

Univerzita Hradec Králové

Přírodovědecká fakulta

Katedra fyziky

Fyzikální úlohy motivované lidským tělem

Bakalářská práce

Autor: Kateřina Voglová

Studijní program: B1701 Fyzika

Studijní obor: Fyzika a Matematika se zaměřením na vzdělávání

Vedoucí práce: RNDr. Michaela Křížová, Ph. D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a že jsem v seznamu použité literatury uvedla všechny prameny, z kterých jsem vycházela.

V Hradci Králové

Jméno a příjmení

Poděkování:

Ráda bych poděkovala své vedoucí bakalářské práce RNDr. Michaele Křížové, Ph. D.za
Její trpělivost při vedení, ze veškeré připomínky, rady a podporu při psaní práce.

Anotace:

Úkolem práce je vytvořit fyzikální úlohy zaměřené na lidské tělo. Pozornost bude věnována základním poznatkům z oblasti biofyziky a jejich využití ve fyzikálních úlohách. Úlohy budou určeny pro žáky základních a středních škol.

Klíčová slova:

biofyzika, fyzikální úlohy, lidské tělo

Annotation:

The main goal of this bachelor thesis is to develop tasks which will be focused on human body. The tasks will consist of the basic information from biophysics and their application in the concrete exercises. The tasks are created for pupils in both the elementary and high school.

Key words:

biophysics, physical tasks, human body

Obsah

Úvod.....	6
1 Fyzika v lidském těle	7
1.1 Oběhová soustava.....	7
1.1.1 Srdce	7
1.1.2 Cévy, krev a její proudění.....	10
1.2 Dýchací soustava.....	16
1.3 Zrak	19
1.4 Sluch.....	23
1.5 Elektrický proud a jeho vlastnosti v lidském těle	26
1.6 Podpůrně – pohybový systém	28
1.6.1 Svaly	28
1.6.2 Kostra.....	30
1.7 Zuby	31
1.8 Trávicí soustava	32
2 Úlohy inspirované lidským tělem	33
2.1 Mechanika	33
2.2 Optika.....	45
2.3 Akustika	47
2.4 Elektřina	51
2.5 Termodynamika	54
2.6 Zajímavé úlohy.....	55
Závěr	60
Seznam použité literatury	61

Úvod

Každý známe své tělo. Poznáme, kdy máme hlad nebo když nás něco bolí. Mnohem méně však víme, co všechno naše tělo dokáže, jak pevné jsou naše kosti, jakou práci koná srdce, kolik krve za celý život přečerpá, jak dlouho se naše potrava tráví, jak silný máme stisk ruky, jak rychle jsou v našem těle přenášeny informace v nervových vláknech a co všechno se v nás děje, aniž bychom to sami ovládali např. stahy srdce, činnost mozku, metabolismus, schopnost vidět, cítit, hýbat se atd. Při hlubším zkoumání lidského těla nás možná překvapí, jak blízko k sobě mají biologie a fyzika. Obor, který se těmito spojitostmi zabývá, se nazývá biofyzika. Jejím předmětem zkoumání jsou živé organismy a díky tomu bývá řazena mezi vědy biologické. Poznatky z oblasti biofyziky můžeme velmi dobře využít v hodinách fyziky. Biofyzika zavádí fyzikální zákonitosti z neživé přírody na živé organismy. Proto jsou vztahy pro žáky známé i v souvislosti s lidským tělem. Jako příklad si můžeme uvést cévu a proudění krve v ní. Můžeme si ji představit jako trubici a krev považovat za ideální kapalinu. Pak budou pro krev platit stejné zákony jako je Bernoulliho rovnice, spojitost toku atd. Tak můžeme postupovat u dalších orgánů a soustav lidského těla. Úlohy, které se věnují fyzice v lidském těle, prohlubují mezipředmětové vztahy a znalosti jak z oblasti fyziky, tak biologie. Práce se zaměřuje na tuto problematiku a snaží se o spojení těchto dvou předmětů.

V práci budou použity hodnoty vypovídající o lidském těle. Pomocí vztahů známých z oblasti biofyziky budou vytvořeny úlohy zaměřené na lidské tělo tak, aby i vzniklé výsledky byly pro žáky zajímavostí. První část bude věnována obecné biofyzice, ze které pak vycházejí úlohy v praktické části. Je rozdělena na oblasti lidského těla jako je srdeční činnost a krevní oběh, dýchací soustava, zrak, sluch, elektrický proud a jeho účinky na lidský organismus, svaly, kosti, zuby a trávicí soustava. Praktická část se skládá z úloh podle oblastí probírané látky jako je: mechanika, optika, akustika, elektřina, termodynamika a pak úlohy, které nejsou přesně zařazeny.

1 Fyzika v lidském těle

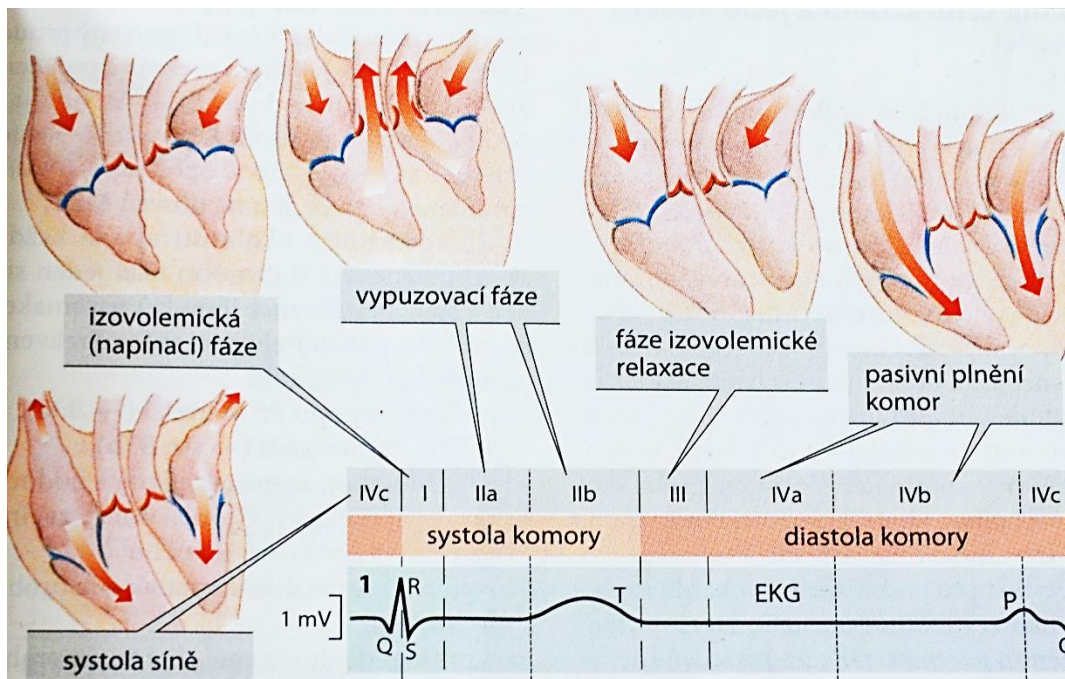
Pro pochopení úloh je potřeba nejdříve uvést základy z oblasti biofyziky. Tomu se bude věnovat tato kapitola. Každá podkapitola se bude zaměřovat na základní vzorce a zavedení vztahů, které pak budou použity pro výpočet úloh. V některých kapitolách budou uvedeny i podrobnější vztahy, které nebude nutno k úlohám znát. Jsou však zařazeny pro vysvětlení a doplnění některých témat, nebo jsou uvedeny pro zajímavost.

1.1 Oběhová soustava

Krevní oběh je uzavřený systém, který se skládá ze srdce, cév a krve. Zajišťuje oběh krve po celém těle. Rozdělujeme ho na malý oběh, který zajišťuje průtok krve mezi srdcem a plicemi, a velký krevní oběh, který rozvádí krev ze srdce do celého těla.

1.1.1 Srdce

Srdce je orgán tvořený z příčně pruhované svaloviny. Je uloženo v dutině hrudní ve vazivovém vaku zvaném osrdečník. Jeho hmotnost tvoří přibližně 0,5 % hmotnosti celého těla. Je rozděleno na čtyři části – pravou a levou předsíň a levou a pravou komoru. Krev z pravé komory je vypuzována do plicního oběhu. Ten ji odvádí do plic, kde je okysličená a následně odváděna do levé komory. Z ní je krev pumpována do velkého oběhu. Děje se tak ve dvou fázích. První se nazývá systola. Během ní dochází k vypuzení krve. Druhé říkáme diastola. Při ní je srdce v klidu a všechny oddíly se plní krví. Při frekvenci 75 tepů za minutu je délka systoly přibližně 0,3 s, diastola trvá kolem 0,5 s. Předsíň slouží pro zásobení komor krví, ty pak pracují na stejném principu jako tlakové čerpadlo – přečerpávají krev. Děje se tak v cyklech, kdy se střídají systoly a diastoly. Popis srdečního cyklu začneme diastolou. V průběhu celé diastoly je tlak v předsíních vyšší než v komorách. Krev tak teče do komor. Díky stahům stěn komor se tlak uvnitř začne zvyšovat a chlopně oddělující předsíň a komoru se uzavřou. Pokud tlak uvnitř komor překročí hodnotu tlaku ve vnějším tepenném oběhu, dojde k otevření chlopní, které odděluje komory od periferií a krev je vypuzena do velkého oběhu. Chlopně působí jako ventily a usměrňují tok. Celý cyklus si můžeme prohlédnout na obrázku 1.



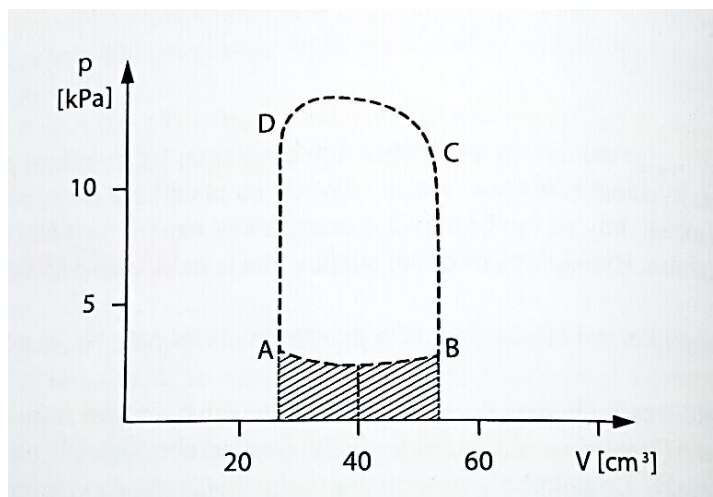
Obr. 1.: Srdeční cyklus (Silbernağl, Despopoulos, 2004, str. 191)

Stahy vypuzuje srdce krev do celého oběhu, kdy je krvi v srdci udílána energie mechanická a srdce koná mechanickou práci. Pro lepší představu můžeme nahradit práci srdce prací pístu. Srdce při každém stahu (systole) vytlačí určité množství krve o objemu ΔV (tzv. tepový objem) za pomoci tlaku p . Celková mechanická práce je pak dána:

$$W = \int p \cdot dV \sim p \cdot \Delta V$$

(Hrazdara, Mornstein, 2001, str. 144)

Pokud budeme předpokládat, že střední hodnota tlaku vyvolaného levou komorou je 13,3 kPa a tepový objem činí asi 70 ml. Pak lze spočítat práci levé komory, která má v okamžiku systoly hodnotu 0,93 J. Práci pravé komory můžeme lehce odvodit. Tvoří ji 20 % práce levé komory, tedy 0,19 J. Celkovou mechanickou práci pak získáme, sečteme-li dílčí práci levé a pravé komory. To je 1,12 J. Celý výše popsáný děj je znázorněn pomocí diagramu na obrázku 2.



Obr. 2.: Diagram levé komory srdeční (Beneš, Jirák, Vítek, 2015, str. 138)

Křivka od bodu A k bodu B znázorňuje změnu tlaku při přitékání krve do levé komory (během diastoly). Mění se objem, ale tlak zůstává téměř neměnný. Z obsahu plochy pod grafem můžeme určit energii, která je krví přiváděná do srdce. Část grafu ohraničená body B a C zobrazuje izovolumickou kontrakční fázi, kdy se nemění objem, ale zvyšuje se napětí v komorách. Úsek mezi body C a D popisuje změnu tlaku při vypuzení krve do aorty. Křivka od bodu D do bodu A znázorňuje fázi, kdy se nemění objem, ale tlak klesá (po vypuzení krve). Plocha ohraničená křivkou ABCD určuje celkovou práci vykonanou srdcem. (Beneš, Jirák, Vítek, 2015) (Hrazdira, Mornstein, 2001)

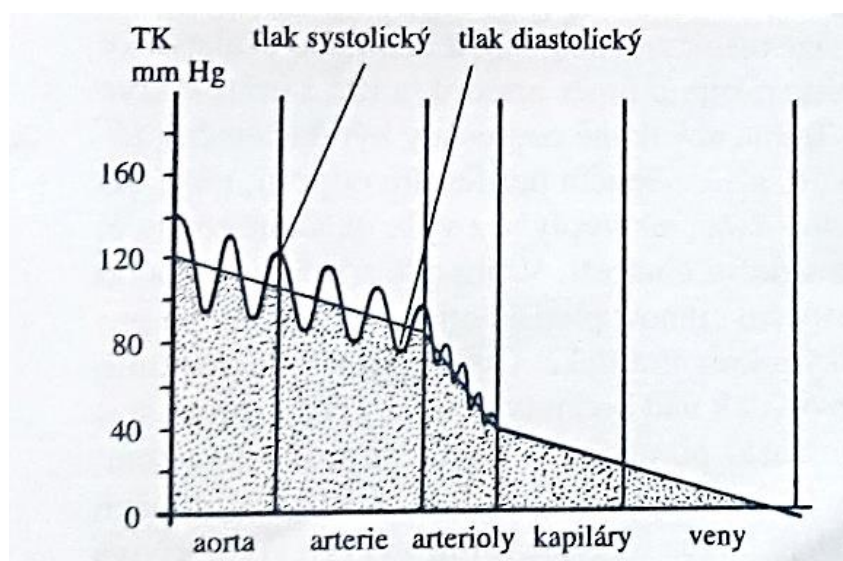
Srdce má vlastní automacii. To znamená, že podněty pro stah srdce vznikají přímo v něm na základě impulsů, které se tvoří v sinusovém uzlu. Jeho činnost je regulována z mozku pomocí autonomních vegetativních nervů, které jsou přiváděny k srdci. Tato regulace srdeční činnosti je potřebná pro vyrovnávání se se změnami při zátěži. Postup elektrického vzruchu srdeční tkáně a časově proměnné rozhraní mezi aktivovanou a klidovou tkání vyvolává časově proměnné elektromagnetické pole v okolí srdečního svalu. Grafický záznam časové závislosti rozdílů elektrických potenciálů snímaných elektrodami rozmístěnými na povrchu těla nazýváme elektrokardiogram (EKG). Ten je ukázán také na obrázku 1 v pravé dolní části. (Novotný, Hruška, 2007)

Celý děj srdečního cyklu se opakuje s frekvencí přibližně 70 cyklů za minutu, tedy za 1 hodinu srdce vykoná 4200 cyklů, za den pak kolem 100 800, za měsíc 3 miliony a za rok je stahů 36 milionů. (Šimek, 1995) Pokud by se člověk dožil věku 70 let, můžeme předpokládat, že jeho srdce přečerpalo přibližně 170 milionů litrů krve a vykonalo $2,5 \cdot 10^9$

tepů. Mechanický výkon srdce vypočítáme z práce systolické (1,12 J), z práce potřebné na vytvoření tepové vlny (viz str. 15.) Její hodnota je přibližně 20 % z mechanické práce srdce (0,22 J). Za předpokladu srdeční frekvence 70 tepů za minutu je hodnota srdečního výkonu kolem 1,6 W. Mechanická účinnost orgánu nepřesahuje 10 %. (Hrazdira, Mornstein, 2001), (Silbernagl, Despopoulos, 2004)

1.1.2 Cévy, krev a její proudění

Krev je po celém těle rozváděna tepnami, žilami a vlásečnicemi. Kdybychom všechny cévy roztáhli, dosáhly by délky přibližně 100 000 km. Stěny velkých tepen obsahují elastická vlákna. Proto mohou měnit svůj objem, a tím pomáhají udržet krev v pohybu. Jejich stěna se při vypuzení krve roztáhne, část objemu vypuzené krve se zadrží. Během diastoly se stěny vrací do původní polohy a je tak umožněn stálý tok krve. Oproti tomu stěny žil jsou tvořeny jen ze slabé svaloviny. Tlakovou sílu proudící krve, která působí na plošnou jednotku cévní stěny, označujeme krevní tlak. Ten je jiný během systoly a diastoly. Pro lékařské vyšetření se měří tento tlak v horní části paže. Udávají se jeho dvě hodnoty, které odpovídají tlaku systolickému a diastolickému. Hodnota vyšší než 160/90 mm Hg (21/12 kPa) je považována za vyšší krevní tlak a hodnota 90/60 mm Hg (12/8 kPa) naopak za nízký. Postupně se tlak v tepnách směrem od srdce zmenšuje. V žilách už klesá tlak pomalu a nejnižší hodnoty dosahuje před pravou komorou. V aortě je střední tlak 13,3 kPa. (pozn. Střední tlak je „průměrná“ hodnota obou tlaků. Není to přesný průměr, protože diastola trvá delší dobu, než systola).

