjistí, že pacient má zúžené dýchací cesty, provede bronchodilatační test. To znamená, že dá pacientovi inhalovat látku s krátkým účinkem, která zlepšuje průchodnost průdušek. Po 15-20 minutách se opět provede spirometrie, a pokud má pacient PEF a FEV₁ větší o více než 20 % (Spirometrie), tak je bronchodilatační test pozitivní. Lékař může usoudit příčinu zúžení dýchacích cest a začít s patřičnou léčbou. Preferovaná léčba je inhalační. [17, 19]



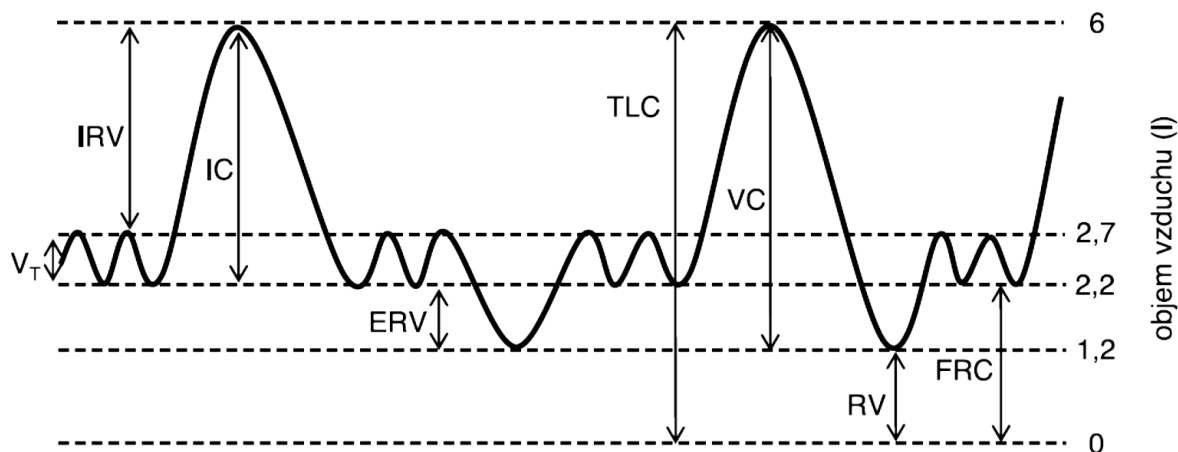
Obr. 7 Astmatický záchvat (převzato z: [34], upraveno)

3.4 Kyslíkový dluh

Během náročné fyzické aktivity dochází k nedostatečnému přísunu kyslíku do tkání, vytváří se kyslíkový deficit. Vysoká sportovní aktivita přispívá ke zvýšeným nárokům těla na kyslík. Tělo na změnu reaguje náhlým zvýšením frekvence a hloubky dýchání. Při svalové námaze se hlavním zdrojem energie stává glukóza, jakožto výchozí látka buněčného dýchání, která se dále bez přístupu kyslíku (anaerobně) štěpí na kyselinu mléčnou. Ta se ukládá ve svalech a ve větším množství může způsobovat svalovou únavu (křeče, bolesti). Proto se tělo potřebuje této kyseliny zbavit. Po fyzické aktivitě stále pokračuje zvýšená plicní ventilace. Zvýšený příjem kyslíku se použije na oxidaci kyseliny mléčné. Také se doplní do červených krvinek, kde se naváže na hemoglobin. Nakonec se dostává do tkání, které mají snížený obsah kyslíku v důsledku zvýšené tělesné teploty. Až se kyslík doplní a dojde k rovnováze, dýchání se vrací ke klidové dechové frekvenci. [12, 20]

4 Spirometrie

Spirometrie je nejstarší metoda vyšetření plic, která zkoumá, jak plíce plní své základní funkce. Výsledkem jsou statické a dynamické parametry sloužící ke kontrole výkonnosti nebo diagnostice patologického stavu dýchacího systému. Statické parametry (Obr. 8) získáme měřením **vitální kapacity plic (VC)**. Ta je dána rozdílem hlubokého nádechu a výdechu, neboli jaký maximální objem vzduchu vydechneme po maximálním nádechu. Průměrná hodnota VC je 4,8 litrů. **Celková vitální kapacita (TLC)** se vypočítá jako součet VC a **reziduálního objemu (RV)**, což je objem vzduchu, který zůstává v dýchacích cestách i po usilovném výdechu. Klidný **dechový objem (V_T)** představuje objem vzduchu při klidném nádechu nebo výdechu a jeho hodnoty se pohybují okolo 0,5 l. **Inspirační rezervní objem (IRV)** je objem vzduchu, o který se můžeme ještě nadechnout po klidném nádechu. Součtem IRV a V_T pak dostaneme **inspirační kapacitu (IC)**. **Expirační rezervní objem (ERV)** je objem, který lze usilovně vydechnout po klidném výdechu. Posledním statickým parametrem je **funkční reziduální kapacita (FRC)**. Ta je rovna součtu RV a ERV. FRC a RV se nadá změřit spirometrem. U novorozenců je VC okolo 0,5 l a u pubertálních dětí je pak stejná, jako u dospělého člověka. VC s věkem klesá, zatímco RV stoupá. Kapacita plic silně závisí na pohlaví, věku, tělesné konstrukci a fyzické aktivitě.

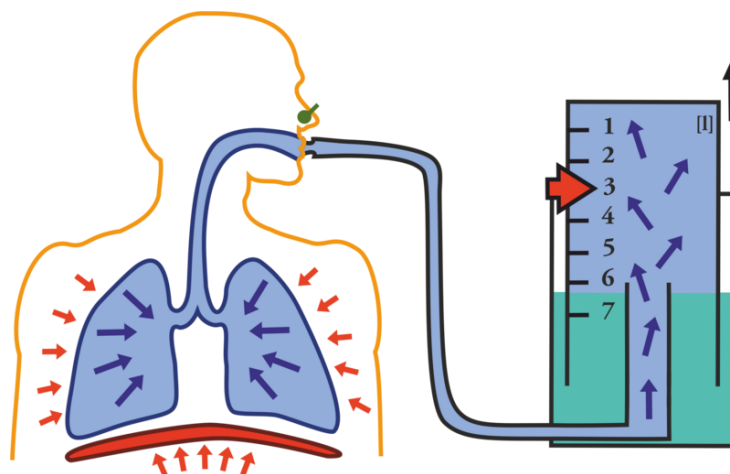


Obr. 8 Statické plicní parametry (převzato z: [35])

Dynamické parametry jsou sledovány v závislosti na čase. Měří se rychlé a usilovné dýchání (modrá křivka na Obr. 11). Stav plic závisí hlavně na **usilovné vitální kapacitě (FVC)** a **jednosekundové usilovné vitální kapacitě (FEV₁)**. FVC zahrnuje maximálně rychlý a usilovný výdech po maximálním nádechu. FEV₁ vyjadřuje kolik procent FVC vydechneme za 1 sekundu. Poměr FEV₁ a FVC se mnohdy uvádí jako Tiffeneauv index. Dalším parametrem

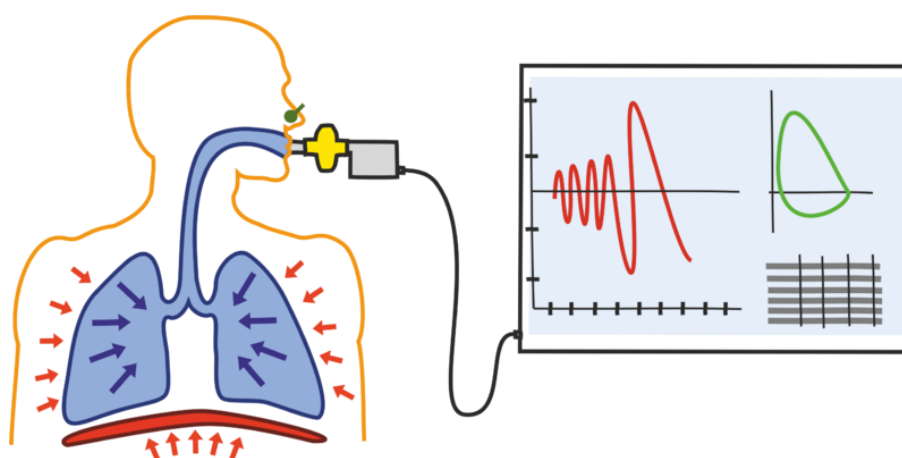
křivky průtok-objem je **vrcholová výdechová rychlost (PEF)**, která udává maximum průtokové rychlosti výdechu.

Na měření spirometrie se používá spirometr. Velice jednoduchý je Hutchinsonův spirometr (Obr. 9), který se skládá ze dvou válců. Jeden válec je naplněn vodou a umístěn na vodorovné ploše. Druhý válec je vyplněný vzduchem a nasedá dnem vzhůru do prvního válce. Dýchací cesty jsou hadicí spojeny s pohyblivým válcem, a tím tvoří uzavřený systém. Touto cestou můžeme zjistit pouze VC.



Obr. 9 Schéma s Hutchinsonovým spirometrem (převzato z: [36])

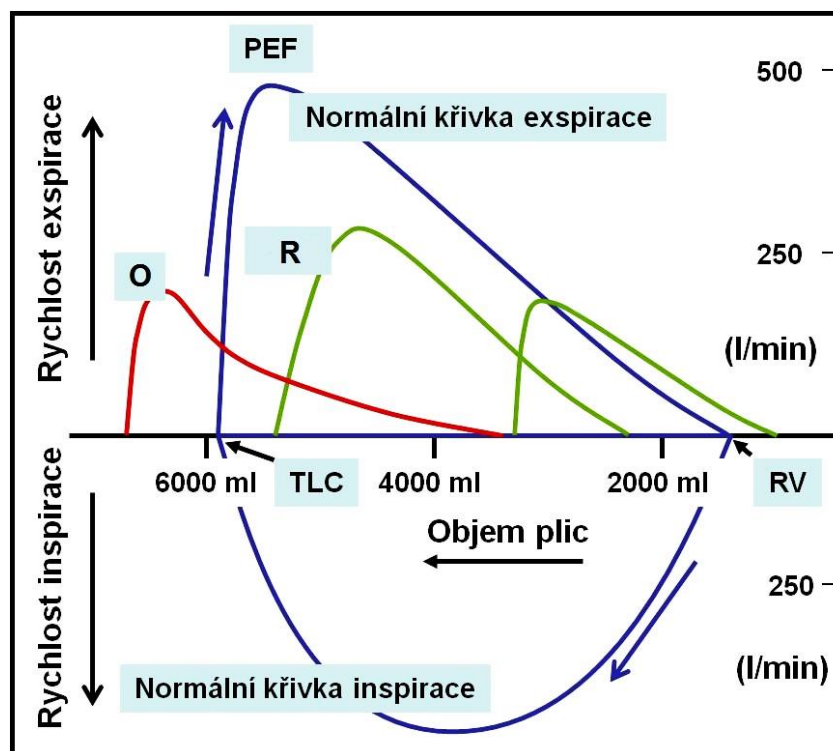
V dnešní době se používají digitální spirometry, správněji nazývány pneumotachografy (Obr. 10). Ty umožňují zaznamenat rychlost i objem vzduchu při nádechu a výdechu. Výsledkem získáme číselný údaj a s počítačovým propojením i křivku, díky níž určíme další parametry.



