5. 10. ŽMOGAUS KVĖPAVIMO PARAMETRŲ TYRIMAS

Darbo tikslas

Nustatyti pagrindinius kvėpavimo parametrus esant ramybės ir fizinio aktyvumo būsenos.

Darbo užduotys

- Nustatyti kvėpavimo dažnį esant ramybės būsenos.
- Nustatyti esant ramybės būsenos vieno kvėpavimo ciklo metu iškvepiamo oro tūrį.
- Nustatyti kvėpavimo dažnį esant fizinio aktyvumo būsenos.

Teorinės temos

- Dujos, jų fizinės savybės, dujų dėsniai.
- Molekulių vidutinis laisvasis lėkis ir jo priklausomybė nuo slėgio ir temperatūros.
- Hageno ir Puazeilio lygtis.
- Kvėpavimo fizika, pagrindiniai kvėpavimo parametrai.
- Diafragminis ir krūtininis kvėpavimas.

Darbo priemonės ir prietaisai

Slėgio matavimo modulis su Cobra3 Basic-Unit matavimo sistema (matavimo ribos – 0–2 bar, prietaiso paklaida – 0,5 mbar), guminis vamzdelis su antgaliu, kompiuteris su USB jungtimi ir programine įranga, slankmatis, liniuotė arba ruletė.

Darbo metodika

Žmogaus kvėpavimo parametrų nustatymas atliekamas su „Cobra3 BASIC-Unit“ matavimo sistema, prie kurios yra prijungtas slėgio matavimo modulis (5.10.1 pav.). Prie slėgio matavimo modulio prijungtas guminis vamzdelis (5.10.2 pav., C), kitas guminio vamzdelio galas prijungtas prie T formos vamzdelių jungties. Kvėpuojant per T formos vamzdelių jungtį (vamzdelį A, 5.10.2 pav.), dėl judančio oro (greičiu v) matavimo vamzdelyje susidaro slėgio pokytis, kuris yra registruojamas. Slėgio pokyčio susidarymas aiškinamas Bernulio lygtimi: orui pradėjus judėti vamzdelių jungtimi, pakinta jo dinaminis slėgis ir dinaminio slėgio pokytis kompensuojamas statinio slėgio pokyčiu, kuris yra užregistruojamas.

5.10.1 pav. Slėgio matavimo modulis

Tekant realiesiems skysčiams arba dujoms horizontaliu vamzdžiu, skysčio arba dujų dalelių potencinė energija eikvojama vidinės trinties jėgoms nugalėti ir todėl išilgai vamzdžio ašies krinta statinis slėgis. Ž. Puazeilis (*J. Poisseuille*) 1840 metais eksperimentais nustatė, kad laminarusis skysčio tekėjimo neplačiu horizontaliu apvaliu vamzdžiu vidutinis greitis v_{vid} tiesiog proporcingas slėgių įėjime p_1 ir išėjime p_2 skirtumui, vamzdžio spindulio R kvadratui ir atvirkščiai proporcingas skysčio klampai η ir vamzdžio ilgiui l:

$$v_{vid} = \frac{R^2}{8\eta}\frac{p_1 - p_2}{l}. \qquad (5.10.1)$$

Tai Puazeilio dėsnis. Žinant v_{vid}, galima rasti skysčio, pratekančio skerspjūvio S vamzdžiu per laiko vienetą, tūrį:

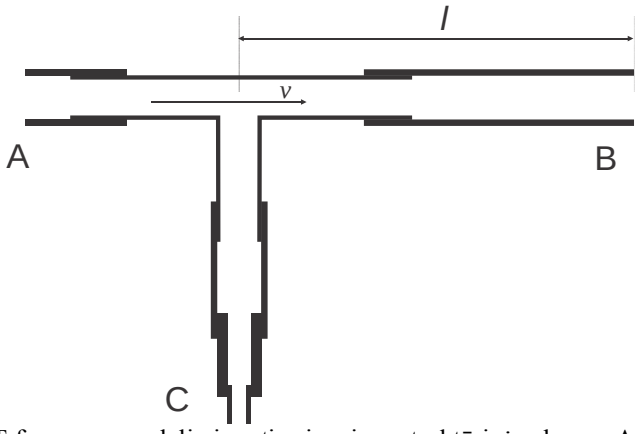
$$Q = v_{vid} S. \qquad (5.10.2)$$

Kadangi $S = \pi R^2$ ir pažymėjus $\Delta p = p_1 - p_2$, užrašoma Hageno ir Puazeilio lygtis:

$$Q = \Delta p \frac{\pi R^4}{8 l \eta}. \qquad (5.10.3)$$

Suintegravus slėgio pokytį per nagrinėjamą laiko tarpą, randamas visas perėjusio per vamzdelį oro tūris V:

$$V = \left\langle \int \Delta p dt \right\rangle \frac{\pi R^4}{8 l \eta}. \qquad (5.10.4)$$