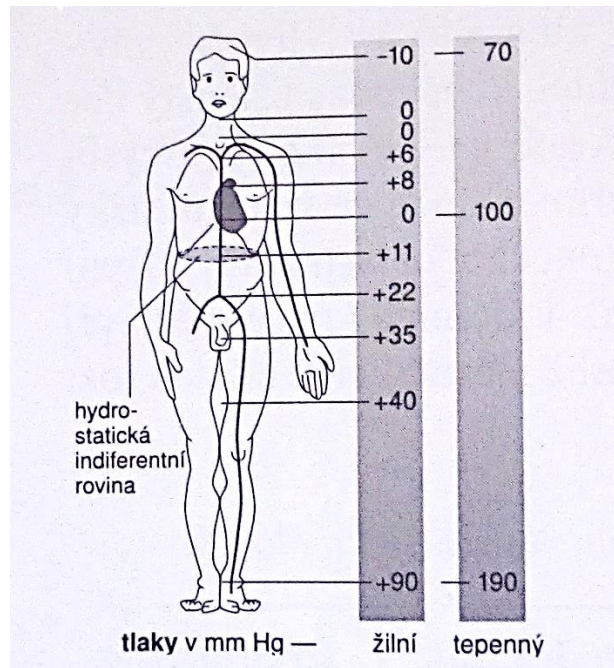


Obr. 3.: Diagram tlaku v jednotlivých částech cévní soustavy (Novotný, Hruška, 2007, str. 55)

Na obrázku třetím vidíme rozdíl mezi tlakem systolickým a diastolickým. Také je z diagramu dobře patrné, jak se tlak v cévách zmenšuje. Střední hodnota tlaku je na obrázku znázorněna jako přímka procházející mezi přímkou diagramu tlaku. (Novotný, Hruška, 2007)

Na začátku kapilár je přibližně 4,26 kPa. Ve velkých žilách dosahuje hodnot už jen kolem 0,5 kPa. Rychlost proudění krve v žilách je asi $\frac{1}{4}$ rychlosti v cévách. Její hnací silou je srdeční činnost, tlakový spád (rozdílné tlaky na začátku a konci trubice (cév)) a pro návrat krve zpět do srdce také negativní nitrohruční tlak a smršťování pracujícího kosterního svalstva, které stlačuje žíly. Celkové množství krve v těle závisí na velikosti osoby. U dospělého muže o váze 70 kg je množství odhadováno na 4,6–6 l, u žen je to asi o 10 % méně. Hustota krve není u všech osob stejná. Závisí na počtu červených krvinek, hemoglobinu a také na množství vody a bílkovin v plazmě. Pro naše výpočty budeme používat s hodnotou $1\,056\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Dle údajů uvedených v knize Medicínská biofyzika můžeme o rozložení krve v těle říci: „*V klidu je minimálně 50 % cirkulující krve v žilách, 12 % v srdečních dutinách, 18 % v nízkotlaké plicní cirkulaci, 11 % v tepnách a 5 % v kapilárách.*“ (Navrátil, Rosina, 2005, str. 120), (Beneš, Jiráček, Vítek, 2015)

V krevním oběhu se projevuje také tlak hydrostatický, který je vyvolaný vlastní tíhou kapaliny a dosahuje největších hodnot ve vzpřímené poloze. (pozn. Krevní oběh je uzavřený systém, proto v oblasti dolních končetin naměříme nižší hodnoty než u rozměrově stejných otevřených trubec.) Přibližně 5–10 cm pod bránicí bychom našli hydrostatickou indiferentní rovinu. V této rovině nedochází ke změně tlaku při změně polohy těla. V následujícím obrázku (obr. 4.) můžete vidět hydrostatické tlaky u člověka ve vzpřímené poloze. Musíme si dát pozor, hodnoty jsou uváděny v mm Hg, což je stará jednotka pro tlak, která je v medicíně stále využívána, $1\text{ Torr} = 1\text{ mmHg} = 133,3\text{ Pa}$.



Obr. 4.: Hydrostatické tlaky ve vzpřímeném postoji (Navrátil, Rosina, 2005, str. 122)

Pro hydrostatický tlak platí vztah:

$$p = h\rho g$$

kde h je výška nad (pod) srdcem, ρ je hustota a g je tíhové zrychlení. (Navrátil, Rosina, 2005), (Svoboda, 2005), (Beneš, Jirák, Vítek, 2015)

Při proudění krve je cévním řečištěm kladen odpor R proudící krvi. Pro odpor cévního řečiště platí vztah:

$$R = \frac{\Delta p}{Q}$$

(Silbernagl, Despopoulos, 2004, str.188)

kde Δp je tlakový spád a Q je průtok, což je objem krve, který projde cévou za jednotku času. Platí pro něj:

$$Q = \frac{dV}{dt}$$

(Beneš, Jirák, Vítek, 2015, str. 142)

a má jednotku $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Dle Hagenova-Poiseuilleova zákona platí pro odpor také:

$$R = \frac{8 \cdot l \cdot \eta}{\pi \cdot r^4}$$

(Silbernagl, Despopoulos, 2004, str.188)

l je délka trubice (v našem případě cévy), η je viskozita krve a r je poloměr cévy. Jak můžeme ze vzorce vidět, pro zdvojnásobení odporu stačí zmenšit poloměr trubice o 16 %. Díky tomu je odpor v kapilárách, které mají velmi malý poloměr, veliký. S odporem cév pracujeme stejně jako s odpory v elektrickém obvodu. Pokud se cévy větví, řadíme odpory paralelně. Jednotlivé odpory cévních úseků můžeme také řadit za sebou do série. Pokud tak učiníme se všemi cévami, zjistíme celkový periferní odpor. Tepny se na něm podílejí z 66 %, kapiláry z 27 % a žíly z 7 %. (Hálek, 2002), (Navrátil, Rosina, 2005) (Hrazdira, Morstein, 2001)

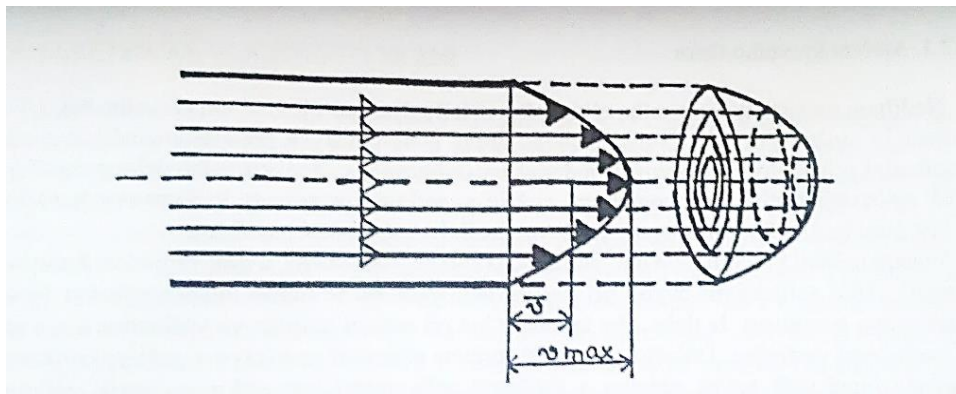
V následující tabulce se můžeme podívat na hodnoty tlaků v jednotlivých částech oběhové soustavy:

	poloměr (mm)	střední rychlost (cm/s)	tloušťka stěny (mm)	tlak (kPa)
aorta a velké arterie	13 a méně	20	2	13,3
malé arterie	5	2	1	12
arterioly	0,150,06	0,20,3	0,02	8
kapiláry	0,004	0,03	0,001	4
žilky	0,01	0,51,0	0,002	2,6
žíly	0,02 a více	15	0,5	2
vena cava	16	510	1,5	1,3

Tab. 1.: Některé parametry cévního systému (Navrátil, Rosina, 2005, str. 121), (Beneš, Jiráček, Vitek, 2015, str. 143)

Střední rychlost proudění krve je tvořena z rychlosti krve během systoly a diastoly. Z tabulky můžeme vidět, jak rychlost proudící krve postupně klesá se zmenšujícím se poloměrem. V případě kapilár je nejmenší a pak opět mírně stoupá. S tlakem je tomu jinak. Postupně klesá a nejmenší hodnoty dosahuje před srdcem.

Za normálních okolností proudí krev laminárně neboli proudnicově. To znamená, že pohyb jednotlivých vrstev probíhá souběžně s podélnou osou cévy. Rychlost krve je uprostřed největší, směrem ke stěnám se zmenšuje. Vektory rychlostí tvoří parabolu, jak můžeme vidět na obrázku pátém.



Obr. 5.: Rychlostní profil proudění krve (Hálek, 2002, str. 67)

Pro rychlost v_d ve vzdálenosti d od středu trubice platí:

$$v_d = v_m \left(1 - \frac{d^2}{r^2} \right),$$

(Beneš, Jirák, Vítek, 2015, str. 141)

v_m značí maximální rychlost proudění ve středu a r je poloměr cévy. Můžeme tak vidět, že u stěn je rychlost nulová ($d = r$). Rychlost v_m můžeme vypočítat ze vztahu:

$$v_m = \frac{\Delta p \cdot r^2}{4\eta l}$$

(Beneš, Jirák, Vítek, 2015, str. 141)

kde Δp je tlakový spád, r značí průřez trubice, l označujeme délku trubice a η je dynamická viskozita. U krve je při teplotě 37 °C absolutní viskozita v rozmezí 3,0–3,6 mPa·s. Vztáhneme-li ji k viskozitě vody, bude relativní viskozita krve rovna přibližně 4,5. (Beneš, Jirák, Vítek, 2015), (Hálek, 2002), (Hrazdira, Mornstein, 2001)

Díky různé pružnosti stěn cév se s parabolickým rozložením rychlosti krve setkáme převážně v malých arteriích. Ve velkých tepnách (např. hrudní aortě) proudí krev ve všech vrstvách téměř stejnou rychlostí (říkáme, že rychlostní profil krve je píستový). Při

výpočtu některých úloh je výhodné pohlížet na krev jako ideální kapalinu. Tedy že je dokonale tekutá, bez vnitřního tření a nestlačitelná. Pak pro ni platí zákon kontinuity:

$$\sum_i S_i v_i = konst$$

(Beneš, Jiráček, Vítek, 2015, str. 140)

S_i je obsah průřezu cévy a v_i je rychlost proudící krve. A také platí zákon Bernoulliův:

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho h g = konstanta$$

(Navrátil, Rosina, 2005, str. 118)

Slovy můžeme říct, že v případě, kdy dokonalá kapalina proudí ustáleně je součet kinetické, tíhové potenciální a tlakové potenciální energie kapaliny o jednotkovém objemu ve všech místech trubice stejný. Za předpokladu, že jsou podélné osy trubice ve stejné výšce, píšeme $h_1 = h_2$ a rovnici můžeme napsat ve tvaru:

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 = konst.$$

(Svoboda, 2006, str. 115)

Vraťme se nyní k popisu krve jako viskózní kapalině. Pokud rychlost krve překročí kritickou hodnotu, nastane proudění turbulentní a začnou se v krvi tvořit víry. Bylo zjištěno, že kritický bod mezi prouděním laminárním a turbulentním je závislý na poloměru trubice r , střední rychlosti v a fyzikálních vlastnostech tekutiny jako je hustota ρ a viskozita η . Udává ho Reynoldovo číslo vztahem:

$$R_e = \frac{\rho r v}{\eta}$$

(Navrátil, Rosina, 2005, str. 119)

Pro krev je jeho hodnota 1000. Vzniklé víry se projeví šelestem, který můžeme slyšet na postiženém místě a v případě silného proudu ho můžeme i nahmatat. V důsledku vířivých proudů může docházet k mechanickému poškození stěny cévy. K zvýšení rychlosti může dojít mimo jiné v důsledku zúžení cévy nebo při stavech se sníženou viskozitou krve.

Proto se tohoto jevu využívá při diagnostice různých nemocí např. při ateroskleróze nebo anémii. (Kittnar, 2011)

Během stahu srdce postupně stoupá a klesá krevní tlak. Stěny tepen se podle toho rytmicky stahují a roztahují. Tak vytváří pulsující tlakovou vlnu (někdy se jí také říká tepová vlna), kterou můžeme nahmatat jako tep. Má tři hlavní jevy. Prvním je kolísání rychlosti v závislosti na systole a diastole. Dále je to krevní tlak, pak také objemový tep, který způsobuje měnící se objem tepny. Během šíření vlny se mění potenciální energie stěny části tepny:

$$E_p = (p_2 - p_1) \cdot \delta V$$

(Hálek, 2002, str. 67)

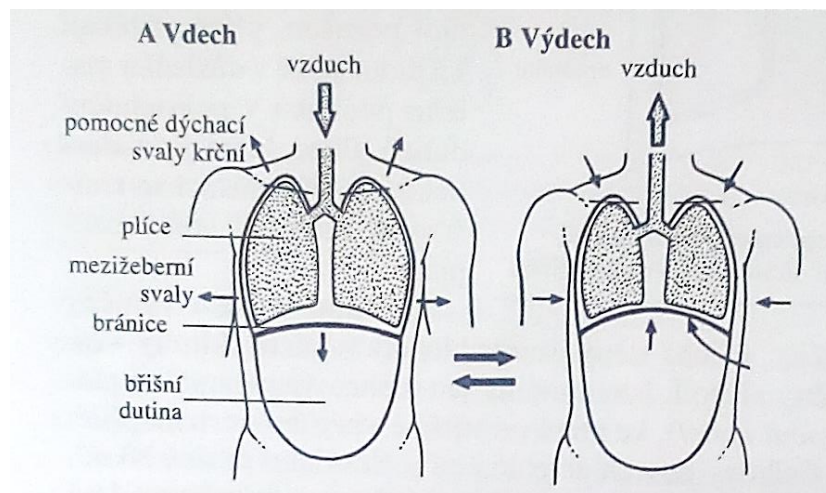
Její střední rychlost šíření je $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, v aortě dosahuje rychlosti $3\text{--}5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a ve větvení tepně je její rychlost přibližně $5\text{--}12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Pokud porovnáme rychlost proudu krve (ta dosahuje v aortě maximální rychlosti $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) a rychlost tepové vlny ($3\text{--}5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), vidíme, že rychlost tepové vlny je vyšší. Její rychlost je nepřímo úměrná poddajnosti cévní stěny. (Silbernagl, Despopoulos, 2004)

1.2 Dýchací soustava

Dýchání neboli respirace patří mezi základní znaky života. Chápeme ho jako příjem kyslíku z vnějšího prostředí a jeho roznos do tkání lidského těla. Zároveň dochází k odvodu oxidu uhličitého z těla pryč. Dělíme ho na dýchání vnitřní a vnější. Mezi vnější zahrnujeme plicní ventilaci, což je mechanický proces, při kterém dojde k výměně vzduchu v plicích během vdechu (inspirace) a výdechu (expirace). Dále dochází k distribuci, difúzi a perfúzi. Během distribuce se promíchá nasátý vzduch se zbytkem v dýchacích cestách a v plicích. Při difúzi se vymění kyslík s oxidem uhličitým (proběhne výměna mezi vzduchem a krví). Perfuse zajišťuje trvalý průtok krve plicním řečištěm. Mezi vnitřní dýchání řadíme výměnu kyslíku a oxidu uhličitého mezi krví a tkáněmi. (Navrátil, Rosina, 2005)

Proudění vzduchu dýchacími cestami je umožněno díky rozdílnému tlaku mezi atmosférou a plicními sklípky. Vzniká na základě změn objemu hrudníku. Plicní tkáň není tvořena za svalových vláken, proto nemůže sama od sebe měnit svůj objem (jako je tomu u srdce). Zvětšení či zmenšení objemu hrudníku se uskutečňuje pomocí dýchacích

svalů. Patří mezi ně bránice a mezižeberní svaly. Plíce pak sledují tyto změny hrudní dutiny. V důsledku negativního nitrohrudního tlaku (ten je v pleurální dutině mezi plícemi a hrudníkem) se roztahují a zmenšují společně s pohyby hrudníku. Při vdechu (inspiraci) je vzduch nasáván. Bránice se pohybuje směrem dolů a s pomocí mezižeberních svalů se objem hrudníku zvětší. Jedná se vždy o děj aktivní. Během vdechu se mění nitroplicní tlak, který poklesne na hodnotu až 0,4 kPa. Proto proudí vzduch z okolí dovnitř. Při výdechu vychází vzduch z plic. Svaly se uvolní a objem hrudníku se zmenší. Jedná se o děj pasivní. Tlak je vyšší (až +0,4 kPa), a proto dochází k proudění vzduchu ven. (Hálek, 2002), (Novotný, Hruška, 2007) Celý proces vdechu a výdechu si můžeme prohlédnout na obrázku 6.