Obr. 10 Schéma s digitálním spirometrem (převzato z: [37])

Před spirometrií bychom neměli kouřit, ani se přejíst. Měření se provádí vždy v sedě s kolíčkem na nose a náustkem v ústech. Nemělo by nás nic zužovat v oblasti hrudníku a břicha, abychom dosáhli nejlepších výsledků. Během spirometrie nevytahujeme náustek z úst. U tohoto měření je potřebná plná spolupráce měřící osoby a dodržování pokynů spirometrického vyšetření.

Spirometrické vyšetření, ale i další funkční vyšetření plic, se dnes provádí před operací hrudníku nebo laparoskopii, ke stanovení diagnózy plicních onemocnění nebo léčbě. Při restriktivním onemocnění (zelená křivka na Obr. 11) dojde ke zmenšení nebo ztrátě respirační plochy. Sníží se poddajnost plic, jejich objem a kapacita, ale Tiffeneauův index zůstává stálý nebo se naopak zvýší. Se zvyšujícím postižením se křivka zmenšuje. Mezi restriktivní onemocnění patří například plicní fibróza. Při obstrukčním onemocnění (červená křivka na Obr. 11) se zužují dýchací cesty, sliznice otéká a tvoří se hlen. Dojde k poklesu FEV_1 pod 80 %, tím pádem i ke snížení FEV_1/FVC . TLC zůstává stejná nebo se zvýší. Mezi obstrukční onemocnění můžeme zařadit astma (kapitola 3.3) či chronickou bronchitidu. [5, 11, 12, 21, 22]



Obr. 11 Patologické změny křivky průtok-objem (převzato z: [38], upraveno)

4.1 Spirometrické vyšetření

Funkční vyšetření plic může probíhat na různých úrovních. Od měření vitální kapacity plic až po kontrolu dýchacích svalů či alveolo-kapilární membrány. V této kapitole si ukážeme, jak probíhá spirometrické vyšetření v lékařství, jaký spirometr se používá, co všechno je schopen změřit a jak vypadají hodnoty vyšetření plic u zdravého člověka. Dále si představíme školní spirometr. Ukážeme si, co a jak se s ním měří, jaké jsou výhody a nevýhody této metody a jak se liší hodnoty školní spirometrie s profesionálním vyšetřením.

4.1.1 Profesionální vyšetření

Měření bylo provedeno odborníky a vyhodnocováno lékaři na klinice plicních nemocí a tuberkulózy ve Fakultní nemocnici Olomouc. Před měřením se do počítače napsal věk, pohlaví, výška a váha. Tyto údaje slouží k výpočtu náležitých hodnot. Okolní tlak, teplotu a relativní vlhkost si počítač automaticky určí sám. Poté se přistoupilo k vyšetření. Měření probíhalo se spirometrem MasterScreen Body Jaeger (Obr. 12). Ten je schopen vyšetřit základní spirometrii (statické a dynamické parametry), bodyplety smografi i a difúzi. Všechny vyšetření probíhají v sedě s nosním kolíčkem a náustkem v ústech. Výsledky jsou zobrazeny ve formě grafů a hodnot (náležitých, naměřených a procentuálních). Posléze jsou porovnány se stanovenými normami, které byly získány ústním sdělením od MUDr. Lenky Hajdové. Lékaři vesměs pracují se srovnávací hodnotou náležitých a naměřených parametrů.

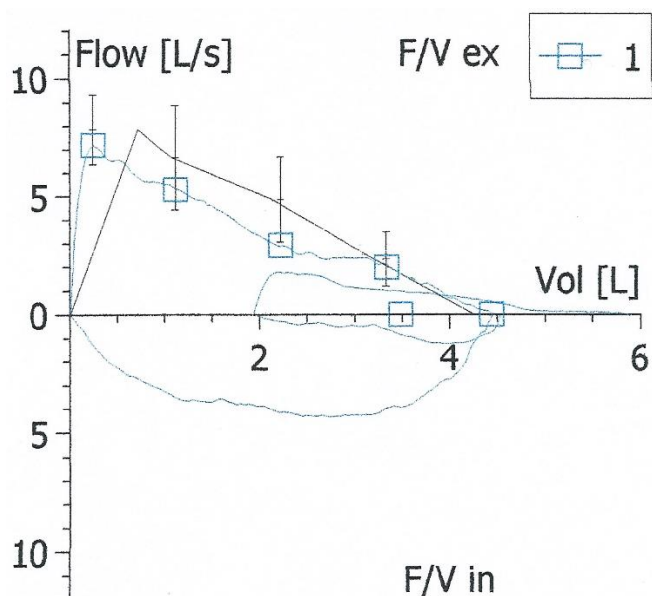


Obr. 12 Spirometr MasterScreen Body Jaeger (převzato z: [39])

Základní spirometrie se měří tak, že se klidně usadíme a posloucháme pokyny odborníka. Vložíme si náustek do úst a volně dýcháme do spirometru. Následuje maximální (6 sekundový) výdech, poté maximální nádech a nakonec prudký maximální výdech. Výsledkem jsou dynamické parametry, VC a grafické znázornění křivky průtok-objem (Obr. 13). Při vyhodnocování zdravotního stavu plic se používají hlavně parametry VC, FEV₁, FEV₁/FVC. U zdravého člověka je VC mezi 80-120 %, FEV₁ nad 80 % a Tiffeneauův index nad 75 %. Pokud se hodnoty vychylují, můžeme diagnostikovat onemocnění. Když hodnoty srovnáme s Tab. 1 zjistíme, že jsou statické a dynamické parametry měřené osoby zcela v pořádku.

Tab. 1 Základní hodnoty naměřené metodou spirometrie a bodypletysmografie

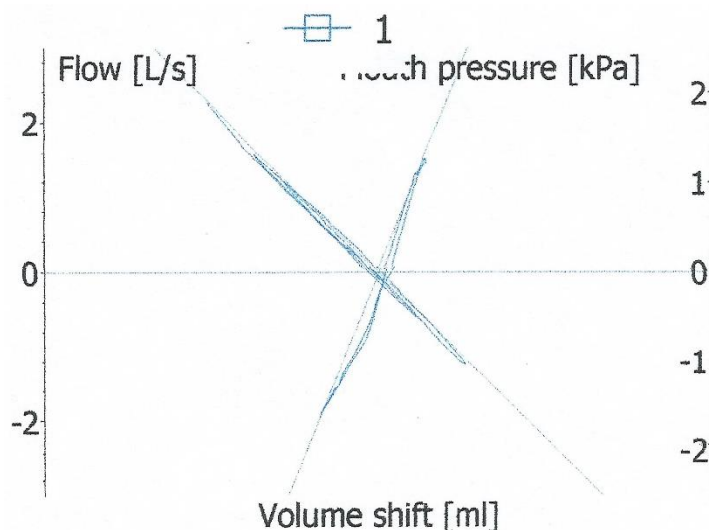
Parametr	Náležitá hodnota [l]	Měřená hodnota [l]	%
VC	4,32	4,43	102,6
FEV₁	3,73	3,47	93,2
FEV₁/FVC			78,34
RV	1,59	1,71	107,7
TLC	5,83	5,77	99



Obr. 13 Křivka průtok-objem

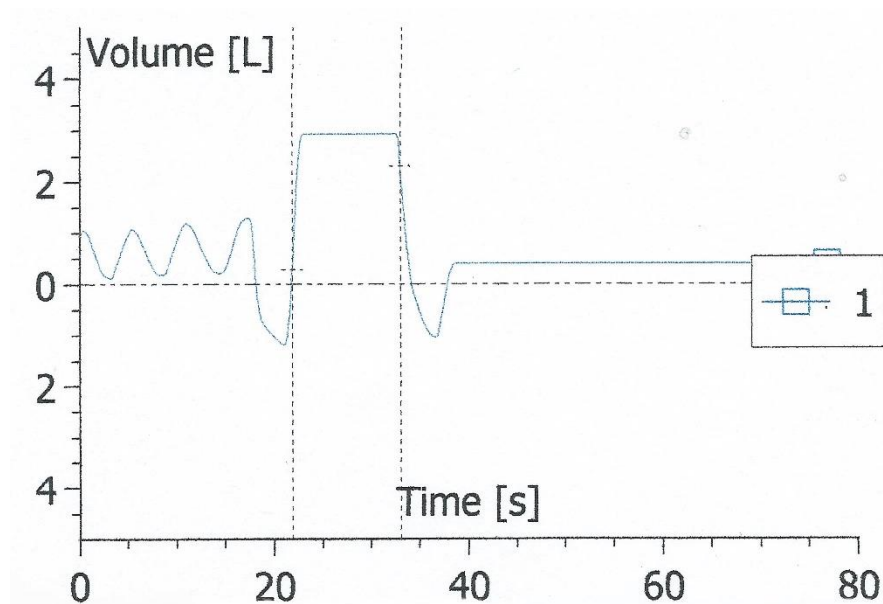
Další měření již nespádají do oblasti spirometrie, ale jsou součástí vyšetření funkce plic. První je bodypletysmografie, díky níž lze určit reziduální objem, celkovou vitální kapacitu plic a jejich odpor. Měření se odehrává ve vzduchotěsné kabině (Obr. 12), která funguje na principu Boyle-Mariottova zákona (Ideální plyn). Z objemu vzduchu v plicích se změří výkyvy tlaků

při dýchání. Vyšetření probíhá následovně. Usadíme se do kabiny, vložíme náustek do úst a zavřeme dveře kabiny. Dýcháme stále stejnou frekvencí, krátce a rychle. Po nějaké určité době nám do spirometru vloží umělou sekundovou překážku, díky které lze vyhodnotit tlaky. Výsledky se znázorňují pomocí hysterezní křivky (Obr. 14). Zdravý člověk by měl mít TLC nad 80 % a RV pod 150 %. Pokud tyto parametry porovnáme s naměřenými hodnotami z Tab. 1, můžeme konstatovat vynikající stav plic.



Obr. 14 Hysterezní křivka

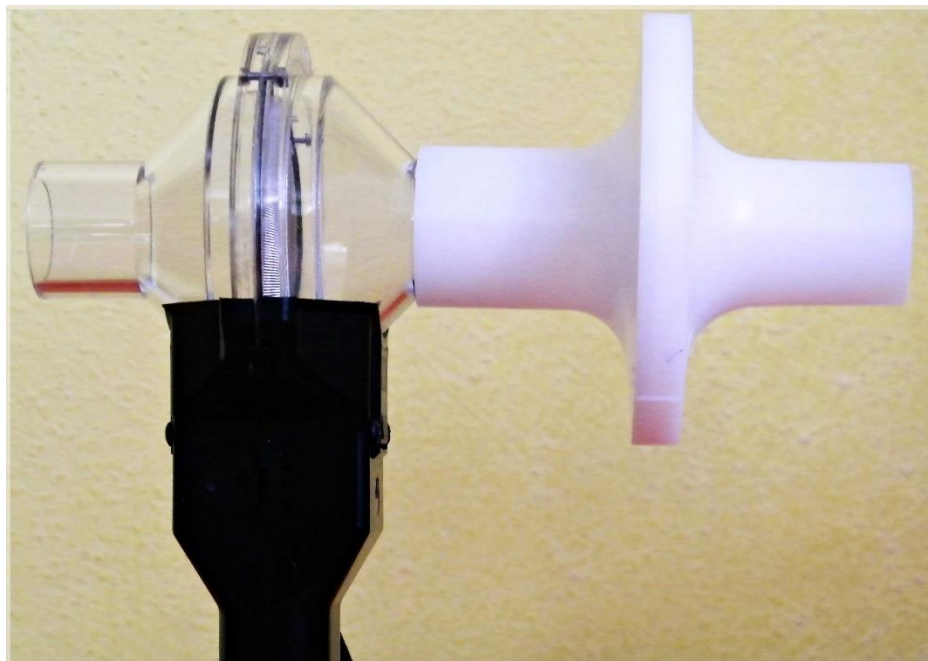
Další vyšetření se týká difúze a poruchy alveolo-kapilární membrány. Metoda zkoumá rychlost prostupnosti plynů přes stěnu. Kyslík a oxid uhelnatý jsou velmi podobné plyny, poněvadž oba dva přestupují přes alveolo-kapilární membránu a naváží se na hemoglobin v červených krvinkách. Abychom změřili prostupnost stěny, využívá se k vyšetření oxid uhelnatý, který by neměl být v krvi obsažen. Proto se nesmí před tímto měřením kouřit. Při vyšetření se vdechne směs plynů metanu nebo helia a oxidu uhelnatého. Metan zůstane rozprostřen v plicích, zatímco oxid uhelnatý prostupuje do krve. Jakou rychlostí prostupuje a jaká je funkčnost alveolo-kapilární stěny se zjistí obsahem CO v krvi. Měření probíhá v otevřené kabině, opět v sedě. Nejprve klidně dýcháme přes náustek, poté dlouze vydechujeme, prudce se nadechneme plynové směsí (metan + CO) a zadržíme 10 sekund dech. Nakonec se s výdechem zpracovávají informace. Výsledná křivka znázorňuje průběh měření (Obr. 15). Difúzní kapacita plic neboli transfer faktor je klíčový parametr difúze. U zdravého člověka se má pohybovat v rozmezí 80-130 %. Naměřená hodnota byla 94,4 %, což splňuje limit zdravého stavu alveolo-kapilární membrány. [23]