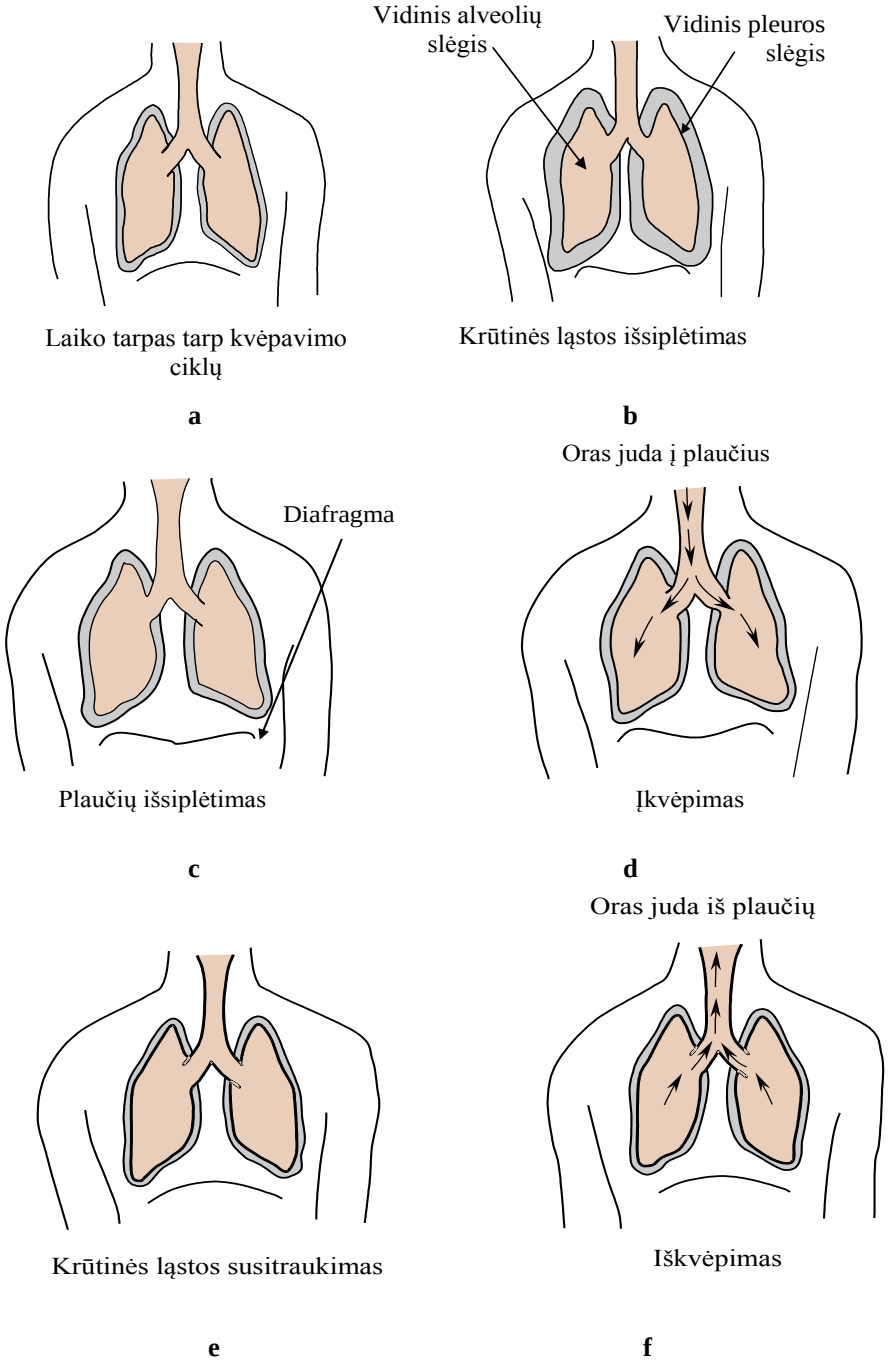
5.10.2 pav. T formos vamzdelių jungties jungimo struktūrinė schema: A – vamzdelis, per kurį kvėpuojama, B – atviras vamzdelis, C – jungties galas, jungiamas prie slėgio matavimo modulio, v – oro judėjimo greitis, l – atviro vamzdelio ilgis