Obr. 6.: Pohyby plic a hrudní dutiny během dýchání (Novotný, Hruška, 2007, str. 70)

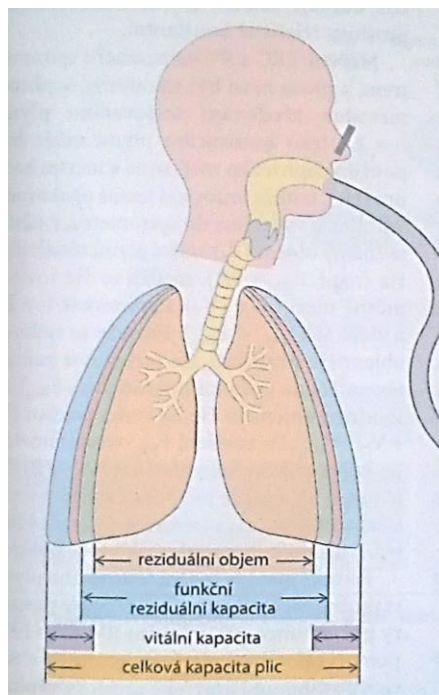
Výměna plynů O_2 a CO_2 probíhá v plicních sklípcích (alveolách). To jsou malé váčky. V plicích jich můžeme najít přibližně $300 \cdot 10^6$. Když je tělo v klidu, naváže se na jeden litr krve, který projde plícemi, 50 ml kyslíku. (Šimek, 1995) Pokud bychom plíce rozložili, pokryli bychom plochu o velikosti 100 m^2 . (Hrazdira, Mornstein, 2001) Roztahují se podle změny hrudní dutiny. Elasticita plic je dána jejich poddajností (kompliancí) C :

$$C = \frac{dV}{dp}$$

(Vítek, Rakovič, 1989, str. 163)

kde dV značí změnu objemu. Ta je závislá na změně tlaku dp . Tato hodnota nám říká, jak moc se plíce přizpůsobují objemovým změnám hrudníku, jinak řečeno: určují míru roztažnosti. Jednotkou je $l \cdot kPa^{-1}$.

S plícemi souvisí další ukazatel, a tím je jejich kapacita. Pokud dýcháme v klidu, vymění se takové množství vzduchu, kterému se říká dechový objem V_T . Pohybuje se kolem 0,5 l. Během přirozeného vdechu můžeme ještě silou vůle přijmout určité množství vzduchu, kterému říkáme inspirační rezervní objem (IRV). Ten dosahuje velikosti 2,5 l. To samé platí i pro výdech. Nazýváme ho expiračním rezervním objemem (ERV) a jedná se o množství vzduchu, které dokážeme maximálním úsilím vydechnout. Jeho hodnota je přibližně 1,5 l. Tyto objemy tělo používá, pokud mu nestačí normální dechový objem (např. při tělesné námaze). I přesto zůstává v plicích určitá část vzduchu, tzv. reziduální objem (RV). Hodnota reziduálního objemu se odhaduje na 1,5 l. Vitální kapacita plic (VC) udává objem maximálního výdechu po maximálním vdechu. Skládá se tedy ze tří objemů: dechového, inspiračního rezervního a expiračního rezervního ($VC = V_T + IRV + ERV$). Funkční reziduální kapacita plic označuje součet expiračního rezervního objemu a reziduálního objemu ($FRC = ERV + RV$). Celkovou kapacitu plic (TLC) získáme, sečteme-li všechny objemy. (Rosina, Kolářová, Stanek, 2006), (Silbernagl, Despopoulos, 2004), (Hrazdira, Mornstein, 2001). Na obrázku sedmém jsou jednotlivé objemy nakresleny.



Obr. 7.: Objemy plic (Silbernagl, Despopoulos, 2004, str. 113)

V následující tabulce jsou hodnoty kapacit plic u žen a u mužů. Tyto hodnoty jsou pouze přibližné, protože musíme přihlížet u každého jedince k jeho věku, tělesné konstituci, fyzické kondici a dalším faktorům. Vitální kapacita plic může být u některých osob 7 l nebo také 3,5 l a nejedná se o patologický jev.

			plicní objem u mužů (l)	plicní objem u žen (l)
vitální kapacita	inspirační kapacita	reziduální objem	3,3	1,9
		expirační rezervní objem	0,5	0,5
	funkční reziduální kapacita	dechový objem	1,0	0,7
		inspirační dechový objem	1,2	1,1
celková plicní kapacita			6,0	4,2

Tab. 2.: Plicní objemy a hodnoty mající vztah k mechanice dýchání (Navrátil, Rosina, 2005, str. 133)

Proti proudu vzduchu působí v dýchacích cestách odporová síla. Je způsobena třením mezi molekulami proudícího vzduchu a dýchacími cestami. Vypočítáme ji jako změnu tlaku mezi alveolami a ústy, kterou vydělíme objemem průtoku vzduchu ústy:

$$R_{aw} = \frac{p_a - p_{awo}}{\Delta V}$$

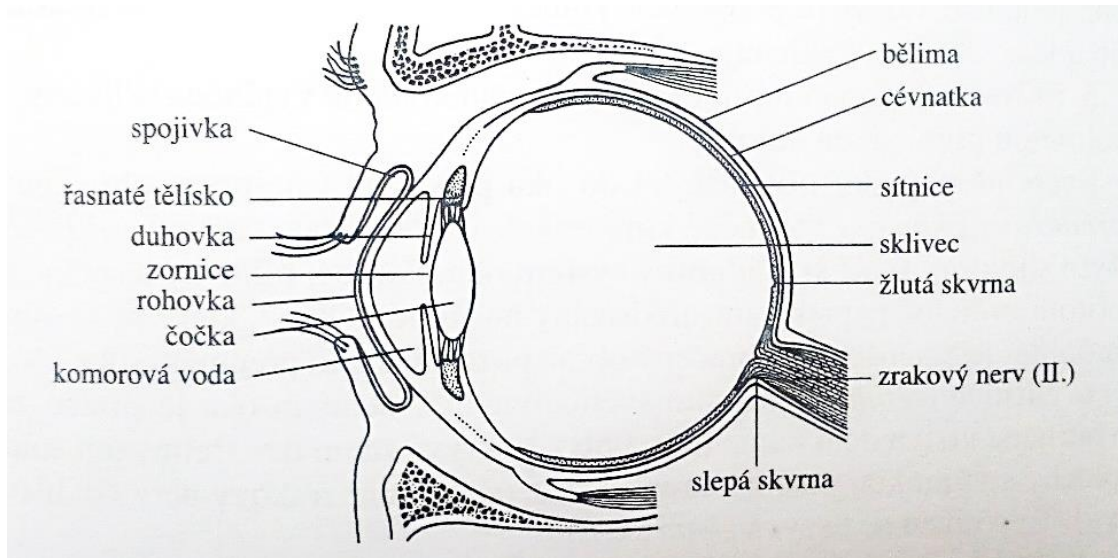
(Navrátil, Rosina, 2005, str. 136)

Obvykle jeho hodnota bývá od 0,05 do 0,35 kPa·s·m⁻¹. (Hálek, 2002)

1.3 Zrak

Zrak je jeden z lidských smyslů. Je tvořen okem uloženým v očníci. Jeho prostřednictvím tělo získává až 80 % informací ze svého okolí ve formě elektromagnetického záření, které se v oku mění na nervový signál. Je citlivé na vlny v rozsahu viditelného světla, to je přibližně v rozmezí od 390–760 nm. Nejcitlivěji oko reaguje na barvu žlutou o vlnové délce 550 nm. Svým tvarem připomíná kouli s poloměrem 12 mm. Obal oka je tvořen třemi vrstvami. Vnější vrstva se nazývá bělima, která v přední části přechází v rohovku. Ta je široká přibližně 2 mm. Střední část je tvořena cévnatkou, která se v přední části mění na řasnaté těleso a duhovku. Řasnaté těleso vyživuje oční tkáň.

Ve středu duhovky se nachází otvor nazvaný zornice. Jejím rozšířením nebo zúžením je umožněna regulace světla, působí jako clona. Za duhovkou nalezneme čočku. Prostor za čočkou je vyplněn sklivcem, který je tvořen rosolovitou průhlednou hmotou a vyplňuje většinu prostoru oční bulvy. Vnitřní vrstva oční stěny je tvořena sítnicí. Celé oko si můžeme prohlédnout na obrázku 8. Světlo před dopadem na sítnici prochází přes rohovku, komorovou vodu, čočku a sklivec.

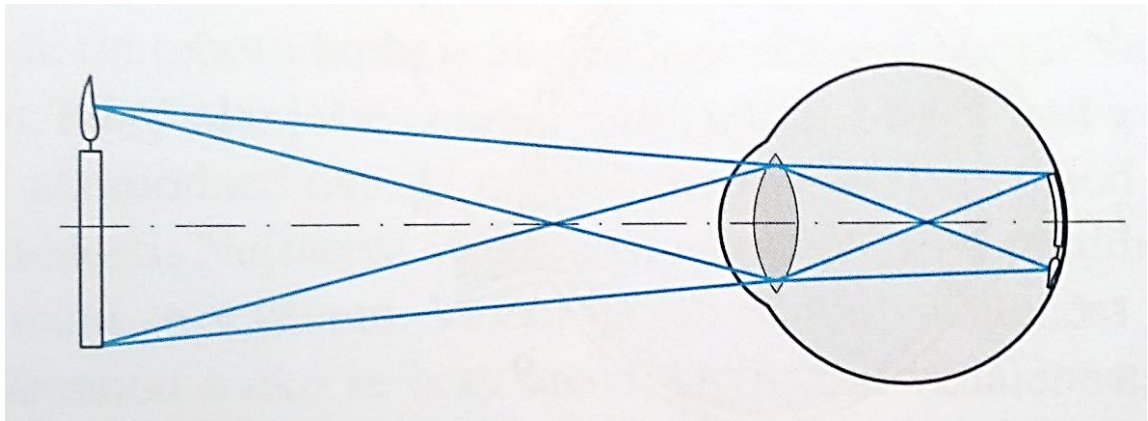


Obr. 8.: Řez okem (Novotný, Hruška, 2007, str. 155)

K udržení trvalého tvaru oční bulvy slouží její obaly a vzhledem k okolí vyšší nitrooční tlak, který má hodnotu 2,66 kPa. Je udržován v rovnováze pomocí tvorby a odtoku komorové vody. (pozn.: Každé oko má svoje specifické hodnoty a odlišnosti, vzhledem k tomu byl vytvořen tzv. Gullstrandův model oka. Je sestaven na základě představy oka jako centrované optické soustavy se schopností automatického zaostřování.) (Hrazdira, Mornstein, 2001), (Novotný, Hruška, 2007)

Důležitou vlastností čočky je její schopnost akomodace. Může tak pomocí svalů v řasnatém tělese měnit zakřivení, a díky tomu měnit i svoji optickou mohutnost. (pozn.: Optická mohutnost je převrácená hodnota ohniskové vzdálenosti. Její jednotkou je m^{-1} a značí se φ . V optice používáme jednotku dioptrie D. Čočka s ohniskovou vzdáleností 1 m má optickou mohutnost 1 D. Podle znaménkové konvence mají spojky optickou mohutnost větší než nula $-\varphi > 0$. Rozptylky mají optickou mohutnost menší než nula $-\varphi < 0$.) Podíváme-li se na blízký předmět, čočka se vyklene, ztlušťuje se, zvětší se lom světelných paprsků a mění se její optická mohutnost (ohnisková vzdálenost). Schopnost akomodace se určuje pomocí blízkého a vzdáleného bodu. Jedná

se o body nejbližší a nejdálší, které oko dokáže zaostřit. Čočka desetiletého dítěte má akomodační šíři přibližně 15 D, blízký bod je vzdálen 7 cm od oka. Blízký bod dospělého člověka je ve vzdálenosti asi 25 cm. Této vzdálenosti říkáme konvenční zraková vzdálenost. Akomodační šíře je už pouze 4 D. Se stářím se stává akomodace obtížnější a může zaniknout zcela. Oproti tomu hledění do dálky nevyžaduje aktivitu svalstva. Proto je pro starší lidi většinou obtížné zaostřit na blízké body (např. při čtení atd.). (Svoboda, 2005), (Navrátil, Rosina, 2005), (Silbernagl, Despopoulos, 2004), (Hrazdira, Mornstein, 2001)



Obr. 9.: Zobrazovací soustava oka (Lepil, 2011, str. 65)

Obraz vytvořený oční čočkou na sítnici je převrácený a zmenšený. (viz obr. 9) Na sítnici najdeme až 1 600 000 nervových vláken, které se sbíhají do oblasti zadního pólu oka a jejich svazek vystupuje z oka jako zrakový nerv a spojuje tak oko s mozkem. Jsou na ní umístěny tyčinky a čípky. Tyčinky slouží pro vidění za šera, nedokáží rozlišit barvu světla. Pomocí čípku rozlišujeme barvy. Jsou aktivní při větším osvětlení, proto slouží hlavně pro vidění ve dne. Místu s nejhustším osazením čípky říkáme žlutá skvrna. V tomto místě je náš zrak nejostřejší a používáme toto místo pro podrobné pozorování. Za dobrých světelných podmínek je lidské oko schopno rozlišit dva body, pokud z nich jdoucí paprsky svírají úhel minimálně 1'. Tomuto úhlu říkáme také *mez rozlišovací schopnosti oka*. (Beneš, Jirák, Vítek, 2015), (Novotný, Hruška, 2007)

Pro optickou soustavu oka používáme zákony paprskové optiky, kdy je pomocí oční čočky tvořen obraz předmětů. Pro příčné zvětšení (pozn.: Udává, o kolik se předmět zmenšil (zvětšil) a značí se Z) platí:

$$Z = \frac{y'}{y} = -\frac{a'}{a}$$

(Navrátil, Rosina, 2005, str. 226)

y je výška předmětu, y' je výška obrazu, a značí předmětovou vzdálenost a a' označujeme obrazovou vzdálenost. Pro výpočet ohniskové vzdálenosti f použijeme vztah (předpokládáme, že před a za čočkou je stejné prostředí):

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right),$$

(Lepil, 2011, str. 58)

kde n_2 značí index lomu čočky a n_1 je index lomu okolního prostředí, r_1 a r_2 jsou poloměry křivosti optických ploch.

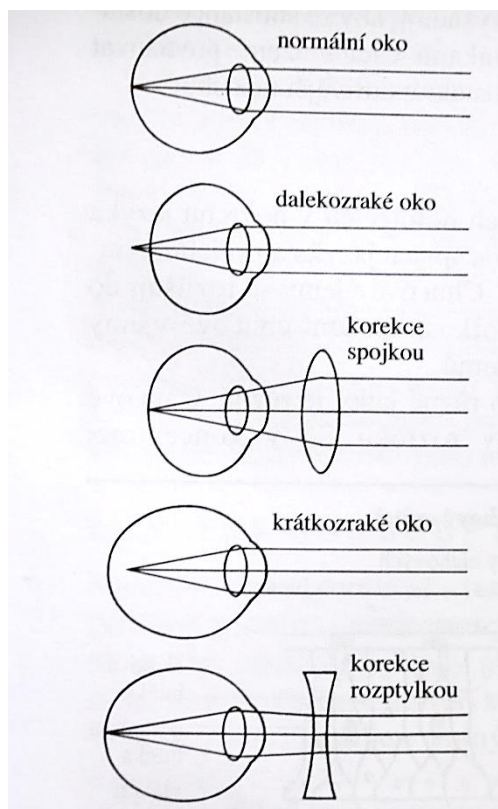
Jak už bylo výše uvedeno čočku charakterizuje její optická mohutnost, kterou vypočítáme jako převrácenou hodnotu ohniskové vzdálenosti f :

$$\varphi = \frac{1}{f}$$

(Lepil, 2011, str. 59)

Optická mohutnost celého oka je přibližně +60 D. (pozn.: Podle znaménkové konvence mají optické plochy vypuklé kladný poloměr křivosti. Čočka má tvar spojky, proto i její ohnisková vzdálenost je kladná. Optická mohutnost má kladné znaménko.) (Lepil, 2011), (Beneš, Jirák, Vítek, 2015)

Zdravé oko vytváří obraz na sítnici. Při tvoření obrazu optickým aparátem může dojít ke dvěma vadám. Pokud se obrazy předmětů vzdálených promítají před sítnicí, hovoříme o krátkozrakosti. Oko vidí ostře pouze předměty, které jsou blízko. Má však problém zaostřit na předměty vzdálené. Optická mohutnost je moc velká vzhledem k délce oka a pro korekci je nutné použít rozptylky (jak je ukázáno na obr. 10.). Hovorově říkáme, že dotyčný vidí špatně na dálku. V opačném případě se obraz předmětů blízkých oku tvoří za sítnicí, jedná se o dalekozrakost. Říkáme, že člověk vidí špatně nablízko. Optická mohutnost oka je vzhledem k jeho délce nedostatečně malá a k posunutí obrazu jsou využity spojky. (obr. 10).