Obr. 15 Křivka měření difúze

4.1.2 Školní spirometrie

Spirometr, sloužící ke školnímu vyšetření plic (Obr. 16), se skládá z průhledné hlavice, uvnitř které je síťka. Síťka je umístěna kolmo ke směru proudění vzduchu, aby bylo zachováno laminární proudění. Odpor vzduchu skrz síťovou mřížku nemůže být velký. Tlakové výkyvy na síťce zaznamenává tlakoměr v rukojeti senzoru, která se nachází přímo pod ní. Na hlavici nasedává bakteriální filtr a při měření i náustek.



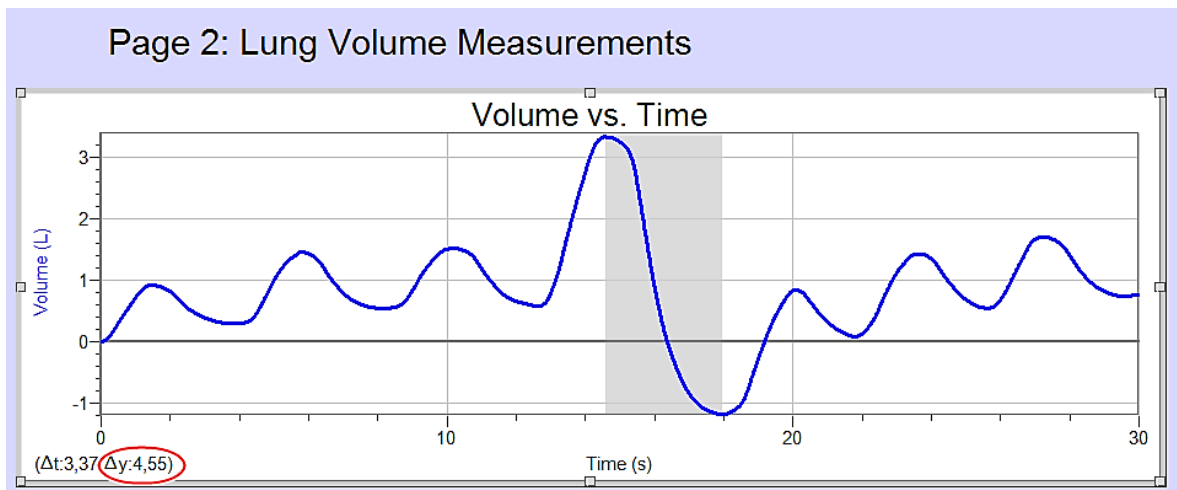
Obr. 16 Spirometr Vernier

Díky spirometru můžeme změřit statické (V_C , V_T) a dynamické parametry (FVC, PEF, FEV_1), aniž bychom potřebovali lékařské vyšetření. Následně je promítat na počítači či přes data projektor na plátně. Zapojení spirometrie je znázorněno na Obr. 17. Spirometr je propojený přes LabQuest MINI s počítačem, ve kterém je nainstalovaný program Logger Pro. Nastavení programu pro práci se spirometrem Vernier provádíme dle návodu, jež je k dispozici na [25].

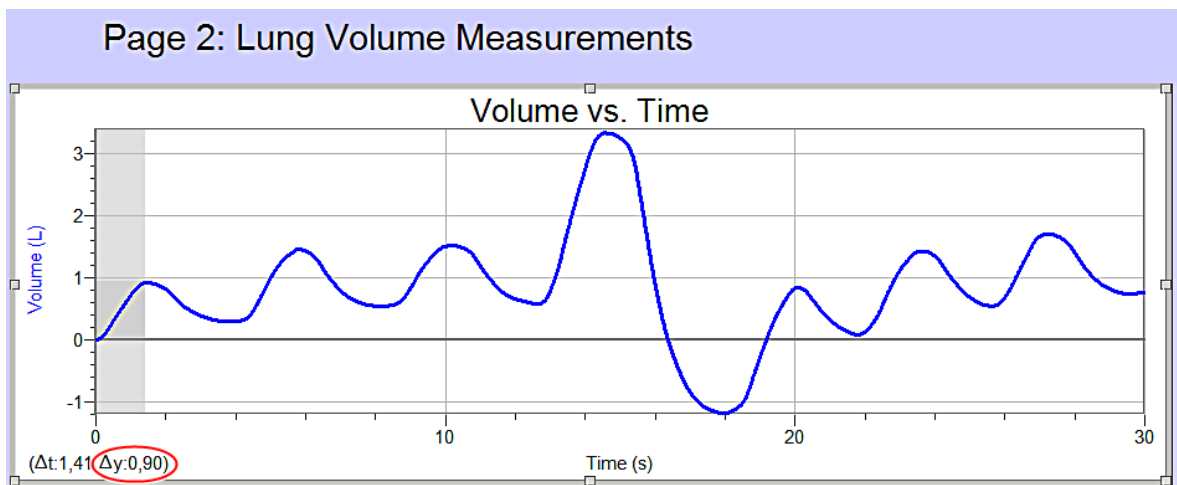


Obr. 17 Zapojení spirometrie

Vitální kapacita plic se měří následovně. Sedíme v klidu, kolíčkem si ucpeme nos a vložíme náustek do úst tak, aby vzduch neunikal ven. Pro měření objemů využijeme jednoduché dechové cvičení. Tedy 3 krát volně dýcháme normálním tempem, poté se maximálně nadechneme, maximálně vydechneme a pokračujeme v klidném dýchání. Dýcháme, pokud možno, stejnou rychlostí. Výsledkem je křivka zobrazená na Obr. 18, z níž můžeme určit V_C dle maxima a minima na ose y. V tomto případě je vitální kapacita plic 4,55 litrů. Dále určíme dechový objem z Obr. 19, tahem od nejvyššího bodu do nejnižšího při normálním dýchání, tedy V_T je 0,9 litrů. Součástí měření se dá zjistit také dechová frekvence či minutová ventilace.



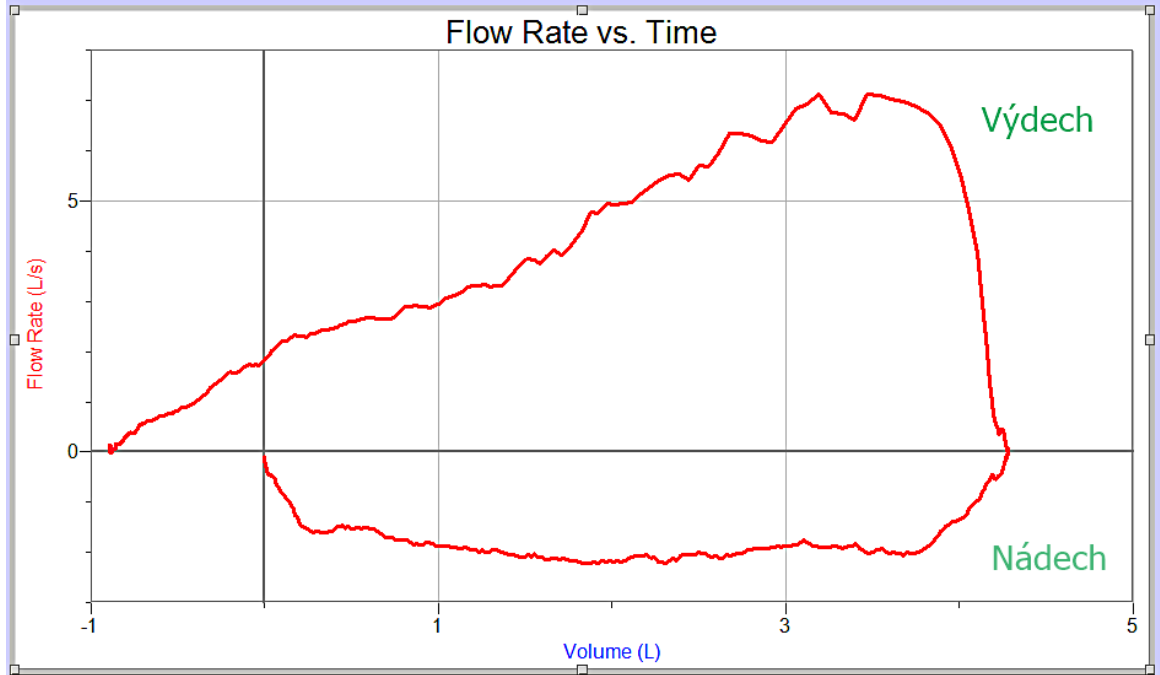
Obr. 18 Měření vitální kapacity plic



Obr. 19 Měření dechového objemu

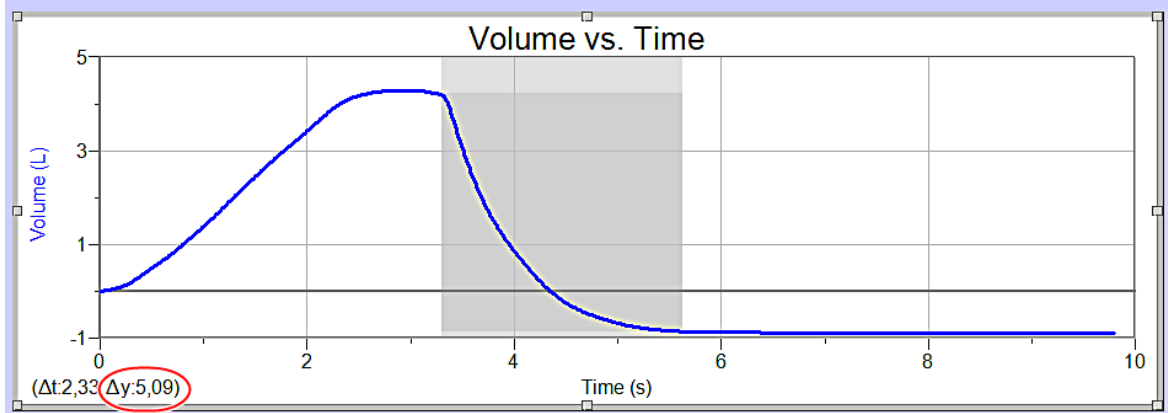
Dynamické parametry jsou náročnější na měření. Provádíme je v sedě s kolíčkem na nose. Normálně se nadechneme mimo spirometr a vložíme náustek do úst. Poté normálním tempem maximálně vydechneme, pak se maximálně nadechneme a nakonec prudce maximálně vydechneme. Výsledkem je křivka průtok-objem (Obr. 20), která je zobrazena převráceně, nežli křivka měřená profesionálním spirometrem. Je to z důvodu kladného směru růstu objemu s vdechem, nikoli výdechem. Dynamické parametry se určují z křivky závislosti objemu na čase. Nejprve si určíme FVC rozdílem maximální a minimální hodnoty křivky (Obr. 21). Tedy usilovná vitální kapacita je 5,09 l. Následně určíme FEV₁ (Obr. 22). Vezmeme nejvyšší bod křivky a táhneme jej směrem dolů tak dlouho, dokud nebude na ose x interval 1 sekunda. Hodnota FEV₁ se zobrazí pod grafem a je 4,18 l. Tiffeneauv index se rovná 82,12 %.