Dėl matavimo sistemos mechanikos, sunertų vienas į kitą kintančio skersmens vamzdelių (5.10.2 pav.) įkvepiant ir iškvepiant oras vamzdelyje juda skirtingu būdu: įkvepiant oras teka turbulentiniu būdu, o iškvepiant – laminariai. *Laminariuoju tekėjimu* vadinamas toks oro tekėjimas, kai oro srauto linijos tarpusavyje nesikerta ir oro sluoksniai tarpusavyje nesimaišo. Didėjant oro srovės greičiui, atskiros oro sluoksnio dalelės ne tik slenka, bet ir pradeda suktis – oro sraute susidaro sūkuriai. Dėl turbulentinio tekėjimo būdo vamzdelyje smarkiai padidėja varža (oro pasipriešinimas) ir kartu – matuojama slėgio vertė. Dėl to Hageno ir Puazeilio lygtis (5.10.4), kuri aprašo laminariai tekančio oro kiekį, tinkama tik matuojant iškvėpimo dinamiką.

Kvėpavimo fizika

Gyvieji organizmai kvėpuodami iš atmosferos gauna deguonies, kuris būtinas oksidacijos procesams ir yra gyvųjų organizmų energijos šaltinis. Kvėpuojama plaučiais ir audiniais (oda).

Plaučiai – tai tarsi elastinė dėžė. Plaučiuose yra apie 300 mln. alveolių, kurių skersmuo *d* gali kisti nuo 0,1 iki 0,3 nm. Jų bendras plotas – 100 m^2. Alveolės sujungtos su kapiliarais. Jas skiria membranos, kurių storis yra apie 0,4 µm (1/10 eritrocitų dydžio). Per šias membranas į kraują difunduoja deguonis O_2, o iš kraujo į plaučius per jas difunduoja anglies dioksidas CO_2 ir paskui iškvepiamas. Plaučių alveolėse deguonis O_2 iš atmosferos susijungia su kraujo hemoglobinu ir tada kraujo apytakos rate perduodamas į visus kitus organus. CO_2, atsirandantis organizmo audiniuose dėl oksidacijos proceso, su kraujo srove grįžta į plaučius ir paskui išsiskiria į atmosferą su iškvepiamu oru. Akivaizdu, kad atmosferos reiškiniai (atmosferos slėgis, temperatūra, oro drėgmė) turi didelę įtaką žmogaus organizmui.



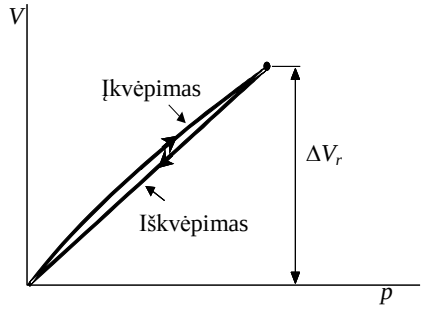
5.10.3 pav. Kvėpavimo ciklas

Atmosferos slėgis p_{atm} svarbus normaliam žmogaus gyvenimui. Didžioji organų audinių dalis turi skysčių ir dujų, kurių slėgis beveik toks pat kaip atmosferos. Išimtis – širdies ir kraujagyslių sistema. p_{atm} – labai svarbus kvėpavimo procese, vykstančiame ir plaučiais, ir audiniais. Tačiau tik 2 % deguonies žmogus gauna difuzijos būdu per odą, likusį kiekį - per plaučius.