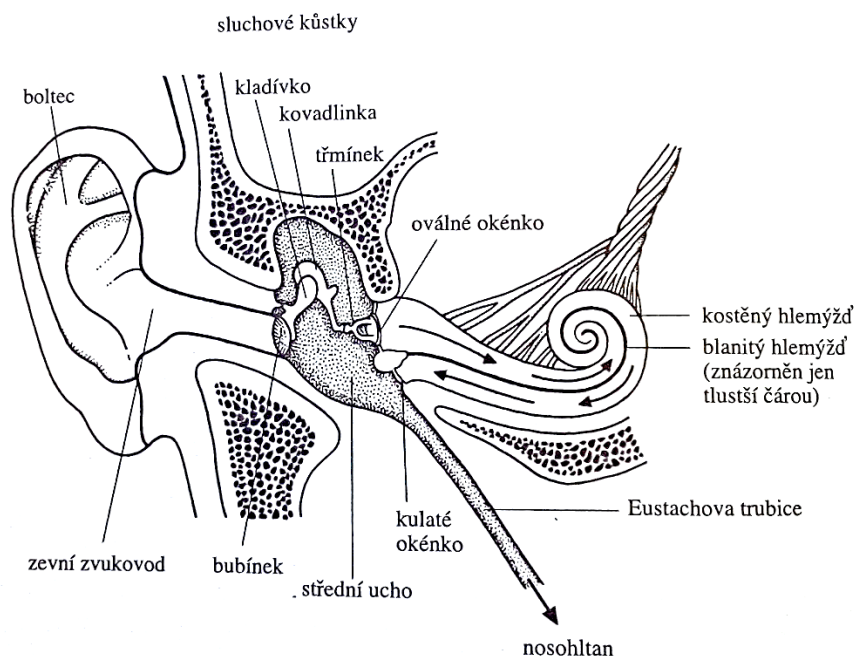
Obr. 10.: Dopad paprsků v oku zdravém, dalekozrakém a krátkozrakém
(Novotný, Hruška, 2007, str. 159)

Zrakový vjem se nám uchovává přibližně 0,1 s po jeho ukončení. To je způsobeno díky tzv. setrvačnosti zrakového vjemu. Pokud bychom sledovali světelné záblesky, jež by měly frekvenci vyšší než 10 Hz, splývaly by nám. Tohoto jevu se využívá při vytváření filmů, které promítají s frekvencí 24 snímků za minutu. (Lepil, 2011)

1.4 Sluch

Zvukem nazýváme mechanické vlnění, které vnímáme sluchovým orgánem. Vlnění vzniká na základě kmitání částic vzduchu. Přenáší se tak energie, kterou zaznamenáváme sluchem. Lidské tělo zaznamenává energii již o hodnotě $5 \cdot 10^{-23}$ J. Celé sluchové ústrojí se skládá z vnějšího, středního a vnitřního ucha. Zvuková vlna je zachycována zevním ušním boltcem a dále je vedena zevním zvukovodem k bubínku. Ten reaguje na změny tlaku vzduchu rozechvěním. Dutinou středního ucha se zvuk přenáší na sluchové kůstky, které se skládají z kladívka, kovádlíčky a třmínku. Ty jsou spojeny s membránou oválného okénka vnitřního ucha. Tak se rozechvěje perilymfa, jež se nachází v kostěném hlemýždi a dojde k přenosu vlny na endolymfu, která se rozkmitá a způsobí tak posun krycí membrány proti membráně bazální. Energie se přenesla vlněním až na vláskové

buňky v bazální membráně, které se začnou ohýbat a mechanická energie se tak přemění na energii elektrickou. Informaci přijmou nervová vlákna a signál je odveden do mozku. (Novotný, Hruška, 2007)



Obr. 11.: Sluchové ústrojí (Novotný, Hruška, 2007, str. 152)

Základní charakteristikou zvukové vlny je její frekvence f a rychlost v . Z těchto údajů můžeme vypočítat vlnovou délku λ :

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

(Navrátil, Rosina, 2005, str. 270)

Ze vztahu je patrné, že vlny s vysokou frekvencí mají malou vlnovou délku a ucho je vnímá jako vysoké tóny. Lidský sluch je schopný vnímat zvuky s frekvencí od 16–20 000 Hz. Nejcitlivěji reagujeme na podněty o frekvenci 700–6 000 Hz. Zvuková vlna se za normálního tlaku šíří ve vzduchu rychlostí v a platí pro ni:

$$v_{\text{vzduch}} = (331,82 + 0,61\{t\}) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

(Lepil, 2008, str. 83)

t je teplota vzduchu ve °C, číslo 331,5 je rychlost vzduchu při teplotě 0 °C (a hustotě suchého vzduchu 1,293 kg·m⁻³). Proto se s rostoucí teplotou zvyšuje i rychlost zvuku. Závisí také na vlhkosti, ve vlhkém ovzduší se vlna šíří rychleji.

Při zvukovém vlnění je přenášena energie, lze pak zvuk charakterizovat také jeho akustickým výkonem. Pro okamžitý akustický výkon píšeme:

$$P = \frac{dE}{dt}$$

(Lepil, 2008, str. 211)

kde E je vyzářená energie za jednotku času. Jeho jednotkou je watt W. Další charakteristikou zvuku je jeho intenzita, kterou značíme I . Udává, jaké množství energie se za určitý čas přeneso přes plochu S , která je kolmá na směr šíření vlny:

$$I = \frac{dP}{dS}$$

(Lepil, 2008, str. 211)

jednotkou je W·m⁻². Při frekvenci zvuku 1 kHz jsme schopni vnímat zvuk již při výkonu 10⁻¹² W. Této hodnotě říkáme práh slyšení. Podněty, které překročí tzv. práh bolesti, mají výkon větší než 1 W. Z toho je patrné, že poměr mezi prahem slyšení a bolesti je značně veliký (10¹²). Proto byl zaveden logaritmický poměr výkonů, kterému říkáme hladina akustického výkonu a značí se L . Jednotkou je bel B. V praxi se nejčastěji setkáme s jednou 10krát menší nazvanou decibel (dB). Vztah můžeme zapsat:

$$L_w = 10 \cdot \log \frac{P}{P_0}$$

(Lepil, 2008, str. 88)

P je výkon daného zvuku a P_0 značí akustický výkon, který je určen prahem slyšení. Pro práh bolesti je hodnota 120 dB. Při hodnotě 140 dB dochází k trvalému poškození sluchu. (Beneš, Jirák, Vítek, 2015), (Lepil, 2008)

V následující tabulce můžete vidět hladiny výkonů akustického zvuku pro běžné zvuky:

zdroj zvuku	vzdálenost v m	hladina akustického výkonu v dB
práh slyšení		0
tichý šepot	1	10
šepot	2	20
rozhovor	1	65
motor automobilu	5	70
symfonický orchestr	35	80
hluk motorových vozidel	10	90
hudba na diskotéce		100
startující letadlo	10	110
práh bolesti		120

Tab. 3.: Hodnoty hlasitosti zvuku (Lepil, 2008, str. 89)

1.5 Elektrický proud a jeho vlastnosti v lidském těle

Při popisu elektrických jevů v lidském těle na ně nahlížíme ze dvou pohledů. V prvním případě popisujeme jevy, které vznikají v samotném organismu (produkt membránových buněk). Pozorujeme tedy aktivní elektrické vlastnosti. V druhém případě je do těla přiváděn elektrický proud z vnějších zdrojů. Pak sledujeme tzv. pasivní elektrické vlastnosti, tedy působení vnějšího elektrického proudu na lidské tělo.

Signály nervové soustavy vnikají na základě toku elektrického proudu. Ta řídí přímo nebo nepřímo činnost orgánů lidského těla, reaguje na okolní svět a řídí naše vyšší nervové funkce, jako jsou emoce, prožívání, učení, paměť atd. Základní jednotkou nervové soustavy je neuron. Vjemy jsou vedeny pomocí iontů napříč plazmatickou membránou neuronu. Bylo zjištěno, že mezi vnitřkem buňky a vnějším prostředím naměříme rozdílný elektrický potenciál. Tomuto rozdílu říkáme klidový membránový potenciál.

Více než aktivní elektrické vlastnosti těla nás budou zajímat jeho elektrické vlastnosti pasivní. Živou tkáň považujeme za zvláštní druh vodiče díky její mikroskopické i makroskopické nehomogenosti. Elektrický proud vstupuje do těla cestou nejmenšího odporu přes vlasové folikuly a vývody potních žláz. V tkáních je proud tvořen tokem iontů, s elektronovou vodivostí se téměř nesetkáme. Při zjednodušené představě tkáně rozlišujeme dva druhy elektrické vodivosti. Cytoplasmu a mezibuněčné prostředí

můžeme považovat za vodič druhého řádu, který je charakterizovaný rezistencí R . Membrány se chovají jako kondenzátory a jsou charakterizovány kapacitancí X_C . Z těchto důvodů je průchod proudu závislý na frekvenci. Vodivost stejnosměrného proudu je nejlepší v krvi, mozkomíšním moku a ve svalech, nejméně vodivé jsou pak vazivové blány nebo tuková tkáň. Míra podráždění elektrickým proudem závisí na řadě vnějších faktorů jako je napětí, kmitočet, doba působení proudu, intenzita, velikost a tlak dotýkající se plochy, vlhkost a teplota kůže, přidaný odpor bot, šatů atd., prokrvenost kůže a další. (Hrazdira, Mornstein, 2001)

Jinak na tělo působí proud stejnosměrný a jinak střídavý. Dráždivé účinky střídavého proudu jsou závislé na jeho frekvenci. Do frekvence 100 Hz je zvyšování dráždění a frekvence lineární. Poté se dráždění zvyšuje pomaleji až do frekvence 500 Hz až 3000 Hz, kde je prahová hodnota dráždivého proudu závislá na druhé odmocnině frekvence. U frekvencí nad 3000 Hz klesá a při překročení 10 kHz dráždivost ustává. Proudů o vysokých frekvencích už nemají elektrochemické účinky, ale projevují se tepelné účinky proudu. Přijatá elektrická energie se mění v teplo. Její množství můžeme vypočítat podle Jouleova zákona:

$$Q = U \cdot I \cdot t$$

(Hrazdira, Mornstein, 2001, str. 204)

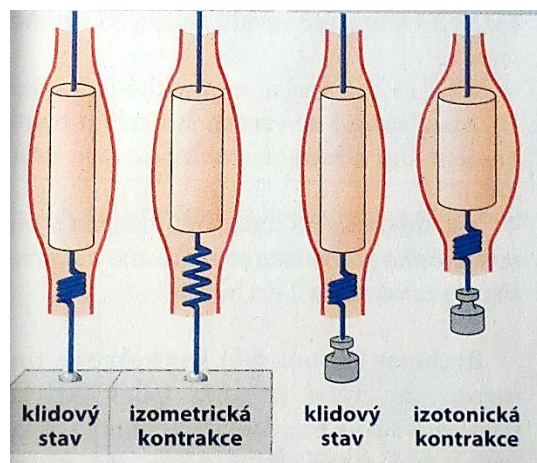
Frekvence je nejnebezpečnější pro proudy od 30 do 150 Hz. Účinky stejnosměrného proudu jsou méně závažné než účinky střídavého proudu. Díky tomu, že pro organismus jsou nejvíce nebezpečné momenty, kdy se mění fáze proudu. Pokud dosáhne střídavý proud hodnot okolo 0,5 mA, začneme ho pociťovat. Tuto hodnotu považujeme za práh vnímání. Při zvyšování cítíme mravenčení a brnění. Postupně dochází k svírání svalů a při hodnotě 10 mA je uchopení vodiče natolik silné, že není možné ho pustit. Hodnotu nazýváme mezí uvolnění. Velikost proudu je nebezpečná hlavně z dlouhodobého hlediska, kdy nemůžeme proud zastavit. Při velikosti proudu 20 mA už může docházet k poškození tkání, u proudu o velikosti 35 mA může dojít k srdeční zástavě. U hodnot proudu vyšších než 80 mA je zástava srdce téměř jistá. Jiné jsou hodnoty pro proud stejnosměrný, proud mezní hodnoty má velikost 25 mA. (Navrátil, Rosina, 2005), (Kříž, 2014), (Hrazdira, Mornstein, 2001)

1.6 Podpůrně – pohybový systém

Pohyb celého těla je umožněn díky svalům, které zajišťují pohyblivost jednotlivých částí, a kostře, která dává celému tělu oporu. Podle jejich mechanických a statických vlastností u nich určujeme pevnost, která vyjadřuje soudržnost látky. Dále je to pružnost, která charakterizuje schopnost materiálu vrátit se po deformaci do původního tvaru. Není-li překročena mez pružnosti, platí pro deformaci Hookův zákon. U materiálů určujeme také roztažlivost. Vypovídá o poddajnosti látky vůči působení deformační síly. Tvárnost, která také charakterizuje materiál, popisuje schopnost trvalé změny tvaru po působení deformace. Při popisu nesmíme zapomínat, že se jedná o živé tkáně, které se svými mechanickými vlastnostmi liší od pevných látek, i když je popisujeme stejným způsobem.

1.6.1 Svaly

Svaly zajišťují pohyb celého těla a jednotlivých částí. Mění se v nich energie chemických vazeb na teplo a mechanickou práci. Rozdělujeme je na svaly kosterní, hladké a srdeční svaloviny. Kosterní svalstvo tvoří 40 % až 50 % celkové tělesné hmotnosti. Sval má vysoký stupeň elasticity. Při působení deformační síly se sval roztahuje. Po skončení působení síly se vrací do své tzv. klidové délky. Překročí-li síla mez pevnosti, sval se trhá. Trhací napětí v tahu je přibližně mezi hodnotami 0,4–1,2 MPa. Pokud se sval prodlouží nad 40 % své klidové délky, dochází k nevratným změnám. Sval se trhá při překročení 150–200 % své základní délky. (Hrazdira, Mornstein, 2001), (Hálek, 2002)



Obr. 12 Kontrakce svalů (Silberagl, Despopoulos, 2004, str. 67)

Svaly jsou tvořeny ze svalových vláken, která obsahují myofibrily. V myofibrilách nalezneme dva druhy filament. Dle Huxleyovy a Hansenovy teorie se sval stahuje

na principu zasouvání slabších filament mezi filamenty silnější. Svaly se můžou stahovat a roztahovat. Když se mění síla, ale nemění se délka svalu, hovoříme o kontrakci izometrické. Slouží pro vyrovnání jiných vnějších sil jako jsou síly tíhové, nebo pro zabránění pohybu. Během izotonické kontrakce se mění délka svalu, ale nemění se síla. Pak pomocí pák hýbou svaly celým tělem. Na obrázku 12. jsou kontrakce svalů znázorněny. V následující tabulce jsou ukázány druhy kontrakce a jejich souvislost s mechanickou prací:

Typ kontrakce	Funkce	Velikost vnější síly působící na sval	Mechanická práce konaná svalem
zkrácení	zrychlení	malá	kladná
izometrická	fixace	větší	žádná
prodloužení	zpomalení	velká	záporná

Tab. 4.: Kontrakce svalů (Beneš, Jirák, Vitek, 2015, str. 136)

Jedno svalové vlákno je schopno uzvednout závaží o váze 200–300 mg. Svalových vláken má člověk v těle přibližně $15\text{--}30 \cdot 10^6$. Sval může vyvinout sílu až kolem $40 \text{ N} \cdot \text{cm}^{-2}$ (je to síla na jednotku průřezu). Pak například u dospělého jedince je průměrná hodnota síly stisku ruky přibližně 500 N. (Šimek, 1995)

Svaly jsou na kostru upevněny pomocí šlach. Ty také slouží k přenosu síly svalu na skelet. Jejich pevnost závisí na věku a řadě dalších faktorů (např. velikosti příslušného svalu). Většinou se udává její pevnost jako čtyřnásobek síly kontrakce příslušného svalu. Např. mez pevnosti Achillovy šlachy pro tah je přibližně 35–56 MPa.