Page 1: Flow Rate Measurements

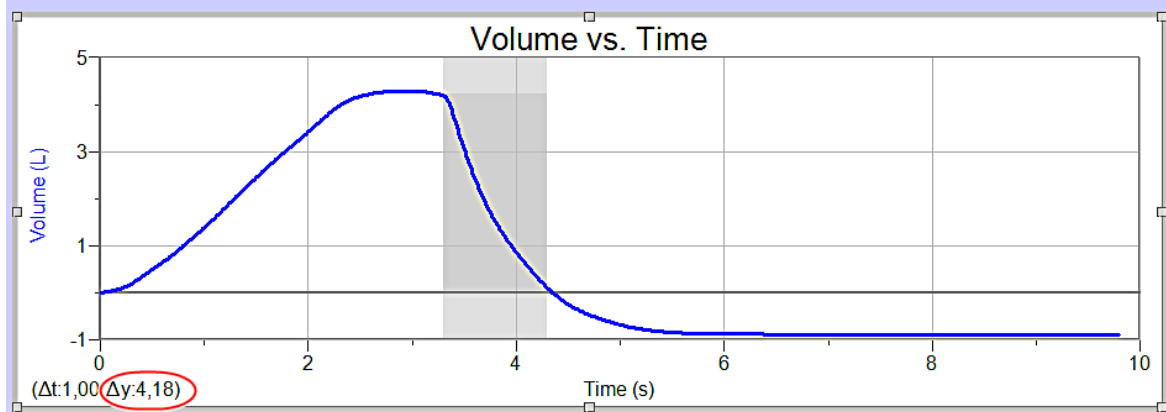


Obr. 20 Křivka průtok-objem

Page 2: Lung Volume Measurements



Obr. 21 Měření usilovné vitální kapacity



Obr. 22 Měření jednosekundové usilovné vitální kapacity

Výhodou práce se spirometrickou sondou od firmy Vernier je snadný přenos, údržba, přesné měření a lehké ovládání. Nevýhodou je zkreslení hodnot, které jsou možné při radikálním průtoku vzduchu. Také program nedovede spočítat náležité hodnoty, které jsou pro srovnání potřebné. [24, 25]

Tab. 2 Porovnání naměřených hodnot profesionální a školní spirometrie

Parametr	Hodnota měřená profesionálním spirometrem	Hodnota měřená školním spirometrem
VC	4,43 l	4,55 l
FVC	4,43 l	5,09 l
FEV₁	3,47 l	4,18 l
PEF	7,17 l/s	7,15 l/s
FEV₁/ FVC	78,34 %	82,12 %

Hodnoty naměřené profesionálním a školním spirometrem se moc neliší (Tab. 2). Shodují se v parametrech VC, PEF a Tiffeneauův index. Ovšem FVC a FEV₁ nejsou stejné, liší se o 15 a 20 %. Důvod výchylek může být způsoben pozdějším měřením a natrénováním měření křivky průtok-objem.

4.2 Experimentální měření vitální kapacity plic

Cílem experimentu je změřit vitální kapacitu plic studentů Přírodovědecké fakulty UPOL ve věkové hranici 19-26 let a porovnat ji s teoretickou hodnotou. Dále srovnat vitální kapacitu plic sportovců, hráčů na hudební dechový nástroj a studentů se zdravotními potížemi, jež ovlivňují dýchání.

Experimentu se zúčastnilo celkem 45 studentů, z toho 26 mužů a 19 žen. Každý student vyplnil informace potřebné k měření VC (pohlaví, věk, výška, váha, aktivity podporující zvýšení VC a zdravotní indispozice). Vitální kapacita plic byla měřena spirometrem od firmy Vernier tak, jak je popsáno v kapitole 4.1.2. Náležitá hodnota vitální kapacity plic NHVC se počítala dle vzorce (7) a (8), jehož výsledek se nejvíce přibližoval náležité hodnotě určené profesionálním spirometrem. Všechny hodnoty a informace, které byly získány měřením, jsou uvedeny v Tab. 4 (Příloha 2). [28]

$$\text{NHVC} (\sigma) = 5,2 \cdot \text{výška [m]} - 0,022 \cdot \text{věk [roky]} - 3,6 \quad (7)$$

$$\text{NHVC} (\varphi) = 5,2 \cdot \text{výška [m]} - 0,018 \cdot \text{věk [roky]} - 4,36 \quad (8)$$

Pro lepší porovnání hodnot se používá parametr, který udává, kolik procent z teoretické hodnoty představuje hodnota experimentální (v Tab. 3 a 4 značený P). U zdravého člověka má být v rozsahu 80-120 %. Spodní hranici splňují všichni studenti, avšak horní hranici překročilo 13 studentů, z toho 2 ženy. Zde je potřeba přihlídnout ke vzorci náležité hodnoty, který nemusí být zcela přesný. Největší hodnota (152,8 %) byla naměřena u studenta, jehož vitální kapacita plic přesahovala přes 8,8 litrů. Důvodem tak velké hodnoty může být značný počet sportovních aktivit, které mají velký vliv na VC (hlavně potápění a hokej). Student utvrdil, že nadměrný objem plic má vrozený. Druhá největší hodnota (149,3 %) se vyskytovala u studentky, jejíž vitální kapacita plic byla 6,36 litrů. Aktivně se věnuje volejbalu, tedy sportu, který není moc náročný na dýchání. Ovšem silným kuřáctvím si zvětšuje VC. Zhoršený stav plic kouřením se projevuje až ve starších letech. Naopak nejmenší hodnota u mužů byla 92,5 %, která je způsobena nedostatečnou sportovní nebo jinou aktivitou rozvíjející objem plic. U žen se vyskytoval stejný případ, jako u mužů. Hodnota byla ale na hranici mezi patologickým stavem (81,1 %).

V Tab. 3 jsou uvedeny průměrné hodnoty, které slouží k porovnání skupin. Nevyskytují se v ní odchylky měření, poněvadž se hodnoty prokazatelně liší. Je známé, že muži mají průměrně větší vitální kapacitu plic než ženy, ale srovnání hodnot naměřených a náležitých může být shodné. V naší skupině byl parametr P téměř o 10 % vyšší ve prospěch mužů. Větší

počet mužů intenzivněji sportuje nebo má jiné aktivity, které podporují růst objemu plic. Proto jsou jejich hodnoty vyšší, než u žen. Někteří studenti mohou mít velký objem plic i vrozený, aniž by jej museli aktivitami rozvíjet. U každého jedince je to individuální. Pro někoho může být 3 litrový objem plic zcela v pořádku, ale pro jiného může stejný objem plic znamenat patologický stav.

Všichni sportovci, ženy i muži, mají průměrně stejné hodnoty, které se pohybují kolem 116 %. Mezi sportovní aktivity, u kterých hraje klíčovou roli dýchání, patří potápění a plavání. Obecně platí, že potápěči a plavci mají největší vitální kapacitu plic, což můžeme potvrdit i v našem měření nejvyšší průměrnou hodnotou VC (6,73 litrů) a P (125,4 %). Ostatní sporty (hokej, fotbal, běh, cyklistika, házená, tanec, bojové sporty) napomáhají správnému dýchání, a také podporují zvětšení kapacity plic v závislosti na intenzitě a frekvenci tréninku.

Ke správnému dýchání se doporučují buď sportovní aktivity, nebo hraní na dechový hudební nástroj (například flétna, klarinet, saxofon) a zpěv. To značí, že vitální kapacita plic zpěváků a hudebníků by měla být podobná jako u sportovců. V naší skupině jsme toho docílili. Sportovci měli větší hodnotu P pouze o 2 %. Samozřejmě počet hudebníků a zpěváků, kteří se vyskytovali v této skupině, byl 4 krát menší než u sportovců, proto není možno docílit přesných výsledků.

I když bychom řekli, že zdravotní indispozice bude mít zásadní vliv na vitální kapacitu plic, zdaleka tomu tak není. Spíše se projeví v měření dynamických parametrů, které pracují s objemy v závislosti na čase. Ne celých 38 % studentů trpí alergií, astmatem, chronickou rýmou či v době měření byli nachlazení. Jelikož většina takových studentů sportuje nebo dělá jiné aktivity, zhoršený zdravotní stav se na výsledné vitální kapacitě plic neprojeví. To platí i pro astmatiky, kteří měli pouze o 3 % nižší P , než plavci. Jako jeden z důvodů můžeme uvést malý počet astmatiků, který se ve skupině vyskytoval, a hlavně, že polovina z nich jsou plavci. Paradoxně studenti s dýchacími potížemi mají o 8,6 % lepší hodnotu P , než ti, kteří nemají žádnou aktivitu. Je proto opravdu důležité rozvíjet kapacitu plic různými aktivitami, dokud nám to lidské tělo ještě dovolí.

Tab. 3 Průměrné hodnoty vitální kapacity plic studentů řazených dle skupin

Skupina	NHVC [l]	VC [l]	P [%]
Muži	5,47	6,31	115,3
Ženy	4,01	4,25	105,8
Všichni sportovci	5,01	5,81	115,9
Ženy sportovkyně	4,05	4,72	116,1
Muži sportovci	5,57	6,46	115,8
Hudebníci, zpěváci	5,02	5,68	113,8
Studenti se zdravotními potížemi	4,69	5,23	111,0
Studenti bez aktivity	4,52	4,69	102,4
Plavci, potápěči	5,39	6,73	125,3
Astmatici	4,26	5,27	122,4

4.3 Návod na měření vitální kapacity plic spirometrem Vernier

V Příloze 3 je sestaven návod na laboratorní cvičení pro střední školy. Může se zařadit pro zpříjemnění výuky do molekulové fyziky plynů nebo do biologie při probírání dýchací soustavy. Návod se skládá z teoretického úvodu, kde je interpretováno dýchání po biologické stránce, poté nahlédnuto do fyziky plynů a měření objemu plic. Pomůcky, postup a pokyny na práci se spirometrem Vernier jsou jednoduše vysvětleny a doplněny o vlastní fotografie. Součástí návodu je vyhodnocení pro správnost měření.

5 Průzkum informovanosti studentů

Test je složený z 10 otázek různého typu, které souvisejí s dýcháním člověka (Příloha 1). V hlavičce testu není uvedeno, že každá otázka má jednu správnou odpověď (až na otázku 2, která má všechny odpovědi správné). Otázka 10 obsahuje i otevřenou odpověď. Test klade důraz na fyzikální a biologické znalosti, logické uvažování a hlavně pozorné čtení.