Kvėpavimo cikle pagrindinį vaidmenį vaidina trejos ertmės: *alveolių,* kuriose vyksta dujų mainai; ertmė tarp plaučių ir krūtinplėvės maišelio – *vidinė pleuros ertmė*, kurioje esantis neigiamas slėgis apsaugo nuo plaučių kolapso, ir *krūtinės ląstos ertmė*, kuri kontroliuoja visą kvėpavimo procesą. 5.10.3 paveikslo a dalyje pavaizduota krūtinės ląstos trumpalaikė padėtis tarp kvėpavimo ciklų. Tuo metu slėgis plaučiuose (vidinis alveolių slėgis) yra lygus atmosferos slėgiui. Susitraukiant raumenims (labiausiai tarpšonkauliniams ir krūtinkaulio), padidėja krūtinės ląstos tūris. Tuo metu vidinis pleuros slėgis yra mažesnis už slėgį plaučiuose p_{pl} – vidinį alveolių slėgį – (5.10.3 pav. b). Atsiradęs slėgių skirtumas verčia plaučius plėstis tol, kol vidinis pleuros slėgis tampa lygus slėgiui plaučiuose (alveolėse), tačiau šiuo momentu $p_{pl} < p_{atm}$, todėl plaučiuose sukuriamas vadinamasis neigiamas slėgis (5.10.3 pav., c). Diafragma išsitiesina (pajuda apie 1 cm, o jei žmogus sunkiai dirba – ir daugiau). Dėl to oras juda į plaučius – mažesnio slėgio kryptimi, ir vyksta oro su deguonimi *įkvėpimas* (5.10.3 pav., d). Jis tęsiasi iki tol, kol vidinis pleuros slėgis susilygina su plaučių slėgiu (vidiniu alveolių slėgiu), o šis savo ruožtu susilygina su atmosferos slėgiu. Tada raumenys ir diafragma atsipalaiduoja, krūtinės ląsta susitraukia, ir vidinis pleuros slėgis tampa didesnis negu atmosferos, $p_{pl} > p_{atm}$, (5.10.3 pav., e). Tai sukelia plaučių susitraukimą ir oras kartu su CO_2 iškvepiamas (5.10.3 pav., f). Po trumpo laiko kvėpavimo sistema grįžta į pradinę padėtį (5.10.3 pav., a).

Galima apskaičiuoti, kokį darbą turi atlikti krūtinės ląsta ir pilvo ertmė, kad plaučiai išsiplėstų ir susitrauktų kvėpavimo ciklo metu.

Įkvepiamo ir iškvepiamo oro tūrio pokyčio priklausomybė nuo krūtinės ląstos ir diafragmos slėgių, kurie veikia plaučius, pavaizduota 5.10.4 paveiksle.



5.10.4 pav. Įkvepiamo ir iškvepiamo oro tūrių skirtumo priklausomybė nuo slėgio

Vieno kvėpavimo ciklo metu plaučiai atlieka darbą:

$$\Delta A = \frac{1}{2C}\left(\Delta V_{\mathrm{T}}\right)^2, \qquad (5.10.5)$$

čia C = 0,1 l/cmH_2O ≈ 10^{-6} m^3/Pa, o $\Delta V_T = 500\ \mathrm{cm}^3$.

Per vieną minutę žmogus vidutiniškai įkvepia (kartu su iškvėpimu) 40 kartų. Vadinasi, per vieną minutę kvėpavimo darbas bus lygus:

$$\frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{(0{,}0005)^2\, 40}{2\left(10^{-6}\right)} = 5\left[\mathrm{J/min}\right]. \qquad (5.10.6)$$

Jau minėta, kad kvėpavimo ciklo metu žmogus įkvepia deguonį ir iškvepia anglies dioksidą. 1 lentelėje pateikti išsamesni duomenys apie žmogaus įkvepiamas ir iškvepiamas oro dujas ir jų procentinį santykį.

Normalus atmosferos slėgis yra atskirų dujų sandų dalinių slėgių rezultatas. Tai apibrėžia *Daltono dėsnis*: dujų sando dalinis slėgis yra tas slėgis, kuris būtų sukuriamas, jei jos vienos užimtų visą dujų mišinio tūrį nesant kitų sandų, o visas slėgis būtų lygus:

$$P_{visas} = p_1 + p_2 + p_3 + \ldots, \qquad (5.10.7)$$

čia p_1, p_2, p_3 ir t. t. – dujų mišinio daliniai slėgiai. Pavyzdžiui, $P_{oro} = p_{azoto} + p_{deguonies} + \ldots$.

Reikia pasakyti, kad, esant ore daug vandens garų, reikia atsižvelgti ir į jų sukuriamą dalinį slėgį.