Pro energii uvolněnou ze svalu můžeme napsat:

$$E = Q_a + Q_z + W$$

(Hrazdira, Morstein, 2001, str.144)

Q_a je aktivační teplo, které se uvolňuje během chemických procesů a uvádí sval z klidu do pohybu. Q_z je zkracovací teplo, které vzniká při zkracování svalu a W je mechanická práce. (Beneš, Jirák, Vitek, 2015), (Silbernagl, Despopoulos, 2004), (Hrazdira, Mornstein, 2001)

1.6.2 Kostra

Kostra poskytuje oporu celému tělu. Skládá se z kostí, kloubů a vazů.

Hlavní vlastností, kterou u kostní tkáně zkoumáme, je její pevnost. Obecně je kost velmi pevná. Můžeme na ni působit tlakem, tahem, torzí nebo ohybem. Ve směru osy kosti je schopna snést i velké zatížení (např. kost holení dokáže snést i zatížení 1 350 kg). Dlouhé kosti jsou duté, proto více odolávají působení síly v ohybu. Konce kostí jsou svojí stavbou přizpůsobeny odolávat nejčastějším směrům působení sil, jako je rotace. (Navrátil, Rosina, 2005), (Hrazdira, Mornstein, 2001)

V tabulce můžete najít hodnoty meze pevnosti a pružnosti na ukázkou pro tři kosti a kloubní chrupavku:

Kost	Mez pevnosti σ_{\max} (MPa)	Modul pružnosti E (MPa)
<i>střed kosti</i>	170–209 (tlak)	17 550–35 330 (tlak)
<i>stehenní</i>	132–133 (tah)	16 840 (tah)
<i>kost holenní</i>	195–204 (tlak)	28 010–30 600
	157 (tah)	23 830
<i>kost pažní</i>	135 (tlak)	-
<i>chrupavka kloubní</i>	68 (tlak)	-

Tab. 5.: Tabulka meze pevnosti a modulu pružnosti kostí (Hálek, 2002, str. 63)

Hodnota meze pružnosti z tabulky nám říká, při jakém tlaku dojde k trvalému poškození soudržnosti kosti (zlomení). Modul pružnosti je látková konstanta. Pro tah je hodnota meze pružnosti i modulu pružnosti menší, kosti jsou pevnější spíše pro deformaci tlakem než tahem. Rozmezí hodnoty je způsobeno odlišností každé kosti. Záleží také na stáří a celkové vitalitě jedince. Pomocí Hookova zákona, který říká: „*Při pružné deformaci tahem je normálové napětí přímo úměrné relativnímu prodloužení.*“ (Svoboda, 2005, str. 163) Matematický zápis zákona je:

$$\sigma_n = E\varepsilon,$$

(Svoboda, 2005, str. 163)

kde E je modul pružnosti a ε je relativní prodloužení. Tato veličina je definována jako poměr prodloužení a počátečního prodloužení:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

(Svoboda, 2005, str. 162)

Proto pak můžeme pro prodloužení při pružné deformaci přepsat vztah:

$$\Delta l = \frac{Fl}{ES}$$

(Svoboda, 2015, str. 162)

F je síla pružnosti působící kolmo na plochu příčného řezu obsahu S .

Stejně tak platí pro kosti zákony o ohybu tyče kruhového průřezu:

$$S = \frac{Fl^3}{12\pi Er^4}$$

(Beneš, Jirák, Vitek, 2015, str. 134)

kde r je poloměr, l je délka a síla F působí ve středu za předpokladu, že je tyč podepřena na obou koncích. Je-li trubice dutá, dosadí do vzorce rozdíl obou poloměrů. Z toho je patrné, že dutá tyč je na ohyb pevnější. (Beneš, Jirák, Vitek, 2015)

Kosti se spolu spojují v kloubech prostřednictvím kloubních chrupavek. Pohyb v kloubu usměrňují a udržují kloubní pouzdro a vazy. V tabulce 5. můžeme vidět mez pevnosti kolenní chrupavky při působení tlakové deformační síly. Je menší než pro kosti. (Hálek, 2002)

1.7 Zuby

Čelisti pomocí žvýkacího svalstva, který je přitlačuje k sobě, na sebe působí a vytváří tzv. žvýkací tlak. Síla, kterou na sebe působí, může dosáhnout velikosti až 16–20 N. Když sečteme počet svalových vláken žvýkacího svalstva a přepočteme jejich sílu na 1 cm², zjistíme, že jsou schopny vyvinout sílu až 90 N u žen a 120 N u mužů. Avšak člověk většinou nepřekročí hranici 30 N, a to převážně při stresových situacích. Při běžném žvýkání se hodnota pohybuje kolem 0,030,2 N na zub. Spodní čelist můžeme popsat jako

jednozvratnou páku. Největší síla působí na první a druhou stoličku. Tomuto místu říkáme také těžiště žvýkacího tlaku. (Navrátil, Rosina, 2005)

1.8 Trávicí soustava

Pomocí trávicího ústrojí se do těla dostávají živiny. Skládá se z dutiny ústní, hltanu, žaludku, tenkého střeva, tlustého střeva a konečníku. Průchod jícnem trvá přibližně 4–12 s. Potrava, kterou tělo přijme, zůstává v žaludku asi 3–6 hodin, a to podle jejího druhu. Nejdéle v něm zůstává strava obsahující tuky, nejrychleji odchází potrava bohatá na sacharidy. Tenké střevo je dlouhé 3–5 m. Pokud bychom sliznici rozložili, zabrala by území o ploše 300 m². Potrava se ve střevě tráví přibližně 4–8 hodin. Následuje tlusté střevo, které dosahuje délky 1,5 m a je široké 5–7 cm. Po 18 až 20 hodinách se tvoří z nestrávených zbytků stolice (někdy je potrava ve střevech až 72 hodin). Pocit nucení na vykonání potřeby je v konečníku vyvolán při hodnotě tlaku 2–5,3 kPa. Pocit vyprázdnění přichází při tlaku 5,3–6,5 kPa na konečník. (Novotný, Hruška, 2007), (Šimek, 1995)

Všechny výše zmíněné děje jsme popsali pomocí fyzikálních zákonů. Nesmíme však zapomínat, že popisujeme živé tkáně. Ty se svými vlastnostmi liší. Např. krev proudící v cévách si představujeme jako kapalinu tekoucí v trubici, avšak musíme počítat s odlišnostmi oproti klasické trubici. Proto hovoříme o fyzikálních zákonech probíhajících v lidském těle jako o zákonech aproximativních. (Navrátil, Rosina, 2005)

2 Úlohy inspirované lidským tělem

V celé předchozí kapitole věnované teorii jsme se zabývali teoretickou biofyzikou. Nyní si ukážeme, jak se dají poznatky z předchozí kapitoly využít v konkrétních úlohách. Bude se jednat o úlohy, které mohou počítat žáci během výuky na běžných hodinách fyziky. Tématy jsou mechanika, optika, akustika a elektřina. Vše je rozřazeno do podkapitol podle oblastí, na které se zaměřují. Úlohy jsou buď čistě autorské, inspirované nebo převzaté z učebnic fyziky nebo jiných zdrojů (v takovém případě je u úlohy poznámka s názvem zdroje i s odkazem na příslušnou literaturu). U každé úlohy naleznete autorské řešení. Bylo snahou uvést obtížnost a pro jaký stupeň vzdělávání (základní nebo střední škola) je vhodná. Výsledky jsou porovnány s hodnotami běžnými a pro žáky bližšími, tak aby si dokázali představit, co výpočtem získali, na co přišli. Zároveň se tím prohloubí jejich vědomosti z oblasti biologie a zlepší se mezipředmětové vztahy. Během výpočtu mohou objevovat, co všechno jejich lidské tělo dokáže. Ve všech úlohách se jedná pouze o hodnoty přibližné. Je to způsobeno zanedbáním některých vnější i vnitřní vlivů. Také je velmi důležité nezapomínat na jedinečnost každého organismu. Díky tomu nemůžeme považovat hodnoty za korektní, protože každé tělo má svoje vlastní hodnoty, např. krevní tlak, kapacitu plic, odpor kůže atd. Cílem není vypočítat přesná čísla, ale prohloubit znalost tématu a demonstrovat spojení mezi biologií a fyzikou. Dále přiblížit základní fyzikální zákonitosti a jejich fungování v lidském těle. Je dobré nechat žáky nejdříve řešení odhadnout, protože je to bude nutit se nad problémem zamyslet. Po vyřešení budou možná kolikrát překvapeni výsledkem a dokáží si lépe představit význam výpočtu. Úlohy zatím nejsou ověřeny v praxi.

2.1 Mechanika

Úloha 1.: Arterioskleróza je cévní onemocnění, kdy dochází k ztluštění a zúžení cév. Vypočítejte, jak se změní rychlost, tlak v místě zúžení malé cévy, jejíž původní poloměr byl 5 mm a nyní dojde k zúžení na 3 mm. Hustota krve je $1056 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, pro rychlost proudění počítejte s hodnotou $2 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$. Za tlak pro tuto cévu dosaďte hodnotu 12 kPa. Dále vypočítejte, v jakém poměru bude původní a nový průtok. Osa proudění krve je stále ve stejné výšce.

Obtížnost: střední škola, středně náročná

Téma: proudění kapaliny, objemový průtok, Bernoulliho rovnice

Řešení:

poloměr cévy: $r_1 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

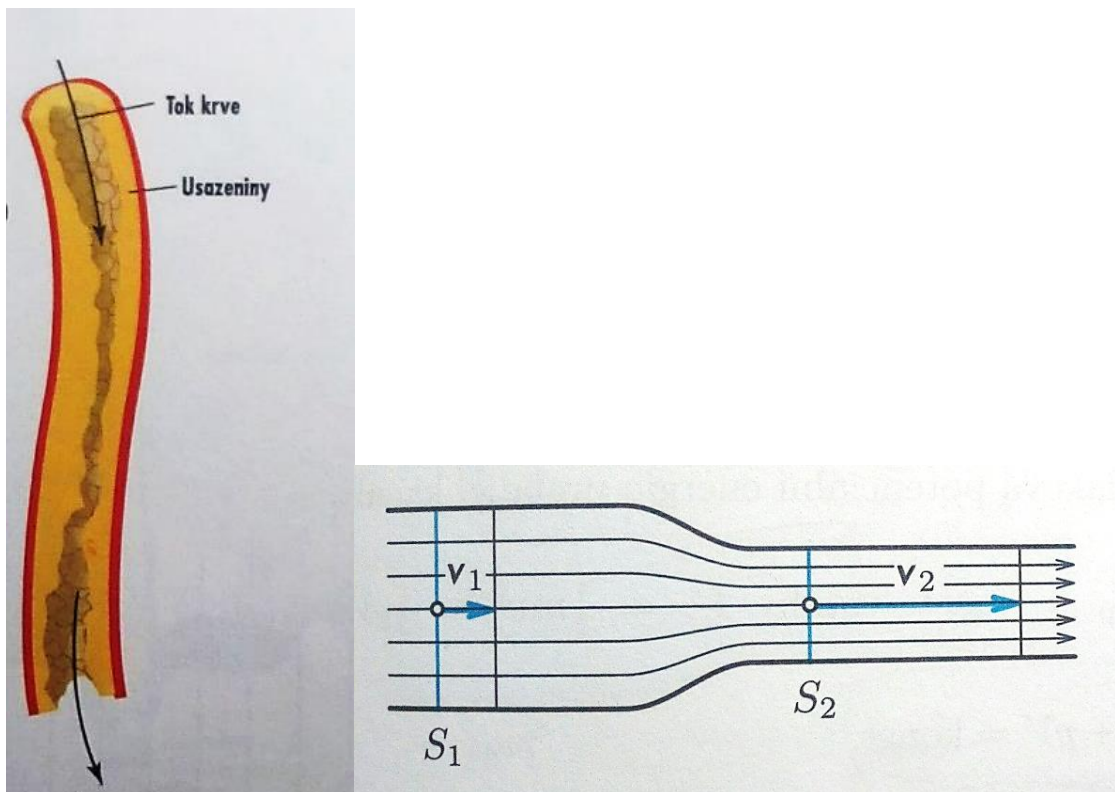
poloměr zúžené cévy: $r_2 = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

hustota krve: $\rho = 1056 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

střední rychlost proudění $v = 2 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1} = 0,02 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

tlak krve $p = 12 \text{ kPa} = 12\,000 \text{ Pa}$

Cévu si představíme jako trubku:



Obr. 13.: Zúžená tepna převedená do modelu trubky (Engel-Arieli, 1995, str. 96 – vlevo)
(Svoboda, 2005, str. 113 vpravo)

Rychlost v_2 vypočítáme ze $\sum_i S_i v_i = \text{konst.}$ Tedy $S_1 v_1 = S_2 v_2$. Pro rychlost v_2 můžeme psát

$$v_2 = \frac{S_1 v_1}{S_2} = \frac{\pi r_1^2 v_1}{\pi r_2^2} = \frac{r_1^2 v_1}{r_2^2} = \frac{(5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 0,02}{(3 \cdot 10^{-3})^2} = 0,056 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Tlak p_2 získáme z Bernoulliovy rovnice:

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{konstanta}$$

(Svoboda, 2006, str. 114)

Protože řešíme místo s jedním zúžením přepíšeme rovnici:

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$

Z rovnice vyjádříme p_2 a dosadíme:

$$\begin{aligned} p_2 &= p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 - \frac{1}{2}\rho v_2^2 = p_1 + \frac{1}{2}\rho \cdot (v_1^2 - v_2^2) \\ &= 12\,000 \text{ Pa} + \frac{1}{2} \cdot 1056 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot (0,02^2 - 0,056^2) \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \\ &= 11\,999 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Pro průtok krve použijeme vzorec:

$$Q = Sv = \pi r^2 v$$

(Bednařík, Šíroková, Bujok, 1994, str. 227)

Pro získání poměru průtoků napíšeme oba průtoky v poměru:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\pi r_1^2 v_1}{\pi r_2^2 v_2}$$

Po dosazení:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\pi \cdot 0,005^2 \cdot 0,02}{\pi \cdot 0,003^2 \cdot 0,056} = \frac{5 \cdot 10^{-7}}{5,04 \cdot 10^{-7}} \rightarrow \text{poměr je: } 5:5,04$$

Závěr: Pokud dojde k zúžení tepny o původním poloměru 5 mm na 3 mm, zvětší se rychlost průtoku krve téměř trojnásobně, z hodnoty $v_1 = 2 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ na $v_2 = 5,6 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$. Tlak se změní jen nepatrně, jeho hodnota bude $p_2 = 11\,999 \text{ Pa}$. Průtok krve pak bude v poměru 5:5,04. Tedy nedojde k veliké změně. Problémem je však zvýšená rychlost krve. Může

tak dojít k turbulentnímu proudění, kdy se v krvi tvoří vířivé proudy. Víry se projeví šelestem. To může posloužit k určení místa zúžení. Při výpočtu jsme však zanedbávali vnitřní tření krve. Dále jsme počítali se střední hodnotou tlaku, proto by se skutečná hodnota lišila.

Úloha č. 2.: *Aorta je největší tepnou v lidském těle. Krev je do ní vypuzována z levé komory. Vypočítejte, do jaké největší vzdálenosti by dostříkla krev u člověka zasaženého do aorty střelou o průměru 3 mm. Poloměr aorty je 13 mm, střední rychlost krve dosahuje hodnoty $20 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$. Srdce člověka je uloženo ve výšce 1,3 m a člověk stojí. Dále spočítejte, jak dlouho by trvalo, než by člověk při tomto zranění vykrvácel. Předpokládejme, že má člověk 5 l krve. (úloha je inspirována cvičením o tryskání vody z vodní hadice z Fyzika pro gymnázia: Mechanika, Bednařík, Šíroká, Bujok, 1994, str. 256)*

Obtížnost: střední škola, středně náročná

Téma: výtoková rychlost, vodorovný vrh, objemový tok

Řešení:

průměr střely $d = 4 \cdot 10^{-3} \text{ m} \rightarrow 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

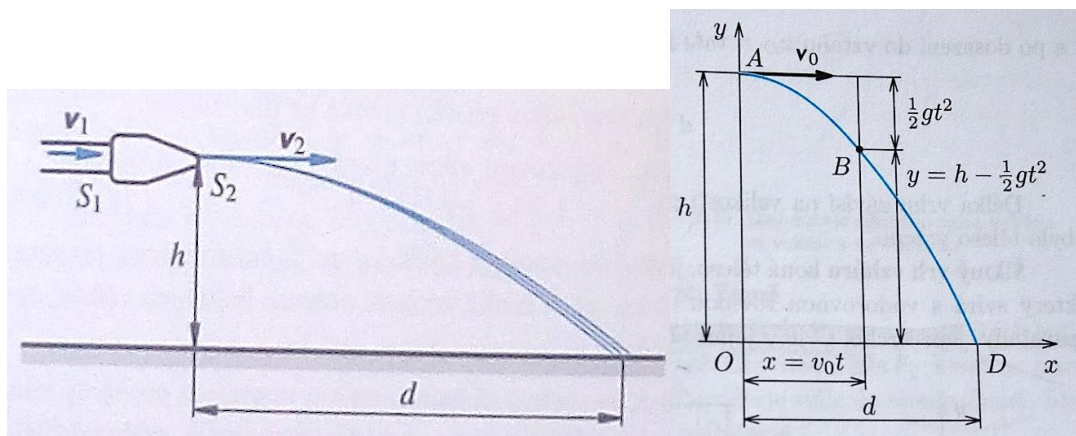
poloměr aorty $r = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ m}$

střední rychlost $v = 20 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1} = 0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

výška uložení srdce $h = 1,3 \text{ m}$

množství krve v lidském těle $V = 5 \text{ l} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$

Celou úlohu můžeme připodobnit hadici, která je ve vodorovné poloze ve výšce h nad zemí a stříká z ní voda. (viz obr. 14).