K průzkumu byli vybráni studenti střední a vysoké školy - Gymnázium a SOŠ ve Frýdku-Místku a Přírodovědecká fakulta UPOL. Na gymnázium je zohledňován ročník studia a typ zaměření - všeobecné nebo technické. Technické zaměření se od všeobecného liší větším počtem hodin matematiky, fyziky, informatiky a deskriptivní geometrie. Na přírodovědecké fakultě byli vybráni studenti prvního ročníku bakalářského studia oboru Aplikovaná fyzika, Nanotechnologie, Obecná fyzika a matematická fyzika, Biofyzika a Optika.

Cílem průzkumu je zjistit, jakou úspěšnost měli studenti gymnázia v testových otázkách. Poté porovnat znalosti všeobecného a technického gymnázia. Zjistit, zdali je mezi ročníky znalostní rozdíl, které otázky jsou problémové a naopak které jsou bezproblémové. Nakonec, zda je znát přechod mezi 4. ročníkem gymnázia a 1. ročníkem vysoké školy.

5.1 Řešení testových otázek

1. Pravá plíce má 3 laloky, kolik laloků má levá plíce?

- a) 3
- b) 2
- c) 4

Odpověď se zdá na pohled logicky odvoditelná. Jestliže má pravá plíce 3 laloky, levá nemůže mít 4 laloky. Můžeme ale uvažovat, že když je lidské tělo složeno z párových struktur (orgány, končetiny), které jsou strukturně, funkčně i vizuálně vesměs stejné, tak proč by neměly mít plíce stejný počet laloků? U této otázky nelze uvažovat tímto směrem, ale je potřeba mít základní znalosti anatomie lidského těla. Správná odpověď je 2 laloky, protože v dutině hrudní je uloženo srdce, které se vychyluje k levé plíci a zabírá místo jednoho laloku (Plíce jako vzdušný vak).

2. Které svaly se podílí na dýchání?

- a) bránice, mezižeberní svaly
- b) bránice, malý prsní sval
- c) bránice, velký prsní sval

V této otázce nebyly odpovědi dostatečně promyšlené. I když v testové otázce byla správná odpověď jen jedna, později se ukázalo, že žádná špatná odpověď není. Chyba písíciho je způsobena nedostatečnou informovaností o dýchacích svalech při sestavování testu.

Hlavní sval dýchání je bránice. Aby se hrudník zdvihl při nádechu, napomáhají mu mezižeberní a pomocné svaly (Dýchací svaly). Tato odpověď byla původně myšlena jako jediná správná. Nicméně mezi pomocné dýchací svaly patří malý a velký prsní sval, tedy všechny odpovědi jsou správné.

3. Jak se dostane molekula O_2 z plicních sklípků do krve?

- a) ionizací
- b) zkapalněním
- c) difúzí

Tato otázka je obtížná, jelikož všechny děje, které jsou zvolené, se týkají plynů. Je potřeba znát, co jednotlivé děje znamenají po fyzikální stránce. Začneme ionizací. Vzduch, který proudí do našeho těla, je nevodivý. Aby se stal „vodičem“ musí dojít k jeho ionizaci. To znamená, že se rozštěpí elektricky neutrální molekuly plynu na kladné a záporné ionty. Podmínkou je však dodání ionizační energie ve formě plamene, silného elektrického pole nebo alespoň ohřátého vzduchu. Pokud jsou splněny podmínky, může dojít k výboji. Tady je jasné, že žádný výboj nevzniká při krátké cestě kyslíku z plicních sklípků do krve, a proto je odpověď nesprávná. [26,27]

Zkapalňování plynů je jev, kdy látka přechází z plynného skupenství do kapalného. Kdybychom brali v potaz jenom tuto větu, mohli bychom usoudit, že je možnost správná. Nicméně kyslík se nemění z plynného do kapalného skupenství, pouze putuje do kapaliny. Zkapalňování plynů má ještě podmínku. Aby se kyslík, který je obsažen ve vzduchu, dostal z plicních sklípků do krevního řečiště, musel by se nejprve ochladit pod kritickou teplotu. Zde je jasné, že takové ochlazení kyslíku v lidském těle není možné. Proto je odpověď nesprávná. [1]

Správná odpověď je difúze. Difúze je děj, při kterém putuje částice z jednoho místa, na druhé (Fickův zákon). Jedná se pouze o přechod plynu, tedy aby se kyslík dostal přes alveolo-kapilární membránu do krevního řečiště.

4. Při výměně vzduchu mezi vnějším prostředím a plicními sklípky se tlak i objem v plicích mění. Poklesne-li tlak, zvýší se objem. Jaký fyzikální děj a zákon z této závislosti vyplývá, jestliže hovoříme o ideálním plynu s konstantním počtem molekul a teplotou?
- a) izobarický děj, Gay – Lussacův zákon
 - b) izochorický děj, Charlesův zákon
 - c) izotermický děj, Boyleův – Mariottův zákon

Pokud známe děje s ideálním plynem a důkladně si přečteme otázku, zjistíme, že v otázce je napsaná odpověď. V hlavičce testu bylo také napsáno, že se zde nevyskytují žádné chytáky, tudíž každý děj má ve dvojici správný zákon. Děje s ideálním plynem nám udávají závislost mezi třemi stavovými veličinami – tlak p , objem V a teplota T . Podle veličiny, která je konstantní, odvozujeme typ děje. Jestliže je v zadání psáno, že je teplota konstantní, pak jediná správná možnost je děj izotermický a jeho Boyleův – Mariottův zákon (Ideální plyny). Při izochorickém ději je stálý objem, zatímco při izobarickém ději je stálý tlak.

5. Molekula plynu O_2 přechází z krve do tkání a tím je okysličuje. Který plyn přechází z tkání do krve?
- a) CO
 - b) O_2
 - c) CO_2

Klíč k úspěchu je umět pojmenovat chemické sloučeniny a znát dýchací plyny. CO (oxid uhelnatý) vzniká spalováním fosilních paliv a je pro tělo vysoce toxický, tudíž ho hned vyloučíme. O_2 (kyslík) vdechujeme, zatímco CO_2 (oxid uhličitý) vydechujeme. Tedy jestliže kyslík přechází z krve do tkání, tak oxid uhličitý putuje opačným směrem z tkání do krve (Vnitřní dýchání).

6. Jak se změní atmosférický tlak vzduchu při výstupu na Mount Everest?
- a) zvýší se
 - b) sníží se
 - c) nezmění se

Uvažujeme, že kdyby se s nadmořskou výškou tlak neměnil, nemuseli by potápěči dýchat ve větších hloubkách přes dýchací přístroj a naopak horolezci by se nemuseli ve vysokých horách aklimatizovat na vnější podmínky. Tyto opatření probíhají kvůli tlaku, který na nás působí. Závisí na nadmořské výšce. Se stoupající nadmořskou výškou vnější tlak klesá (Podtlak), zatímco s klesající nadmořskou výškou tlak stoupá (Přetlak). Proto při výstupu na Mount Everest vzduch řídne a atmosférický tlak se snižuje.

7. Na co se používá přístroj spirometr?

- a) umělé dýchání
- b) vyšetření funkce plic
- c) potápění

U této otázky potřebujeme znát, co je to spirometr. Spirometr je přístroj, který se používá ke zjištění funkčnosti plic. Můžeme se s ním setkat v plicní ambulanci (Spirometrie). Potápěči spirometr také využívají, ale nikoliv na potápění. Na potápění se používají dýchací přístroje, které automaticky zajišťují správný tlakový přísun vdechovaného vzduchu. K umělému dýchání slouží opět dýchací přístroj, ale ten zajišťuje mechanicky přísun kyslíku do lidského těla při zástavě dechu nebo celého oběhového systému.

8. Pro ideální plyny platí stavová rovnice ve tvaru $pV = nRT$. Jak bude vypadat rovnice pro reálné plyny?

- a) $\left(p - \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT$, kde a a b jsou konstanty závislé na druhu plynu
- b) $pV = nRT$
- c) $pV = \frac{m}{M_m}RT$

I když se stavová rovnice reálných plynů na středních školách nevyučuje, není potřeba ji znát, stačí jen důkladně přečíst otázku a odpovědi. Nebereme v úvahu to, že pro reálné plyny platí za normálních podmínek stavová rovnice ideálních plynů. Pro ideální plyny platí vztah (1), kde za látkové množství n lze dosadit podíl hmotnosti plynu m a molární hmotnosti M_m (Ideální plyny). Tedy odpověď b) a c) představuje stavovou rovnici pro ideální plyny nikoli pro reálné. Správný vztah je a). Dodatek, že konstanty jsou závislé na druhu plynu, nám měl pomoci při hledání správné odpovědi. Ideální plyn je model, u kterého není potřeba zohledňovat druh

plynu. S reálnými plyny se setkáváme v běžném životě, proto závisí na určitém druhu plynu (Reálné plyny).

9. Při rychlém vynoření potápěče, z velké hloubky moře, poklesne hydrostatický tlak a v jeho krvi se nahromadí bublinky dusíku, které mohou způsobit až embolii. Jak se tato nemoc nazývá?
- a) horská nemoc
 - b) kesonová nemoc
 - c) astma

V momentě, kdy si přečteme otázku, měla by nám ihned vypadnout odpověď horská nemoc. Jestliže se něco děje v mořském prostředí, nemůže být název nemoci spojen s horami. Zbývají nám dvě možnosti. Astma může probíhat i ve vodním prostředí i na souši. Dojde k podráždění dýchacích cest vlivem různých alergických spouštěčů a spustí se astmatický záchvat (Bronchiální astma). Správná odpověď je kesonová nemoc, která vzniká v důsledku dekomprese (Přetlak).

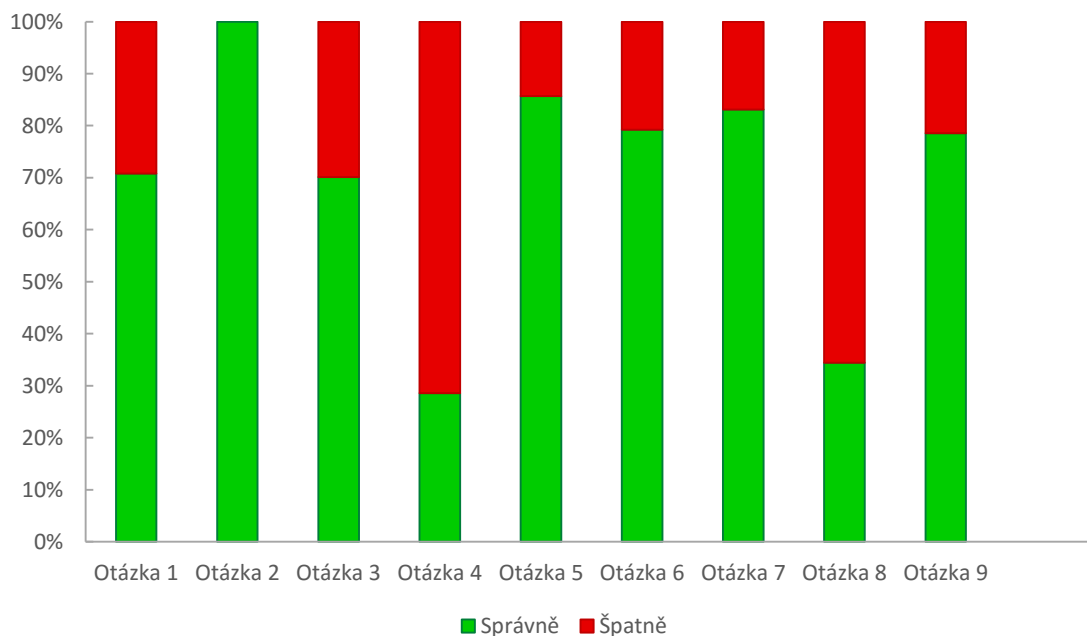
10. Lze používat na potápění šnorchl, který má trubici delší než 40 cm? Odpověď zdůvodni.
- a) ano
 - b) ne

Otázka nebyla přesně stanovena, měl se tam vyskytnout ještě průměr trubice šnorchlu. Nicméně se alespoň rozšířila škála možností jak odpovědět. Delší trubici šnorchlu použít nelze. Jako důvod můžeme uvést působení hydrostatického tlaku na hrudník, který roste se zvyšující se hloubkou. Plíce pak nemají dostatečnou sílu na to, aby vnější tlak s nádechem překonaly. Dále hrozí vniknutí již vydechnutého vzduchu do plic z důvodu většího objemu šnorchlu (Přetlak).