Obr. 14 a) Stříkající voda z hadice (Šíroká, Bujok, 1994, str. 256)

b) Vodorovný vrh (Svoboda, 2005, str. 79)

Vodu stříkající z hadice můžeme připodobnit vodorovnému vrhu, který se skládá z pohybu rovnoměrně přímočarého ve vodorovném směru a volného pádu ve svislém směru. Největší vzdálenost, kam voda dopadne, se nazývá délka vrhu a značí se d . Kapky krve budou stejně jako voda opisovat trajektorii části paraboly. Zvolme si místo, odkud voda vytéká z hadice jako bod A (viz obr.13), takže jeho souřadnice budou $x_0 = 0$ a $y_0 = h$. B je bod, ve kterém se kapka ocitne za dobu t . Pro jeho souřadnice platí $x = v_0 t$ a pro souřadnice $y = h - \frac{1}{2} g t^2$. V místě dopadu D, budou souřadnice $x_D = d$ a $y_D = 0$. Proto bude platit:

$$0 = h - \frac{1}{2} g t^2 \rightarrow \text{z toho můžeme vyjádřit čas } t_d = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

To můžeme dosadit do vztahu $x_D = v_0 t_d$ a vyjádříme si délku vrhu:

$$d = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

(Svoboda, 2005, str. 79)

Musíme tedy zjistit počáteční rychlost v_0 , tedy jakou rychlostí bude krev z aorty stříkat. Tu vypočítáme z rovnice spojitosti toku $S_1 v_1 = S_2 v_2$. Pro $v_2 = v_0$ pak bude platit:

$$v_0 = \frac{S_1 v_1}{S_2} = \frac{\pi \cdot (1,3 \cdot 10^{-2})^2 \text{ m} \cdot 0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{\pi \cdot (2 \cdot 10^{-3})^2 \text{ m}} = 8,45 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Nyní můžeme spočítat vzdálenost d , kam krev dostříkne:

$$d = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}} = 8,45 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1,3 \text{ m}}{9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}}} = 4,4 \text{ m}$$

Pro výpočet času vykrvácení použijeme vztah pro průtok krve:

$$Q = S v = \frac{V}{t}$$

(Beneš, Jirák, Vítek, 2015, str. 142)

Z rovnice si vyjádříme čas a za S budeme počítat S_2 :

$$t = \frac{V}{S_2 v} = \frac{0,005 \text{ m}^3}{\pi \cdot (2 \cdot 10^{-3})^2 \text{ m}^2 \cdot 8,45 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}} = 47 \text{ s.}$$

Závěr: Krev by stříkala do vzdálenosti 4,4 m. Výsledek je pouze teoretický. Zanedbávali jsme odpor vzduchu, vnitřní tření krve, srážlivost krve a také to, že aorta není hned na povrchu těla, ale chráněna uvnitř hrudní dutiny. Také jsme zanedbávali proměnlivý tlak, který se během srdečního cyklu mění a s tím se mění i rychlost krve. Také podoba se zahradní hadicí není přesná. Porušení aorty by nebylo ve směru toku krve, takže by nestříkala všechna krev, jako tomu je u zahradní hadice, ze které stříká všechna voda. Dalším naším výsledkem byl čas vykrvácení, který jsme spočítali na hodnotu 47 s. K úmrtí dochází při ztrátě již 50% krve, proto by člověk zesnul po přibližně 23 s. Je to pouze teoretický čas. V našem výpočtu předpokládáme, že by v těle nezbyla ani kapka krve. Také jsme nepočítali se srážlivostí krve. Rychlost vytékání by byla také závislá na hmotnosti, protože od toho závisí objem krve v těle nebo také na frekvenci srdce, která je u každého jedince jiná. Opět jsme uvažovali střední rychlost a nepřihlíželi jsme k rozdílům během systoly a diastoly.

Úloha č. 3.: *Vypočítejte mechanickou práci levé komory srdce, pokud víme, že tlak vypuzené krve má střední hodnotu tlaku levé komory 13,3 kPa. Objem vypuzené krve je 70 ml. Vypočítejte velikost práce konané pravou komorou, když tvoří 20 % práce levé komory. Jaká je celková mechanická práce srdce? (úloha je převzata z Lékařská biofyzika a přístrojová technika, Hrazdira, Mornstein, 2001, str. 145)*

Obtížnost: střední škola, lehká

Téma: mechanická práce

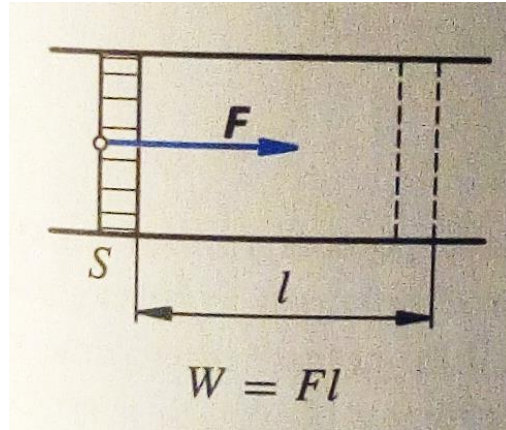
Řešení:

$$p_L = 13,3 \text{ kPa} = 13\,300 \text{ Pa}$$

$$W_P = 20\% W_L$$

$$V = 70 \text{ ml} = 0,07 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Mechanickou práci W určíme jako součin síly F , která na těleso působí, a dráhy s , po které se těleso přemístí.



Obr. 15 Práce vykonaná tlakovou silou (Bednařík, Šířoká, 2000, str. 195)

Srdce si můžeme představit jako píst, kdy je práce konána tlakovou silou srdce. Na obrázku 15. vidíme píst o ploše S , který působí silou F a posune tak píst o vzdálenost l . Můžeme napsat:

$$W_L = Fs = Fl = pSl = pV = 13\,300 \text{ Pa} \cdot 0,07 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 0,93 \text{ J}$$

(Hrazdira, Mornstein, 2001, str. 145)

Práce pravé komory je 20 % práce levé, tedy

$$W_P = 0,2 \cdot W_L = 0,19 \text{ J}$$

Celková práce konaná srdcem se skládá z práce levé a pravé komory:

$$W = W_L + W_P = 0,93 \text{ J} + 0,19 \text{ J} = 1,12 \text{ J}$$

Závěr: Práce levé komory je 0,93 J, práce pravé komory je 0,19 J. Celkově srdce koná mechanickou práci o velikosti 1,12 J. Může se zdát, že je to práce malá. Je důležité si uvědomit, že srdce tuto práci vykonává po celý život. U člověka starého 60 let vykoná za svůj život práci o velikosti větší než 2,4 GJ. To se přibližně rovná práci, která je nutná k vyzvednutí tělesa o hmotnosti 30 000 kg na vrchol Mt Everestu.

Úloha č. 4.: Spočítejte, jaké hodnoty dosahuje tlak v hlavě stojící osoby. Počítejte s tlakem v tepnách kolem 13,3 kPa. Předpokládejme, že jsou ve výšce 0,5 m nad úrovní srdce a hustota krve je $1\,056\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. (úloha je převzata ze *Základy lékařské fyziky*, Beneš, Jirák, Vítek, 2015 str. 142 a *Medicínskou biofyzika od autorů Navrátil, Rosina, 2005*)

Obtížnost: základní škola, lehká

Téma: hydrostatický tlak

Řešení:

$$p = 13,3\text{ kPa} = 13\,300\text{ Pa}$$

$$h = 0,5\text{ m}$$

$$\rho = 1\,056\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

K tlaku, který působí na stěny cév, musíme připočítat ještě hydrostatický tlak, který vzniká tíhou kapaliny. Pokud osoba leží na vodorovné desce, hydrostatické tlaky jsou zanedbatelné. Pokud bude ve vzpřímené poloze, musíme k tlaku vyvolanému krví přičíst (v oblasti pod srdcem) nebo odečíst (v oblasti nad srdcem) tlak hydrostatický.

Tlak v arteriích hlavy vypočítáme tak, že od krevního tlaku odečteme tlak hydrostatický. Proto:

$$\begin{aligned} p_{\text{výsledný}} &= p_{\text{kr}} - p_{\text{hyd}} = p_{\text{kr}} - h\delta g = \\ &= 13\,300\text{ Pa} - 0,5\text{ m} \cdot 1\,056\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3} \cdot 9,81\text{ m}\cdot\text{s}^{-2} = 8\,120\text{ Pa}. \end{aligned}$$

Závěr: Tlak v arteriích má hodnotu přibližně 8 120 Pa. Hodnota je přibližná, zanedbali jsme odpor krevního řečiště, změny tlaku během celého srdečního cyklu.

Úloha č. 5.: Pocit potřeby vyprazdňování je v konečniku vyvolán při tlaku 5,9 kPa. Jak velkou silou musí působit svěrač, aby nedošlo k uvolnění? Průměr konečniku je 0,5 cm.

Obtížnost: základní škola, lehká

Téma: tlaková síla

Řešení:

tlak v konečniku $p = 5,9 \text{ kPa} = 5\,900 \text{ Pa}$

průměr konečniku $d = 0,5 \text{ cm} \rightarrow$ poloměr $r = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

Pro výpočet použijeme známý vztah pro výpočet síly pomocí tlaku:

$$F = pS = 5\,900 \text{ Pa} \cdot \pi \cdot (2,5 \cdot 10^{-3})^2 \text{ m} = 0,12 \text{ N}.$$

Závěr: Síla, kterou působí svěrač konečniku, je přibližně 0,12 N. Tato síla není velká, sami se však můžeme přesvědčit, jak je někdy obtížné ji vyvinout.

Úloha č. 6: Při kousání potravy působíme největší silou na stoličky. Je to síla o velikosti 0,2 N. Představme si stoličku jako válec o poloměru 5,8 mm. Jaký tlak je na ni vyvíjen?

Obtížnost: základní škola, lehká

Téma: tlaková síla

Řešení:

síla působící na stoličky $F = 0,2 \text{ N}$

poloměr válce (stoličky) $r = 5,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

Vše dosadíme do vzorce pro výpočet tlaku:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{0,2 \text{ N}}{\pi \cdot (5,2 \cdot 10^{-3})^2 \text{ m}} = 2\,354 \text{ Pa} = 2,4 \text{ kPa}$$

Závěr: Na stoličky je vyvíjen tlak o velikosti 2,4 kPa. Což je poměrně vysoká hodnota i když síla působící na zub je malá. Je to způsobeno velmi malou plochou, na kterou síla působí.

Úloha č.7.: V lidském těle najdeme přibližně $15\text{--}30 \cdot 10^6$ svalových vláken. Jedno toto svalové vlákno dokáže uzvednout závaží o hmotnosti 200–300 mg (počítejte s průměrnou hodnotou). Jak velikou sílu dokáže vyvinout? Pokud by se všechna vlákna spojila, jak velikou sílu by vyvinuly dohromady?

Obtížnost: základní škola, lehká

Téma: druhý Newtonův zákon,

Řešení:

počet vláken $l = 15\text{--}30 \cdot 10^6 \rightarrow$ průměrná hodnota $\frac{(15+30) \cdot 10^6}{2} = 22,5 \cdot 10^6$

hmotnost závaží $m = 200\text{--}300$ mg

\rightarrow průměrná hodnota $\frac{200+300}{2} = 250$ mg = $0,25 \cdot 10^{-3}$ kg

Pro druhý Newtonův zákon platí:

$$F_1 = m \cdot g = 0,25 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81 = 2,45 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

Jedno svalové vlákno dokáže vyvinout sílu o velikosti $2,45 \cdot 10^{-3}$ N. Abychom zjistili, jakou sílu by vyvinula všechna vlákna, musíme vynásobit sílu jednoho počtem vláken:

$$F = lF_1 = 22,5 \cdot 10^6 \cdot 2,45 \cdot 10^{-3} \text{ N} = 55\,125 \text{ N} = 55,1 \text{ kN}$$

Závěr: Jedno svalové vlákno by dokázalo vyvinout sílu $2,45 \cdot 10^{-3}$ N. Pokud by se spojila všechna vlákna, dohromady by vyvinula sílu 55,1 kN. Byla by schopna unést závaží o hmotnosti 5 617 kg. To přibližně odpovídá hmotnosti dvou automobilů. Všechna čísla jsou pouze teoretická. Prakticky by to nebylo nikdy možné.

Úloha č. 7.: Máme kost o délce 25 cm a průměru 5 cm. O kolik jednotek délky se kost roztáhne, budeme-li na ni působit tahem silou o velikosti 30 N? Jak velkou silou bychom museli působit, aby se kost prodloužila o 1 mm? Pro modul pružnosti kosti při tahu počítejte s hodnotou $2,1 \cdot 10^{10}$ Pa.

Obtížnost: střední škola, lehká

Téma: Hookův zákon

Řešení:

délka kosti $l = 25 \text{ cm} = 0,25 \text{ m}$

průměr kosti $r = 5 \text{ cm} = 0,05 \text{ m}$

síla působící v tahu $F = 30 \text{ N}$

modul pružnosti pro tah $E = 2,1 \cdot 10^{10} \text{ Pa}$

prodloužení $\Delta l = 1 \text{ mm} = 0,001 \text{ m}$



Obr. 16.: Deformace tahem

Kost si představíme jako trubku, kde na obou koncích působí síla a deformuje kost tahem. Pro řešení použijeme Hookův zákon ve tvaru:

$$\Delta l = \frac{Fl_1}{ES} = \frac{30 \text{ N} \cdot 0,25 \text{ m}}{2,1 \cdot 10^{10} \text{ Pa} \cdot \pi \cdot 0,025^2 \text{ m}} = 1,8 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 0,2 \text{ } \mu\text{m}$$

Pokud by se měla kost prodloužit o 1 mm, pak by se výsledná síla počítala ze vztahu:

$$F = \frac{\Delta l ES}{l_1} = \frac{0,001 \cdot 2,1 \cdot 10^{10} \cdot \pi \cdot 0,025^2}{0,25} = 164\,934 \text{ N} = 164,9 \text{ kN}$$

Závěr: Kdybychom na kost působili silou 30 N, prodloužila by se o 0,2 μm . Naopak kdybychom chtěli kost prodloužit o 1 mm, museli bychom na ni působit silou 164,9 kN. Z výsledků je patrné, že kost je velmi pevná pro tah. Pokud bychom si chtěli síly blíže představit, můžeme si sílu 30 N připodobnit zvedání tělesa o hmotnosti asi 3 kg. Sílu 164,9 kN můžeme přirovnat závaží o velikosti přibližně 16,8 t.

Úloha č. 8.: Tomáš se při zatloukání hřebíku bouchnul kladívkem. Stalo se mu něco zvláštního. Všiml si, že bolest přišla o chvilku později po bouchnutí. Nejdřív se zamyslete, proč by se tohle mohlo stát? Zkuste pak vypočítat tuto chvilku. Vjemy z mechanoreceptorů kůže jsou vedeny rychlosti $60 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, zatímco vjem bolesti se šíří rychlostí $0,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Dráha od prstu do mozku je dlouhá přibližně 90 cm. (úloha je inspirována úlohou z diplomové práce: Vybrané kapitoly z biofyziky pro stredoškolských študentov, Marinová, 2011)

Obtížnost: základní škola, lehká

Téma: rychlost

Řešení:

rychlost vjemu z kůže $v_1 = 60 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

rychlost vjemu bolesti $v_2 = 0,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

dráha $l = 90 \text{ cm} = 0,9 \text{ m}$

Musíme vypočítat časy každého z vjemů. Ty pak od sebe odečteme a zjistíme, jaký je mezi nimi časový rozdíl, protože oba vjemy vznikly ve stejnou chvíli.

$$t_1 = \frac{l}{v_1} = \frac{0,9 \text{ m}}{60 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}} = 0,015 \text{ s}$$

$$t_2 = \frac{l}{v_2} = \frac{0,9 \text{ m}}{0,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}} = 1,125 \text{ s}$$

$$t = t_2 - t_1 = 1,125 \text{ s} - 0,015 \text{ s} = 1,1 \text{ s}$$

Závěr: Vjem bolesti bude opožděný přibližně o 1 s. Kdybychom zvětšili vzdálenost, byl časový rozdíl větší. Proto např. u prstech na nohou budeme časovou prodlevu vnímat mnohem intenzivněji.

Úloha č. 9.: Představme si trávicí soustavu jako soustavu trubic o přibližně stejném průměru, ve které postupuje potrava trvale stejnou rychlostí. Vypočítejte průměrnou rychlost potravy ve vašem těle. Předpokládejme, že je potrava v trávicím ústrojí po dobu 30 hodin. (Celkový čas závisí na složení potravy a nesmíme zapomínat na odlišnosti každého jedince). Při tom víme, že celková délka trávicí soustavy je 6 m.

Obtížnost: základní škola, lehká

Téma: rychlost

Řešení:

čas trávení $t = 30 \text{ h} = 1\,800 \text{ min}$

délka trávicí trubice $s = 6 \text{ m}$

Vše vypočítáme pomocí vzorce pro celkovou rychlost:

$$v = \frac{s}{t} = \frac{6 \text{ m}}{1800 \text{ min}} = 0,003 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1} = 3 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

Závěr: Potrava se v průměru pohybuje tělem rychlostí $3 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Výsledek je ponechán v těchto jednotkách, které nejsou typickou jednotkou pro rychlost. V těchto jednotkách si můžeme lépe představit výslednou rychlost. Pokud si vezmeme pravítko, můžeme si na něm odměřit 3 mm a zkusit tuto vzdálenost překonat za minutu. Zjistíme, že se prst hýbe velmi pomalu, nebo spíše stojí. Vidíme, že rychlost postupu potravy je velmi pomalá. Výsledná hodnota je pouze teoretická, protože jsme ji počítali jako rychlost celkovou. Ve skutečnosti se v každé části trávicí soustavy pohybuje potrava jinou rychlostí. Např. ve střevech nebo v jícnu má rychlost vyšší. Oproti tomu v žaludku může i určitou dobu stát.

2.2 Optika

Úloha č. 10: Jakou optickou mohutnost musejí mít brýle: a) pro krátkozraké oko, jehož blízký bod je ve vzdálenosti 10 cm od oka; b) pro dalekozraké oko, jehož blízký bod je 50 cm od oka? (úloha je převzata z Fyzika pro gymnázia: optika – Lepil, 2011, str. 68)

Obtížnost: střední škola, lehká

Téma: zobrazení optickými soustavami – oko

Řešení:

blízký bod krátkozrakého oka $d_a = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$

blízký bod dalekozrakého oka $d_b = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$

Jako optimální vzdálenost považujeme vzdálenost 25 cm, říkáme jí konvenční zraková vzdálenost. Při této hodnotě je optická mohutnost:

$$\varphi = \frac{1}{f} = \frac{1}{0,25} = 4 \text{ D}$$

- a) Krátkozraké oko má optickou mohutnost čočky příliš vysokou. Pokud je blízký bod ve vzdálenosti 10 cm, je optická mohutnost čočky:

$$\varphi = \frac{1}{f} = \frac{1}{0,1 \text{ m}} = 10 \text{ D}$$

Proto je potřeba ji snížit na hodnotu 4 D. Brýle tedy musejí mít optickou mohutnost -6 D.

- b) Pro dalekozraké oko je optická mohutnost nízká, proto se musí zvýšit.

$$\varphi = \frac{1}{f} = \frac{1}{0,5 \text{ m}} = 2 \text{ D}$$

Brýle musejí mít optickou mohutnost 2 D.

Závěr: Oko, které má blízký bod ve vzdálenosti 10 cm, bude potřebovat k srovnání zraku brýle s optickou mohutností -6 D. Optická mohutnost jeho čočky je 10 D. Proto je potřeba dioptrie zmenšit. (z těchto důvodů použijeme záporné znaménko). Záporné znaménko můžeme také vysvětlit podle znaménkové konvence. Protože se jedná o krátkozraké oko, k oční korekci budou použity rozptylky. Ty mají ohniskovou vzdálenost a pak také mohutnost zápornou. V druhém případě budou mít brýle optickou mohutnost 2 D.

Úloha č. 11.: Marek přišel do školy s novými brýlemi. Seděl vždycky v poslední lavici a často nedokázal zaostřit na písmena na tabuli. Proto zašel s problémem k doktorovi. Pan doktor říkal, že má 2,5 dioptrie. Vypočítejte, kde je Markův blízký bod. O jakou poruchu zraku se jedná?

Obtížnost: střední škola, lehká

Téma: optická mohutnost

Řešení:

dioptrie $\varphi = 2,5 D$

Postup bude opačný než v předchozí úloze. Protože Marek nevidí na tabuli, která je od něj daleko, znamená to, že vidí špatně na dálku. Jedná se tedy o krátkozrakost. Jeho brýle mají 2,5 D. Vzhledem k tomu, že se jedná o krátkozrakost a jeho brýle jsou rozptylky, mělo by se správně psát -2,5 D. Budeme počítat s konvenční vzdáleností jako u předchozí úlohy. Použijeme hodnotu 4 D (optická mohutnost zdravého oka) a k tomu přičteme 2,5 D. Z toho sečtením vypočítáme hodnotu 6,5 D. To je tedy optická mohutnost oka Markova. Nyní dosadíme číslo do vzorce.

$$f = \frac{1}{\varphi} = \frac{1}{6,5 D} \cong 0,15 \text{ m} = 15 \text{ cm}$$

Závěr: Markův blízký bod je ve vzdálenosti 15 cm. Jedná se o krátkozrakost.

2.3 Akustika

Úloha č. 12.: Vstupní část ucha (zvukovod) je trubice délky přibližně 27 mm, na konci uzavřená ušním bubínkem. Zvukovod se chová jako rezonátor na jednom konci otevřený a na druhém uzavřený. Při jaké frekvenci dojde k rezonančnímu zesílení zvuku? Počítejte s rychlostí zvuku $340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

(úloha převzata z Fyzika pro gymnázia: mechanické kmitání a vlnění, Lepil, 2008)

Obtížnost: střední škola, mírně těžká

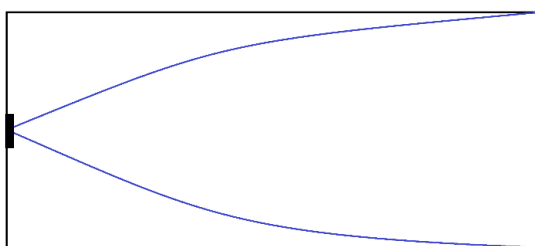
Téma: stojaté vlnění

Řešení:

délka trubice $l = 27 \text{ mm} = 0,027 \text{ m}$

rychlost zvuku $v_z = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Zvukovod si představíme jako trubici na jednom konci otevřenou. Dochází v ní ke chvění zvukového sloupce. Což je stejné jako chvění tělesa na jednom konci upevněném a na druhém s volným koncem, jak můžete vidět na obrázku 17.



Obr. 17.: Vlnění s jedním pevným koncem

Pro vlnou délku platí $\lambda = 4l$. Pak frekvenci pro rozechvění bubínku vypočítáme ze vztahu:

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{4 \cdot 0,027 \text{ m}} = 3\,148 \text{ Hz} = 3,1 \text{ kHz}$$

Závěr: K rezonančnímu zesílení dojde při frekvenci 3,1 kHz. Hodnota by se měnila v závislosti na teplotě a vlhkosti vzduchu, protože by se změnila rychlost zvuku. Také pro jiné uši by byla hodnota různá díky rozdílné délce zvukovodu.

Úloha č. 13.: Vypočítejte vlnové délky horní a dolní meze frekvence slyšitelného zvuku. Předpokládáme, že se zvuk šíří vzduchem o teplotě $20 \text{ }^\circ\text{C}$ rychlostí $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Slyšitelný

zvuk se pohybuje v rozmezí od 1620 000 Hz. (převzato z Medicínské biofyziky, Navrátil, Rosina, 2005)

Obtížnost: střední škola, lehká

Téma: vlnová délka

Řešení:

frekvence dolní meze $f_D = 16 \text{ Hz}$

frekvence horní meze $f_H = 20\,000 \text{ Hz}$

rychlost zvuku $v_Z = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Do vzorce pro vlnou délku dosadíme postupně dolní a horní hranici frekvence slyšitelného zvuku:

$$\lambda_D = \frac{v_Z}{f_D} = \frac{340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{16 \text{ Hz}} = 21,25 \text{ m}$$

Pro horní hranici budeme vlnovou délku počítat:

$$\lambda_H = \frac{340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{20\,000 \text{ Hz}} = 0,017 \text{ m}$$

Závěr: Vlnové délky, které člověk vnímá jako zvukový podnět, mají hodnoty od 0,01721,25 m. Vidíme, že se horní a spodní a horní hranice otočily. Vlnová délka horní hranice frekvence tvoří dolní hranici vlnové délky. Vlny s vysokou frekvencí mají malou vlnou délku a vnímáme je jako vysoké tóny.

Úloha č. 14.: Reprodukční soustava má akustický výkon 12 W. Zvuk nám může trvale poškodit sluch, pokud hladina akustického výkonu přesáhne hodnotu 140 dB. Může k tomu při tomto výkonu dojít? Vypočítejte, v jaké minimální vzdálenosti od zdroje musíme stát, pokud má zdroj zvuku hladinu akustického výkonu 140 dB, aby nám zvuk trvale neponičil sluch. Předpokládáme, že se zvuk šíří všemi směry stejně.

(inspirace z Realisticky.cz)

Obtížnost: střední škola, středně náročná

Téma: akustický výkon, hladina akustického výkonu

Řešení:

akustický výkon $P = 12 \text{ W}$

hladina akustického výkonu $L_w = 140 \text{ dB}$

Dosazením do vzorce:

$$L_w = 10 \cdot \log \frac{P}{P_0}$$

zjistíme hodnotu hladiny akustického výkonu soustavy. P_0 je hodnota výkonu pro práh slyšení, tedy 10^{-12} W . Po dosazení dostaneme logaritmickou rovnici:

$$L_w = 10 \cdot \log \frac{P}{10^{-12}}$$

$$L_w = 10 \cdot \log \frac{12}{10^{-12}} = 131 \text{ dB}$$

Pokud by soustava měla hladinu akustického výkonu o velikosti 140 dB pak by hodnota akustického výkonu byla:

$$L_w = 10 \cdot \log \frac{P}{P_0}$$

$$140 \text{ dB} = 10 \cdot \log \frac{P}{10^{-12} \text{ W}}$$

$$14 \text{ dB} = \cdot \log \frac{P}{10^{-12} \text{ W}}$$

$$\log 10^{14} \text{ dB} = \log \frac{P}{10^{-12} \text{ W}}$$

$$10^{14} \text{ dB} = \frac{P}{10^{-12} \text{ W}}$$

$$P = 100 \text{ W}$$

Ze vztahu pro intenzitu $I = \frac{P}{S}$ si pak vyjádříme vzdálenost r . Protože se zvuk šíří všemi směry, budeme počítat se vzorcem pro plochu koule, tedy $S = 4\pi r^2$. Pak

$$I = \frac{P}{S} = \frac{P}{4\pi r^2}$$

nyní můžeme vyjádřit r :

$$r = \sqrt{\frac{P}{4\pi I}} = \sqrt{\frac{100 \text{ W}}{4 \cdot \pi \cdot 100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}}} = 0,28 \text{ m} = 28 \text{ cm}$$

Závěr: Při výkonu 12 W k poškození sluchu nedojde, protože hladina akustického výkonu dosahuje hodnoty 131 dB. Aby došlo k trvalému poškození sluchu, musel by být akustický výkon 100 W. V takovém případě bychom museli stát ve vzdálenosti 28 cm od reprodukcí soustavy, aby nebyl náš sluch poškozen.

2.4 Elektřina

Úloha č. 15.: Člověk, jehož odpor je 1 000 Ω se dotýká přímo střídavého napětí 24 V tak, že mezi tvrdým zdrojem tohoto napětí a lidským tělem není vřazen žádný další odpor (podlahy, podrážky, obuvi apod.) Jak velký je proud procházející v takovém případě lidským tělem? Je takový proud nebezpečný? (úloha převzata od Michala Kříže, 2014, str. 49)

Obtížnost: základní škola, lehká

Téma: Ohmův zákon

Řešení:

napětí $U = 24 \text{ V}$

odpor člověka $R = 1\,000 \, \Omega$

Pro výpočet proudu použijeme vztah:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{24 \text{ V}}{1\,000 \, \Omega} = 0,024 \text{ A} = 24 \text{ mA}$$

Závěr: Lidským tělem bude procházet proud o velikosti 24 mA. Tato hodnota je životu nebezpečná hlavně z dlouhodobého hlediska. Kdy může dojít k poškození tkání a zástavě srdce. Za bezpečné považujeme hodnoty střídavého proudu do 10 mA.

Úloha č. 16.: *Jirka se dotkl elektrického ohradníku pro krávy. Dostal pořádnou „ránu“, ale nic se mu nestalo. Protože ho to zajímalo, hledal si na internetu údaje o elektrických ohradnících. Zjistil, že napětí v ohradníku u krav dosahuje velikosti 2000 V. Proč tedy, pokud je napětí takto vysoké, mu proud neublížil? Dále ještě zjistil, že energie vedená ohradníkem má velikost 0,5 J. Kontakt s ohradníkem byl velmi krátký, počítejme s časem 0,001 s a uvažujme stejnosměrný proud.*

Obtížnost: základní škola, středně náročná

Téma: elektrická energie

Řešení:

napětí v ohradníku $U = 2\,000 \text{ V}$

elektrická energie ohradníku $E = 0,5 \text{ J}$

Pro výpočet budeme vycházet z rovnice elektrické energie:

$$E = UIt$$

Zní si vyjádříme proud a dosadíme:

$$I = \frac{E}{Ut} = \frac{0,5 \text{ J}}{2000 \text{ V} \cdot 0,001 \text{ s}} = 0,25 \text{ A}$$

Závěr: Protékající proud dosahuje poměrně velkých hodnot. Jirka nebyl však ohrožen elektrickým ohradníkem, protože proud jím protékal velmi krátký čas. Elektrické ohradníky jsou konstruovány tak, aby byl elektrický impuls vyslán po 1,3 s a doba jeho trvání se pohybovala v řádu milisekund. Je to proto, aby se zvíře (případně člověk) mohl od ohradníku „odtrhnout“. Je však dobré na ohradníky zbytečně nesahat. Pokud se o ně budeme zajímat více, zjistíme, že pro těžko hlídatelná zvířata je napětí vyšší a celková energie v ohradníku je vyšší, proto i proud dosahuje vyšších hodnot. Jirka může být rád, že se jednalo o ohradník s krávy. *(hodnoty byly převzaty z Elektrické ohradníky, Košťál, 2009)*

Úloha č. 17.: *Plochá baterie má napětí 4,5 V. Vypočítejte proud, který bude přes tělo procházet, pokud budeme každou z elektrod držet v jedné ruce. Pro odpor těla počítejte s hodnotou 150 kΩ. Proč v takovém případě nic necítíme? Proč je naopak napětí ploché baterie cítit, když si obou elektrod najednou lízneme? (úloha převzata z Realisticky.cz, Krynický)*

Obtížnost: základní škola, lehká

Téma: Ohmův zákon

Řešení:

napětí baterie $U = 4,5 \text{ V}$

odpor těla $R = 150 \text{ k}\Omega = 150\,000 \Omega$

Proud procházející tělem vypočítáme z Ohmova zákona:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{4,5 \text{ V}}{150\,000 \Omega} = 0,03 \text{ mA}$$

Závěr: Proud má hodnotu 0,03 mA. Ta je menší než hodnota našeho vnímání. Proto nic necítíme. Na jazyku je to už jiné. Pociťujeme brnění, protože jazyk je vlhký. Proto má mnohem menší odpor a prochází jím větší proud.