5.2 Výsledky průzkumu

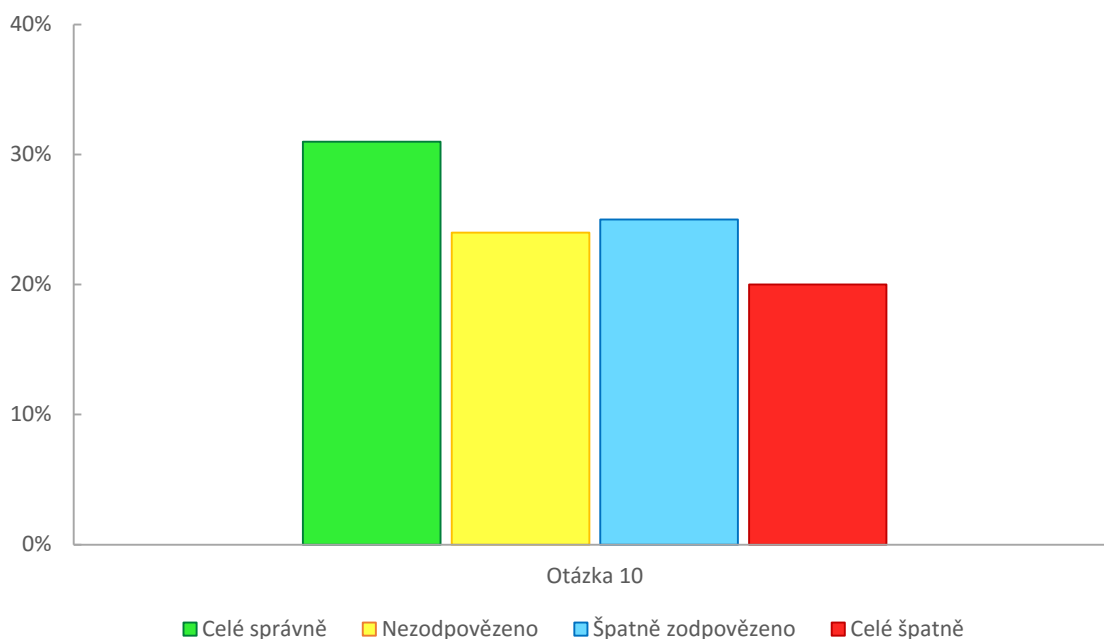
Průzkumu se zúčastnilo celkem 188 respondentů. 40 studentů z technického gymnázia, 114 studentů z všeobecného gymnázia a 34 studentů z přírodovědecké fakulty. V grafu úspěšnosti testu (Obr. 8) vidíme, že na většinu otázek odpovědělo správně přes 70 % studentů. Nicméně na otázku 4 a 8 odpovědělo špatně přes 65 % studentů. Otázka 4 je problémová z důvodu obsáhlejší a delší otázky. Studenti nevěnují dostatečnou pozornost při čtení, a proto nevidí odpověď na konci otázky. Také může být příčina z nedostatku znalostí o dějích

v ideálních plynech. Na další otázku 8 odpověděli studenti špatně především z neznalosti stavové rovnice reálných plynů, poněvadž se rovnice na středních školách nevyučuje. 45 % studentů zakroužkovalo odpověď c), čímž naznačují obtížnost při dosazování vzorců do stejné rovnice. V poslední řadě je potřeba zdůraznit nepozorné čtení odpovědí. U otázky 2 zakroužkovalo původní správnou odpověď a) celkem 87 % studentů.



Obr. 8 Graf znázorňující celkovou úspěšnost studentů gymnázia v otázkách 1-9

Na otázku 10 zakroužkovalo správnou odpověď 80 % studentů (Obr. 9). Odpovědi u otevřené otázky byly variabilní, avšak velice zajímavé. Projevila se zde 56 % snaživost studentů vytvořit odpověď. Nejčastější vysvětlení bylo, že při šnorchlu větším než 40 cm bychom vdechovali již vydechnutý vzduch. Ve výsledku odpovědělo 31 % studentů správně na celou otázku, 24 % pouze špatně vysvětlilo podotázku, 25 % studentů svou leností nebo nevědomostí zakroužkovalo správně, ale nepokusili se vysvětlit proč je odpověď zrovna „ne“ a zbytek studentů odpovědělo úplně špatně.



Obr. 9 Graf úspěšnosti studentů gymnázia při řešení otázky 10

Pokud budeme celkově porovnávat studenty technického a všeobecného gymnázia, výsledky nebudou přesné, jelikož z technického oboru vyplnilo test 3 krát méně studentů, než z všeobecného. Nicméně výsledky jsou velice podobné. U obou dvou oborů byly problémové otázky 4 a 8, zatímco nejlepší byla otázka 5. Žádný student neměl test bez chyby. Studenti technického zaměření měli až 8 chyb, kdežto všeobecného maximálně 7. Nejvíce studentů mělo 2 až 3 chyby.

Studenti všech ročníků se shodují v problematických otázkách, které jsou již uvedeny výše. Mezi bezproblémové záležitosti spadají v 1. ročníku otázky 5 a 7, v 2. ročníku otázky 6 a 10, v 3. ročníku otázky 1 a 6, v 4. ročníku otázky 1, 6 a 7. Největší počet chyb, až 40 %, se vyskytuje u studentů 1. ročníku. Ti nemají probrané ani lidské tělo, ani molekulovou fyziku. Znalosti chybí a s tím i souvislosti a logické uvažování, které jsou v tomto testu potřeba. V 2. ročníku se projevila šikovnost nebo náhoda při řešení otázky 10. Všichni studenti zakroužkovali správně a i s vysvětlením uspělo celkem 65 % studentů. V ostatních ročnících se hranice úspěšnosti pohybovala kolem 25 %.

Přechod studentů z gymnázia na vysokou školu je značný. Začneme se studenty 4. ročníku gymnázia. Nejhorší otázka 4 měla úspěšnost pouhých 10 %, a další otázka 8, o něco více, 42 %. Ostatní otázky se pohybovaly nad 80 %, avšak strop byl u otázky 1 s 95 % úspěšností. Nevyskytl se žádný student, který by napsal test bez chyby. Otázku 10 napsalo celou správně 23 % studentů a celou špatně 32 %. Studenti 1. ročníku vysoké školy měli nejhorší

otázky 3 a 8 s 80% úspěšností. Všechny ostatní otázky zodpověděli nad 90 %. Všichni studenti zakroužkovali správně otázku 6 a 7. Nejvíce studentů (58 %) mělo test bez jakékoliv chyby. Otázka 10 byla správně zodpovězena 55 % studenty, avšak 2 % studentů ji mělo celou špatně. Jde poznat, že studenti vysoké školy mají lepší základ z molekulové fyziky a obecně umí lépe odpovědět a vydedukovat správnou odpověď (díky technickému oboru). Odpovědi na otevřenou otázku 10 byly důvěryhodnější, variabilnější a plnější.

Závěr

Bakalářská práce měla stanovené 3 základní cíle. V rámci teoretické části byly nalezeny mezipředmětové vazby předmětů Fyzika a Biologie v rámci tématu „fyzika a fyziologie dýchání“. Z výsledků průzkumu znalostí mezi studenty gymnázia a vysokoškolskými studenty vyplývá výrazný rozdíl úspěšnosti ve prospěch VŠ studentů. Z didaktického hlediska je zřejmé, že se fyzikální děje nejlépe vysvětlují na základě konkrétního názorného příkladu. Ve spojení s biologií se velmi dobře demonstrují jevy spojené s fyzikou dýchání, což se v rámci hlavního cíle práce podařilo ukázat na příkladu fyzikální dějů a zákonů, které probíhají v dýchací soustavě, ve vazbě na jejich uplatnění při dýchání.

Není pochyb, že funkční vyšetření plic patří dnes mezi základní vyšetření v medicíně. Samotná spirometrie představuje sice jen úzkou část z celého vyšetření, ale tu nejzákladnější. V rámci seznámení se standardním spirometrickým vyšetřením na plicní klinice FN v Olomouci jsem získala detailní přehled o metodice spirometrického vyšetření i jeho analýze. Mě osobně přineslo vyšetření ve Fakultní nemocnici v Olomouci informace o zdravotním stavu dýchací soustavy. Měření se spirometrem od firmy Vernier bylo základem experimentální části bakalářské práce. Zde se prokázalo, že existují sice rozdíly v hodnotách vitální kapacity plic u sportovců a ostatních měřených osob, nicméně i zde jsou rozdíly dané zřejmě genetickými dispozicemi. Experimentální měření vitální kapacity plic studentů přírodovědecké fakulty ukázalo, že největší objem plic mají sportovci, hudebníci a zpěváci. Paradoxně studenti bez jakékoliv aktivity rozvíjející objem plic mají vitální kapacitu menší, než studenti s dýchacími potížemi. Na základě získaných zkušeností ze spirometrického vyšetření se sondou Vernier byl vytvořen návod na měření vitální kapacity plic, které lze zařadit v rámci mezipředmětové výuky fyziky a biologie jako laboratorní cvičení.

Průzkum informovanosti studentů byl prováděn na základě variabilních otázek, z nichž některé jsou netradiční v rámci středoškolských osnov. Rozdíl mezi studenty gymnázia a vysoké školy je značný. Studenti gymnázia mají sice znalosti dobré, avšak chybí jim logická provázanost, souvislosti a pozorné čtení otázek. Vysokoškolští studenti mají lépe utříbené znalosti, logicky umí vydedukovat správnou odpověď a spojit si informace z různých odvětví.

Bakalářská práce, která souhrnně uvádí mezipředmětové vazby mezi fyzikou a biologií a integruje některé poznatky fyziky plynů a fyziologie dýchání, může přispět učitelům ke zkvalitnění výuky na středních školách.