2.5 Termodynamika

Úloha č. 18.: Blesk je přírodní úkaz, kdy dochází k vyrovnání napětí mezi dvěma mraky nebo mezi mraky a zemí. Napětí dosahuje velikosti až 10^9 V. Dochází během toho k mohutnému jiskřivému výboji. Proud během výboje může dosahovat velikosti až 10^5 A a dojde k uvolnění energie o velikosti 100 kW·h. Vypočítejte přibližnou hodnotu teploty, které je vystavena kůže, pokud je člověk bleskem zasažen. Počítejme s měrnou tepelnou kapacitou pokožky člověka $c=3\,680\text{ J}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Předpokládejme, že je hmotnost zasaženého člověka 70 kg. (hodnoty jsou převzaty z učebnice Fyzika pro gymnázia, Lepil, Šedivý, 2000, str. 121, dále z příspěvku Sdílení tepla při hluboké hypotermii člověka od Nedělová, 2009, str. 11)

Obtížnost: základní škola, lehká

Téma: měrné skupenské teplo

Řešení:

měrná tepelná kapacita pokožky $c = 3\,680\text{ J}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

hmotnost člověka $m = 70\text{ kg}$

uvolněná energie $Q = 100\text{ kW}\cdot\text{h} \rightarrow$ zadanou energii musíme převést na jouly:

$100\text{ kW}\cdot\text{h} = 100\,000\text{ W}\cdot 3\,600\text{ s} = 360\text{ MJ}$.

Použijeme vztah pro výpočet tepla, který má rovnici:

$$Q = cm\Delta T$$

(Svoboda, 2005, str. 141)

Vyjádříme změnu teploty a po dosazení do rovnice dostaneme:

$$\Delta T = \frac{Q}{cm} = \frac{360\,000\,000\text{ J}}{3\,680\text{ J}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}\cdot 70\text{ kg}} = 1\,398\text{ K}$$

Získanou hodnotu převedeme ještě na stupně celsia.

$$t = 1\,398\text{ K} - 274,15 \cong 1\,124\text{ }^\circ\text{C}$$

Závěr: Při zásahu bleskem je člověk vystaven teplotě přibližně 1 124 °C. Jak sami vidíme, jedná se o vysokou teplotu. Z toho důvodu dochází při zásahu k popáleninám. Hodnota je nepřesná, protože počítáme s hmotností celého těla, ale měrné skupenské teplo uvažujeme pouze pro kůži. Správně bychom museli započítat skupenská tepla dalších biologických materiálů, z kterých se ruka skládá. Potom by také záleželo na odporu osoby (míra vlhkosti kůže, izolace atd.).

2.6 Zajímavé úlohy

Do této podkapitoly jsem zařadila úlohy, které nejsou zaměřeny na konkrétní látku z učiva fyziky na základních nebo středních školách. Ale získané hodnoty jsou zajímavé z biologického hlediska. Zároveň můžou posloužit na semináři z biologie nebo fyziky, kde lze těmto úlohám věnovat více času.

Úloha č. 19: Vypočítejte, jak dlouho by byl člověk teoreticky schopný vydržet pod vodou, pokud budeme uvažovat vitální kapacitu plic a) u muže 2,7 l b) u ženy 2,3 l. Dále víme, že na 1 l krve se naváže 50 ml kyslíku. Počítejme s tepovou frekvencí 70 tepů za minutu a hodnotou 70 ml, které srdce vypudí při jednom stahu.

Obtížnost: střední škola, lehká

Řešení:

a) vitální kapacita plic muže $V_M = 2,7 \text{ l}$

vaznost kyslíku $VZ = 0,05 \text{ l kyslíku na } 1 \text{ l krve}$

frekvence $f = 70 \text{ tepů/minuta}$

objem vypuzené krve $V_V = 0,07 \text{ l}$

Objemy nemusíme převádět na m^3 . Celou dobu budeme počítat pouze s litry a nebudeme při výpočtech používat jiné jednotky. Jinak bychom je museli převést.

Muž má vitální kapacitu plic 2,7 l. Kyslík tvoří 21 % z vdechovaného vzduchu. Proto můžeme počítat s hodnotou 0,567 l kyslíku, což bude množství kyslíku v plicích V_{O_2} . Hodnota 50ml, je „jedna dávka“ pro litr krve. Můžeme napsat:

$$d = \frac{V_{O_2}}{VZ} = \frac{0,567 \text{ l}}{0,05 \text{ l}} = 11,34$$

Číslo d nám říká, kolik „dávek“ může objem kyslíku v plicích krvi poskytnout. Jinak řečeno jsme množství krve rozdělili a bude stačit pro 11,34 l krve. Jednoduše spočítáme, kolik krve srdce vypudí za minutu.

$$V_{min} = f \cdot V_V = 70 \text{ min}^{-1} \cdot 0,07 \text{ l} = 4,9 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$$

Pak už stačí vydělit d , což je množství okysličené krve, které máme k dispozici množstvím krve, které tělo přečerpá za minutu.

$$t = \frac{d}{V_{min}} = \frac{11,34 \text{ l}}{4,90 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}} = 2,3 \text{ min}$$

b) vitální kapacita plic muže $V_Z = 2,3 \text{ l}$

vaznost kyslíku $VZ = 0,05 \text{ l}$ kyslíku na 1 l krve

frekvence $f = 70$ tepů/minuta

objem vypuzené krve $V_V = 0,07 \text{ l}$

U ženy budeme postupovat stejně, akorát budeme počítat s menší kapacitou plic.

Zjistíme množství kyslíku v plicích: $V_{O_2} = 21 \% V_Z \rightarrow V_{O_2} = 0,21 \cdot 2,3 = 0,48 \text{ l}$

$$d = \frac{V_{O_2}}{VZ} = \frac{0,48}{0,05} = 9,66 \text{ l}$$

$$t = \frac{d}{V_{min}} = \frac{9,66 \text{ l}}{4,90 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}} = 1,9 \text{ min}$$

Závěr: Podle výpočtu by muž s kapacitou plic 2,7 l zadržel dech na 2,3 min, žena s kapacitou plic 2,3 l by vydržela s kyslíkem 1,9 min. Hodnoty jsou pouze teoretické. Záleží na vitální kapacitě, která je u každého jedince jiná. Např. u potápěčů, sportovců nebo hráčů na dechový nástroj je větší. Dále záleží na tepové frekvenci, tedy kolik tepů za minutu srdce vykoná. Také hodnota vypuzeného objemu je různá u každého člověka. Pokud bychom šli do větších detailů, museli bychom spočítat i přesný obsah kyslíku ve vdechovaném vzduchu, protože i na tom bude záviset celkový čas. Každý může sám zkusit, na jak dlouho dokáže zadržet dech. Dále lze pomocí měření zjistit svoji vitální kapacitu, tep. Pak už lze jednoduše spočítat, jak dlouho bychom měli pod vodou vydržet bez nadechnutí.

Úloha č. 20.: Představte si malý plavecký bazén, který má rozměry 25x12,5 m. Víme, že obsah celý střev je 300 m² a plíc 100 m². Jak velkou část bazénu v procentech bychom pokryli? (uvažujeme pouze hladinu ne hloubku)

Obtížnost: základní škola, lehká

Řešení:

strany obdélníku $a = 25$ m

$$b = 12,5 \text{ m}$$

plocha střev $S_S = 300 \text{ m}^2$

plocha plíc $S_P = 100 \text{ m}^2$

Vypočítáme si obsah hladiny bazénu, jako obsah obdélníku:

$$S = a \cdot b = 312,5 \text{ m}^2$$

Pro střeva pak určíte výsledek pomocí trojčlenky:

312,5 100 %

3,125 1 %

300 x %

$$\frac{300}{3,125} = \frac{x}{1}$$

$$x = \frac{300}{3,125} = 96 \%$$

Pro plíce pak:

312,5 100 %

3,125 1 %

100 x %

$$\frac{100}{3,125} = \frac{x}{1}$$

$$x = \frac{100}{3,125} = 32 \%$$

Závěr: Kdybychom rozložili střeva pokryla by téměř celou plochu plaveckého bazénu. Jak je tedy možné, že se do nás celá vejdu? Střeva jsou v dutině břišní různě zatočena, mají výběžky, proto je možné, aby tělo obsahovalo takovou to plochu. Plíce pak zabírají 32 %, což je necelá třetina plochy bazénu.

Úloha č. 21.: *Součet délek všech cév v těle dosahuje délky přibližně 100 000 km. Kolikrát bychom mohli cévami obmotat zeměkouli na rovníku? Počítejte s poloměrem 6 378 km.*

Obtížnost: základní škola, lehká

Řešení:

délka všech cév $l_C = 100\,000$ km

poloměr země $r = 6\,378$ km

Jako první si spočítáme obvod země:

$$o = 2\pi r = 2 \cdot \pi \cdot 6\,378 \text{ km} = 40\,074 \text{ km}$$

Nyní zbývá vydělit délku všech cév obvodem, abychom zjistili, kolikrát se „tam vejde“.

$$d = \frac{l_C}{o} = \frac{100\,000 \text{ km}}{40\,074 \text{ km}} = 2,5$$

Závěr: Kdybychom spojili všechny cévy za sebe, dokázaly by obmotat celou zeměkouli 2,5krát. Opět se jedná pouze o přibližnou hodnotu, každý jedinec má jinou délku cév atd.

Jak jste se mohli sami přesvědčit, lidské tělo nás má neustále čím překvapovat. Všechny cévy v těle jsou dohromady schopné obmotat 2,5krát naši planetu. Srdce za dobu 60 let vykoná práci, která by stačila k vyzdvižení tělesa o hmotnosti 30 000 kg na Mt Everest. Celá střeva by dokázala téměř zakrýt menší plavecký bazén. Kost holení „unese“ závaží

o hmotnosti 1 350 kg. Kdyby se spojila všechna svalová vlákna dokázala by vyvinout sílu postačující k uzvednutí dvou automobilů najednou. Srdce za jeden den přečerpá přibližně 7 000 l krve. Oko dokáže neustále zaostřovat a měnit intenzitu dopadajícího světla. Informace z mechanoreceptorů umístěných na kůži jsou vedeny rychlostí $216 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ atd. Zde je vyjmenován jen nepatrný zlomek věcí, nad kterými můžeme žasnout. Tyto zajímavé údaje lze právě v těchto úlohách využít.

Závěr

V této práci jsou shrnuty základní poznatky z oblasti biofyziky, které se mohou použít během výuky fyziky. V první části jsou postupně rozebrány jednotlivé oblasti lidského organismu a k nim uvedeny fyzikální veličiny, které charakterizují jejich vlastnosti. Teoretická část začíná oběhovým systémem, pokračuje přes dýchací soustavu, zrakové a sluchové smysly, elektrické vlastnosti těla, svaly, kosti až po trávicí soustavu.

V praktické části se práce věnuje konkrétním úlohám, které se zaměřují na běžné fyzikální problémy. Avšak tyto problémy jsou řešeny v rámci lidského těla. Žáci tak počítají s konkrétními hodnotami, které mohou na sobě pozorovat, ne pouze s abstraktními pojmy a čísly. To samé můžeme říci o výsledcích, které jsou konkrétní a některé i na lidském těle pozorovatelné. Je důležité zmínit, že všechny získané hodnoty, jsou pouze teoretické. Při výpočtech jsou zanedbány různé vnější i vnitřní vlivy. Pro naše účely, tedy do hodin fyziky, jsou však dobře použitelné. Nejde nám o „přesná“ čísla, ale o samotný výpočet, uvažování nad úlohou a celkové zlepšení mezipředmětových vztahů a zasazení získaných informací do širšího kontextu. Žáci samotným výpočtem získají údaje o svém těle. To může vést ke zvýšení jejich motivace a zájmu jak o fyziku, tak biologii. Považuji za důležité propojovat tyto dva předměty právě přes takovéto úlohy. Všechny příklady jsou primárně zaměřeny na procvičení látky z učiva fyziky pro základní a střední školy. Bylo uvedeno 21 úloh, které jsou spíše ukázkou, jak je možné biofyziku na základních a středních školách využít. Některé jsou autorské, jiné převzaté a následně upravené z různých zdrojů a další jsou čistě převzaté. Bylo by možné vymyslet a najít ještě další úlohy, které by se věnovaly jiným oblastem, které nebyly zmíněny (např. účinky záření na lidský organismus, těžiště těla atd.) nebo úlohy rozšířit o témata z oblasti mikrosvěta. Také by bylo možné zapojit i poznatky z oblasti chemie. Nebo by bylo možné práci rozšířit o praktická cvičení, kde by žáci sami měřili hodnoty potřebné k výpočtům.

Seznam použité literatury

1. BEDNAŘÍK, Milan, Miroslava ŠIROKÁ a Petr BUJOK. *Fyzika pro gymnázia: Mechanika. 1*, Praha: Prometheus, 1994, 343 s. ISBN 80-901619-3-6
2. BENEŠ, Jiří, Daniel JIRÁK a František VÍTEK. *Základy lékařské fyziky*. 4. vydání. V Praze: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum, 2015, 325 s. Učební texty Univerzity Karlovy v Praze. ISBN 978-80-246-2645-1
3. ENGEL-ARIELI, Susan L. *Jak pracuje lidské tělo*. Přeložil Vladimír KOLOUCH. Brno: Unis, 1995, 171 s. ISBN 1-56276-231-1
4. HÁLEK, Jan. *Biofyzika pro bakaláře*. 2. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého, 2002, 213 s. ISBN 80-244-0529-6
5. HRAZDIRA, Ivo a Vojtěch MORNSTEIN. *Lékařská biofyzika a přístrojová technika*. Brno: Neptun, 2001, 395 s. ISBN 80-902896-1-4
6. HUTÁK, Jan. *Výukový atlas zubů člověka* [online]. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Ústav antropologie, 2011. Dostupné z: <http://www.sci.muni.cz/anthrop/wp-content/uploads/2017/06/vyukovy-atlas-zubu.pdf>
7. KITTNAR, Otomar. *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada, 2011, 790 s. ISBN 978-80-247-3068-4.
8. KOŠTÁL, Josef. Elektrické ohradníky. *Elektro* [online]. 6/ 2009. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/elektricke-ohradniky--10934>
9. KRYNICKÝ, Martin. *Realisticky.cz* [online]. 26. 2. 2018 [cit. 1. 6. 2019]. Dostupné z: <http://www.realisticky.cz/kapitola.php?id=51>
10. KRYNICKÝ, Martin. *Realisticky.cz* [online]. 26. 2. 2018 [cit. 1. 6. 2019]. Dostupné z: <http://www.realisticky.cz/kapitola.php?id=19>
11. KRŮŽ, Michal. *Příručka pro zkoušky elektrotechniků: požadavky na základní odbornou způsobilost*. 10., aktualiz. vyd. Praha: IN-EL, 2014, 247 s. Elektro. ISBN 978-80-87942-01-7
12. LEPIL, Oldřich a Přemysl ŠEDIVÝ. *Fyzika pro gymnázia: elektřina a magnetismus*. 5., přeprac. vyd. Praha: Prometheus, 2000, 342 s. Učebnice pro střední školy. ISBN 80-7196-202-3
13. LEPIL, Oldřich. *Fyzika pro gymnázia: mechanické kmitání a vlnění*. 3. přeprac. vyd. Praha: Prometheus, 2008, 129 s. ISBN 978-80-7196-216-8

14. LEPIL, Oldřich. *Fyzika pro gymnázia: optika*. Praha: Prometheus, 2011, 207 s. ISBN 978-80-7196-384-4
15. MARINOVÁ, Petra. *Vybrané kapitoly z biofyziky pre stredoškolských študentov*. Brno, 2011. Diplomová práce. Masarykova univerzita. Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Zdeněk BOCHNÍČEK.
16. NAVRÁTIL, Leoš a Jozef ROSINA. *Medicínská biofyzika*. Praha: Grada, 2005, 524 s. ISBN 80-247-1152-4.
17. NEDĚLOVÁ, Hana. Sdílení tepla při hluboké hypotermii člověka. *Sborník Studentské tvůrčí činnosti 2009* [online]. Strojní fakulta ČVUT v Praze, 2009. Dostupné z: <https://stc.fs.cvut.cz/history/2009/sbornik/Papers/pdf/NedelovaHana-319654.pdf>
18. NOVOTNÝ, Ivan a Michal HRUŠKA. *Biologie člověka*. 4., rozš. a upr. vyd. Praha: Fortuna, 2007, 239 s. ISBN 978-80-7373-007-9.
19. SILBERNAGL, Stefan a Agamemnom DESPOPOULOS. *Atlas fyziologie člověka*. Vyd. 6. Praha: Grada Publishing, 2004, 448 s. ISBN 80-247-0630-X
20. SVOBODA, Emanuel. *Přehled středoškolské fyziky*. 4., upr. vyd. Praha: Prometheus, 2005, 531 s. ISBN 80-7196-307-0.
21. ŠIMEK, Josef. *Čísla o lidském těle a jak jim rozumět*. Praha: Victoria Publishing, 1995, 201 s. ISBN 80-85865-84-X
22. VÍTEK, František a Miloslav RAKOVIČ. *Základy lékařské biofyziky*. 1/1 vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1989, 2 sv. (165, 135 s.). ISBN 80-7184-467-5