Seznam použitých zdrojů

- [1] HOLUBOVÁ, Renata. *Molekulová fyzika a termodynamika: studijní modul*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2012. ISBN 978-80-244-3299-1.
- [2] ROSINA, Jozef. *Biofyzika: pro zdravotnické a biomedicínské obory*. Praha: Grada, 2013. ISBN 978-80-247-4237-3.
- [3] BARTUŠKA, Karel a Emanuel SVOBODA. *Fyzika pro gymnázia: Molekulová fyzika a termika*. 5. vyd., dotisk. Praha: Prometheus, 2010, dotisk. ISBN 978-80-7196-383-7.
- [4] Struktura a vlastnosti plynů. *Encyklopedie fyziky* [online]. [cit. 2016-06-05]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/591-struktura-a-vlastnosti-plynu>
- [5] SILBERNAGL, Stefan a Agamemnon DESPOPOULOS. *Atlas fyziologie člověka*. 6. vyd., zcela přeprac. a rozš., Vyd. 3. české. Praha: Grada, 2004. ISBN 80-247-0630-X.
- [6] HRAZDIRA, Ivo. *Biofyzika: učebnice pro lékařské fakulty*. 2. přeprac. vyd. Praha: Avicenum, 1990. ISBN 80-201-0046-6.
- [7] Henryho zákon a dekompresní nemoc. *Fyzmatik* [online]. [cit. 2016-07-07]. Dostupné z: <http://fyzmatik.pise.cz/790-henryho-zakon-a-dekompresni-nemoc.html>
- [8] DILLON, Patrick F. *Biophysics: a physiological approach*. New York: Cambridge University Press, 2012. ISBN 9780521172165.
- [9] HERMAN, Irving P. *Physics of the human body*. 3rd, corr. print. Berlin: Springer, 2007. Biological and medical physics, biomedical engineering. ISBN 978-3-540-29603-4.
- [10] LOŠÁK, Jan. *Fyzika mýdlových bublin* [online]. Brno, 2013 [cit. 2016-07-11]. Dostupné z: http://is.muni.cz/th/269645/prif_b/Fyzika_mydlovych_bublin.pdf. Bakalářská práce. Masarykova univerzita. Vedoucí práce Prof. Mgr. Tomáš Tyc, Ph.D.
- [11] SLAVÍKOVÁ, Jana a Jitka ŠVÍGLEROVÁ. *Fyziologie dýchání*. 1. vyd. Praha: Karolinum, 2012. ISBN 978-80-246-2065-7.
- [12] KOČÁREK, Eduard. *Biologie člověka*. Praha: Scientia, 2010. Biologie pro gymnázia. ISBN 978-80-86960-47-0.
- [13] JELÍNEK, Jan a Vladimír ZICHÁČEK. *Biologie pro gymnázia: (teoretická a praktická část)*. 11. vyd. Olomouc: Nakladatelství Olomouc, 2014. ISBN 978-80-7182-338-4.
- [14] ABRAHAMS, Peter H., DRUGA, Rastislav (ed.). *Lidské tělo: atlas anatomie člověka*. Praha: Cesty, 2003. ISBN 80-7181-955-7.
- [15] Krevní oběh: Řízení dýchání. *Základy funkční anatomie člověka* [online]. [cit. 2016-07-09]. Dostupné z: <http://vos.palestra.cz/skripta/anatomie/9a4a2.htm>

- [16] Proč šnorchl nesmí mít délku více než 40 cm?. *Fyzmatik* [online]. [cit. 2016-07-05]. Dostupné z: <http://fyzmatik.pise.cz/245-proc-snorchl-nesmi-mit-delku-vice-nez-40-cm.html>
- [17] PALEČEK, František. *Patofyziologie dýchání*. Praha: Academia, 1999. ISBN 80-200-0723-7.
- [18] První pomoc při poranění hrudníku. *Wikiskripta* [online]. [cit. 2016-07-10]. Dostupné z: http://www.wikiskripta.eu/index.php/Prvn%C3%AD_pomoc_p%C5%99i_poran%C4%9Bn%C3%AD_hrudn%C3%ADku
- [19] Asthma bronchiale. KAŠÁK, Viktor, Václav ŠPIČÁK a Petr POHUNEK. *Interní medicína pro praxi 2001 / 10* [online] [cit. 2016-07-08]. 4 s.
- [20] Kyselina mléčná. *Celostní medicína* [online]. [cit. 2016-07-08]. Dostupné z: <http://www.celostnimedicina.cz/kyselina-mlecna.htm>
- [21] Respirační systém: Patofyziologie obstrukčních a restričních poruch. *Výukové moduly* [online]. [cit. 2016-07-18]. Dostupné z: <http://pfyziolup.upol.cz/castwiki2/>
- [22] FELLNEROVÁ, Ivana a Jiří BEZDÍČEK. *Praktická cvičení z fyziologie člověka a živočichů*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. ISBN 978-80-244-3994-5. Dostupné z: <http://kreativnifyziologie.upol.cz/index.php/zivocisna-fyziologie-cviceni/20-humanni-fyziologie/46-prakticka-cviceni-z-fyziologie-cloveka-a-zivocichu>
- [23] Funkční vyšetření plic. *Moje medicína* [online]. [cit. 2016-07-20]. Dostupné z: <https://www.mojemedicina.cz/pro-pacienty/vysetreni/vysetrovaci-metody/funkcni-vysetreni-plic-1/>
- [24] ROVNÁ, Tereza. *Program pro spirometrická měření* [online]. Brno, 2014 [cit. 2016-07-23]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=86521. Bakalářská práce. Vysoké učení technické. Vedoucí práce Ing. Vratislav Harabiš.
- [25] Spirometr. *Vernier* [online]. [cit. 2016-07-23]. Dostupné z: <http://www.vernier.cz/produkty/podrobne-informace/kod/SPR-BTA>
- [26] Nesamostatný a samostatný výboj v plynu. *Encyklopedie fyziky* [online]. [cit. 2016-07-12]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/print/282-nesamostatny-a-samostatny-vyboj-v-plynu>
- [27] Výboje v plynech. *Miniencyklopedie Elektrina* [online]. [cit. 2016-07-12]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/elektrina/fyz8.htm>
- [28] Výpočet náležité vitální kapacity plic. *Ventilace a plicní objemy* [online]. [cit. 2016-07-25]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/3633024/>

Citace obrázků:

- [29] Dýchací systém. *Střední zdravotnická škola Kroměříž* [online]. [cit. 2016- 07-02]. Dostupné z: http://www.szskm.cz/soma/17A_dychaci_system.jpg
- [30] ADLAM, Elizabeth. *Rodinná encyklopedie medicíny a zdraví: [příznaky, choroby, první pomoc]*. Praha: Reader's Digest Výběr, 2006. ISBN 80-86880-20-6. 146 s.
- [31] ABRAHAMS, Peter H., DRUGA, Rastislav (ed.). *Lidské tělo: atlas anatomie člověka*. Praha: Cesty, 2003. ISBN 80-7181-955-7. 107 s.
- [32] SILBERNAGL, Stefan a Agamemnon DESPOPOULOS. *Atlas fyziologie člověka*. 6. vyd., zcela přeprac. a rozš., Vyd. 3. české. Praha: Grada, 2004. ISBN 80-247-0630-X. 135 s.
- [33] SILBERNAGL, Stefan a Agamemnon DESPOPOULOS. *Atlas fyziologie člověka*. 6. vyd., zcela přeprac. a rozš., Vyd. 3. české. Praha: Grada, 2004. ISBN 80-247-0630-X. 111 s.
- [34] Astma. *Wikimedia* [online]. [cit. 2016-07-08]. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b8/Asthma_before-after-pl.svg
- [35] SLAVÍKOVÁ, Jana a Jitka ŠVÍGLEROVÁ. *Fyziologie dýchání*. 1. vyd. Praha: Karolinum, 2012. ISBN 978-80-246-2065-7. 31 s.
- [36] Schéma spirometru. *Wikiskripta* [online]. [cit. 2016-07-15]. Dostupné z: <http://www.wikiskripta.eu/images/5/5e/Spiro2.png>
- [37] Spirometrie. *Wikiskripta* [online]. [cit. 2016-07-15]. Dostupné z: <http://www.wikiskripta.eu/images/b/b2/Spirometrie.png>
- [38] Patofyziologie obstrukčních a restričních poruch. *Respirační systém* [online]. [cit. 2016-07-18]. Dostupné z: <http://pfyziolfup.upol.cz/castwiki2/wp-content/uploads/2012/03/TokObjem.jpg>
- [39] Pletysmograf. *Meteoweb* [online]. [cit. 2016-07-19]. Dostupné z: <http://www.meteoweb.eu/wp-content/uploads/2014/11/pletismografo.jpg>

Příloha 1

Ahoj! Jmenuji se Lucie Pavlásková a jsem studentkou 3. ročníku Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci oboru Fyzika – Biologie. Součástí mé bakalářské práce, „Dýchání člověka jako integrované téma ve výuce fyziky a biologie“, je průzkum informovanosti studentů střední školy o tomto tématu. Vyplněním 10 otázek mi přispěješ k lepším výsledkům. V testu nehledej žádné chytáky a pozorně čti otázky. Odpovědi zakroužkuj. Na test máš maximálně 15 minut. Hodně zdarů!

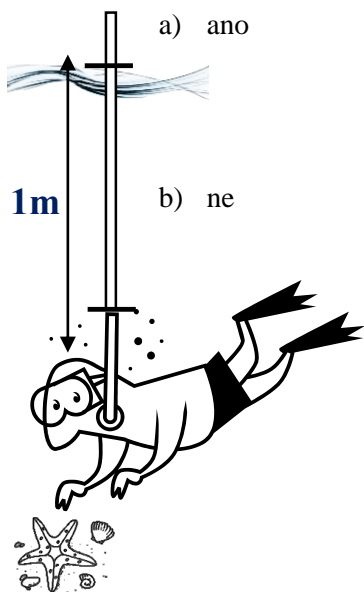
Zaměření:	technické		všeobecné	
Ročník:	1.	2.	3.	4.

Ilustrační obrázky jsou převzaty z internetu.

- Pravá plíce má 3 laloky, kolik laloků má levá plíce?
 - 3
 - 2
 - 4
- Které svaly se podílí na dýchání?
 - bránice, mezižeberní svaly
 - bránice, malý prsní sval
 - bránice, velký prsní sval
- Jak se dostane molekula O_2 z plicních sklípků do krve?
 - ionizací
 - zkapalněním
 - difúzí
- Při výměně vzduchu mezi vnějším prostředím a plicními sklípků se tlak i objem v plicích mění. Poklesne-li tlak, zvýší se objem. Jaký fyzikální děj a zákon z této závislosti vyplývá, jestliže hovoříme o ideálním plynu s konstantním počtem molekul a teplotou?
 - izobarický děj, Gay – Lussacův zákon
 - izochorický děj, Charlesův zákon
 - izotermický děj, Boyleův – Mariottův zákon
- Molekula plynu O_2 přechází z krve do tkání a tím je okysličuje. Který plyn přechází z tkání do krve?
 - CO
 - O_2
 - CO_2



6. Jak se změní atmosférický tlak vzduchu při výstupu na Mount Everest?
- zvýší se
 - sníží se
 - nezmění se
7. Na co se používá přístroj spirometr?
- umělé dýchání
 - vyšetření funkce plic
 - potápění
8. Pro ideální plyny platí stavová rovnice ve tvaru $pV = nRT$. Jak bude vypadat rovnice pro reálné plyny?
- $\left(p - \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT$, kde a a b jsou konstanty závislé na druhu plynu
 - $pV = nRT$
 - $pV = \frac{m}{M_m} RT$
9. Při rychlém vynoření potápěče, z velké hloubky moře, poklesne hydrostatický tlak a v jeho krvi se nahromadí bublinky dusíku, které mohou způsobit až embolii. Jak se tato nemoc nazývá?
- horská nemoc
 - kesonová nemoc
 - astma
10. Lze používat na potápění šnorchl, který má trubici delší než 40 cm? Odpověď zdůvodni.



a) ano

b) ne

Příloha 2

Tab. 4 Měření VC plíc studentů PřF UPOL

Student	Pohlaví	NHVC [l]	VC [l]	P [%]	Sport, hudební dechový nástroj, zpěv	Zdravotní indispozice
1	♂	5,37	6,66	124,0	cyklistika	
2	♂	5,51	7,35	133,4	plavání	alergie, astma
3	♂	5,22	4,83	92,5		
4	♂	5,32	6,43	120,9	sebeobrana	alergie
5	♀	3,51	3,19	90,9	běh	
6	♂	4,90	5,28	107,8	turistika	nachlazení
7	♂	5,32	4,97	93,4		
8	♂	5,16	6,47	125,4		
9	♀	4,05	5,36	132,4	plavání	alergie
10	♀	3,86	4,14	107,3		alergie, astma
11	♀	4,12	3,69	89,6		
12	♂	5,08	5,38	105,9	tanec, klarinet	chronická rýma
13	♀	3,88	3,42	88,1		nachlazení
14	♀	4,48	4,05	90,4		
15	♂	5,81	5,87	101,0	běh	
16	♂	5,06	6,25	123,5	posilovna, běh, cyklistika	nachlazení
17	♂	5,58	6,29	112,7	trubka	
18	♀	3,72	3,84	103,2		alergie, astma
19	♂	4,99	5,51	110,4		
20	♀	4,12	3,81	92,5	běh	alergie
21	♀	3,76	4,54	120,7	běh	astma
22	♀	4,38	3,55	81,1		
23	♀	3,96	4,75	120,0	různé sporty, flétna	
24	♂	5,45	6,75	123,9	plavání, cyklistika, fitness	
25	♀	4,01	3,95	98,5		nachlazení
26	♂	5,19	5,40	104,0	různé sporty	
27	♂	5,56	7,44	133,8		alergie
28	♂	5,82	5,75	98,8	cyklistika, plavání, turistika	alergie
29	♂	5,71	6,32	110,7	fotbal, plavání, cyklistika	
30	♀	3,36	3,10	92,3		

Student	Pohlaví	NHVC [I]	VC [I]	P [%]	Sport, hudební dechový nástroj, zpěv	Zdravotní indispozice
31	♂	5,11	6,62	129,6		
32	♂	5,56	5,37	96,6	běh, inline brusle, lyže	alergie
33	♂	5,32	5,53	104,0		alergie
34	♂	5,12	6,55	127,9	zpěv	
35	♂	5,78	8,83	152,8	potápění, hokej, házená	
36	♀	4,02	4,55	113,2	běh	
37	♀	4,22	4,42	104,7	běh, jízda na koni	
38	♂	5,97	5,87	98,3	tanec, zpěv	
39	♀	3,88	3,86	99,5		
40	♀	4,21	5,01	119,0	tanec	alergie
41	♀	4,26	6,36	149,3	volejbal	
42	♂	5,91	6,75	114,2	volejbal, požární sport	
43	♂	5,89	7,87	133,6	fotbal	
44	♂	6,38	7,64	119,8	volejbal, posilování	
45	♀	4,41	5,21	118,1	taekwondo, saxofon	

JAK VELKOU VITÁLNÍ KAPACITU PLIC POTŘEBUJEME K NAFOUKNUTÍ BALÓNKU?



Návod na laboratorní cvičení z fyziky a biologie

Časová náročnost:

30 minut



Pracujeme ve dvojicích nebo ve skupinkách.



Ilustrační obrázky v záhlaví a v levém sloupci textu jsou převzaty z internetu.

Teoretický úvod

Dýchání patří mezi základní děje života, proto je potřebné kontrolovat stav dýchací soustavy. Vzduch „nasáváme“ do plic díky tlakovému rozdílu atmosféry a plicních sklípků. Poté pokračuje difúzí přes membránu, kde na základě koncentračního spádu putuje z plicních sklípků do krve. Kyslík pak zásobuje tkáň a životně důležité orgány (např. mozek). Naopak oxid uhličitý odchází jako odpadní produkt ven z těla. Mezi hlavní dýchací svaly patří bránice a mezižeberní svaly, které napomáhají ke zvětšení nebo zmenšení objemu hrudníku a plic.

Při dýchání se uplatňuje molekulová fyzika plynů. Nalézáme různé fyzikální zákony, které platí i v lidském těle. V souvislosti s dýcháním tam patří například Daltonův zákon parciálních tlaků nebo Fickův zákon difúze. Když zabrouzdáme do dějů s ideálním plynem, tak s velkým zjednodušením si izotermický děj (Boyle–Mariottův zákon) představíme při plicní ventilaci.

Klidným dýcháním se nám v plicích vyměňuje asi 0,5 litru vzduchu. Pokud chceme zjistit objem plic, tj. vitální kapacitu plic (VC), musíme po maximálním nádechu maximálně vydechnout. Nenechme se zmást, že vitální kapacita je celkový objem plic. V plicích máme ještě rezervní objem vzduchu, tzv. reziduální objem, který nelze vydechnout, ani změřit spirometrem. Vitální kapacita plic závisí na pohlaví, věku, tělesné konstrukci a fyzické aktivitě. Tak jak pro někoho může být normální VC 3 litry, tak pro druhého třeba 7 litrů. Lze ji měřit pomocí spirometru. Měříme s otevřeným spirometrem, který se skládá z hlavice. Ta je složena z trubice, uvnitř které je síťová mřížka. Vdechovaný a vydechovaný vzduch je zaznamenáván čidlem a vyhodnocován na základě rozdílnosti tlaků.

Cíl

Cílem laboratorního cvičení je zjistit, zdali máme dostatečně silné plíce k nafouknutí balónku. Následně změřit vitální kapacitu plic spirometrem. Výsledky zhodnotit a porovnat ve skupině se spolužáky.

Pomůcky

- balónky, spirometr Vernier, LabQuest MINI, náustky, kolíček, počítač s programem Logger pro, propojovací kabel

JAK VELKOU VITÁLNÍ KAPACITU PLIC POTŘEBUJEME K NAFOUKNUTÍ BALÓNKU?










Návod na laboratorní cvičení z fyziky a biologie

Před spirometrií se nepřecpat jídlem.

Měření VC můžeme provést vícekrát pro lepší výsledky, ovšem s rozumným počtem. Buďme ohleduplní ke svým plicím.



Práce se spirometrem

Zapojení provedeme podle obrázku. Nejprve zapneme v počítači program Logger Pro. K němu připojíme pomocí USB kabelu LabQuest MINI do  . Poté spojíme spirometr Vernier a LabQuest MINI do kanálu CH 1. Na stranu spirometru, kde je logo Vernier, nasadíme bakteriální filtr a náustek. V momentě, kdy dojde ke spojení spirometru s počítačem, rozsvítí se zelené světýlko na LabQuestu a v počítači se spustí režim měření spirometrie. Jestliže chceme měřit vitální kapacitu plic, klikneme v horní liště na ikonku  , která přehodí stránku na měření objemu. Před zahájením je vhodné si změnit dobu měření v  . Doporučuji nastavit raději 60 sekund. Měření zahájíme a ukončíme klikem na  Collect . Pokud se nám nezobrazí celá křivka, klikneme na tlačítko  . Jestliže se rovina křivky vychyluje, můžeme ji dorovnat tlačítky  v okně Baseline Adjustment. Ty se nachází vedle výsledných křivek. Před dalším měřením je potřeba hodnoty vynulovat klikem na  .

JAK VELKOU VITÁLNÍ KAPACITU PLIC POTŘEBUJEME K NAFOUKNUTÍ BALÓNKU?



Návod na laboratorní cvičení z fyziky a biologie

Gumový balónek bude klást odpor, který musí plic



Postup měření

1. Nejprve si prověříme plicé nafouknutím balónku. Maximálně se nadechneme mimo balónek a maximálně usilovně vydechneme do balónku. Musíme cítit, jak bránice tlačí na plicé a doslova z nich „ždímá“ zbylý vzduch. Vizually porovnáme objem balónku se spolužáky.

Pro lepší porovnání nafouknutého balónku můžeme změřit obvod pomocí provázku a pravítka.



JAK VELKOU VITÁLNÍ KAPACITU PLIC POTŘEBUJEME K NAFOUKNUTÍ BALÓNKU?



Návod na laboratorní cvičení z fyziky a biologie

Muži
mají větší vitální
kapacitu než ženy.



VC plic se může
zlepšit tréninkem.

2. Provedeme měření se spirometrem. Je potřeba si důkladně přečíst Práce se spirometrem. Usadíme se, narovnáme. Nemělo by nám nic tlačit na břicho nebo hrudník. Během měření sedíme v klidu. Nos si ucpeme kolíčkem a do úst vložíme náustek přesně podle obrázku, aby nedocházelo k úniku vzduchu. Spustíme spirometrické měření a 3 krát normálně klidně dýcháme, to znamená 3 krát nádech a výdech. Po posledním klidném výdechu se zhluboka maximálně nadechneme a maximálně vydechneme. Dbejme na pomalý a stejně rychlý výdech i nádech při celém měření. Po maximálním výdechu pokračujeme opět klidným dýcháním (3 krát). Po měření je ve spirometru zvýšená vlhkost, proto počkejme, až se vytratí, než začneme s dalším měřením. Vyhodnotíme vitální kapacitu plic a porovnáme ji se spolužáky.

JAK VELKOU VITÁLNÍ KAPACITU PLIC POTŘEBUJEME K NAFOUKNUTÍ BALÓNKU?



Návod na laboratorní cvičení z fyziky a biologie

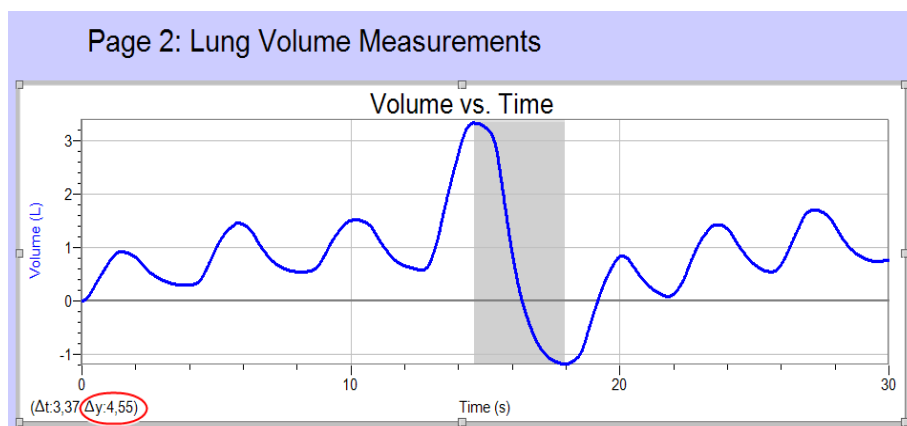
Fyzicky náročné sportovní aktivity zvětšují objem plic. Mezi TOP patří potápění a plavání.

Hraní na hudební dechový nástroj napomáhá ke správnému dýchání a zvětšení VC.



Vyhodnocení vitální kapacity plic

Při vyhodnocování budeme pracovat pouze s křivkou uvedenou na obrázku. Vitální kapacitu plic si změříme označením křivky od nejvyššího bodu objemové osy k nejnižšímu. Dole se nám pak zobrazí údaj Δy , který značí výslednou vitální kapacitu plic.



JAK VELKOU VITÁLNÍ KAPACITU PLIC POTŘEBUJEME K NAFOUKNUTÍ BALÓNKU?



Návod na laboratorní cvičení z fyziky a biologie

Doplňující otázky

1. Jaká nejmenší a největší vitální kapacita plic byla naměřená ve skupině? Pokus se zdůvodnit proč.
2. Vyskytuje se ve skupině někdo, kdo balónek nenafouknul? Pokud ano, jak velkou měl vitální kapacitu plic?