1 lentelė. Žmogaus įkvepiamų (iškvepiamų) dujų procentinis santykis

Sudėtis	Procentinis santykis		Dalinis slėgis	
	įkvepiant	iškvepiant	mmHg	kPa
Azotas (N_2)	79,02	79,20	593,4	79,10
Deguonis (O_2)	20,94	16,30	159,2	21,21
Anglies dioksidas(CO_2)	0,04	4,50	0,2	0,03
Argonas (A)	0,93		7,1	0,95

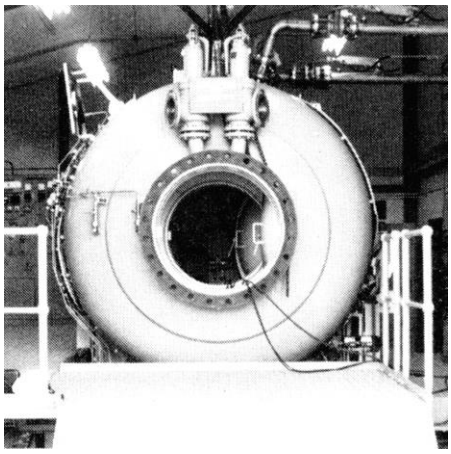
Henrio dėsnis teigia, kad skystyje ištirpusių dujų koncentracija tam tikroje temperatūroje yra proporcinga dujų daliniam slėgiui:

$$c = kp, \qquad (5.10.8)$$

čia k – tirpumo koeficientas, kuris priklauso nuo dujų tirpumo. Pavyzdžiui, anglies dioksidas vandenyje, taip pat kraujo plazmoje tirpsta labiau, negu deguonis, nes CO_2 tirpumo koeficientas tose terpėse didesnis. Iš Henrio dėsnio taip pat matyti, kad kuo didesnis pasirinktų dujų dalinis slėgis, tuo daugiau tų dujų ištirps tam tikros temperatūros skystyje.

Dujų daliniai slėgiai ir Henrio dėsnis yra svarbūs apibrėžiant dujų, kaip antai deguonies ir anglies dvideginio, tirpumą kraujyje. Organizmų metabolizmas, o kartu mūsų išlikimas priklauso nuo vienų ar kitų dujų, ištirpusių kraujyje, kiekio. Henrio dėsnis parodo, kad žemas atmosferos slėgis aukštikalnėse lemia mažesnę deguonies koncentraciją paprastuose tirpaluose, taip pat kraujyje, vykstant sąveikai su hemoglobinu.

Kai sutrinka normalus žmogaus kvėpavimo sistemos darbas, taikomas dirbtinis kvėpavimas. Jis dažniausiai atliekamas įvairaus tipo dirbtiniais kvėpavimo aparatais, kuriuose sukuriamas didesnis slėgis ir į plaučius priverstinai patenka papildomas oro kiekis. Padidėjus išoriniam slėgiui, padidėja deguonies kiekis kraujyje, dėl to pagerėja organizmo aprūpinimas deguonimi. Barokameroje (5.10.5 pav.) sukuriamas didesnis neigiamas slėgis. Tada krūtinės ląsta pasyviai išsiplečia ir pacientas įkvepia. Kai slėgis kameroje susilygina su atmosferos slėgiu, įvyksta iškvėpimas.



5.10.5 pav. Barokameros vaizdas

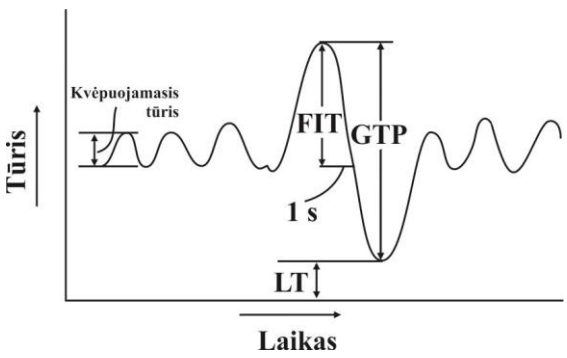
Medicinoje registruojami kvėpavimo parametrai

Apibūdinti kviekvieno žmogaus kvėpavimo procesą nėra labai lengva. Kita vertus, medicinoje svarbiausia ne pats kvėpavimas, bet kvėpavimo efektyvumas: kaip efektyviai deguonis yra perduodamas iš oro į kraują ir anglies dioksidas iš kraujo į orą. Tiesiogiai išmatuoti šiuos parametrus yra sudėtinga, tačiau yra įvairiausių metodų, kuriais galima įvertinti paciento kvėpavimo efektyvumą. Toliau bus aptariami svarbiausi kvėpavimo parametrai, kurių keletas yra pavaizduoti 5.10.6 pav.

Gyvybinė plaučių talpa GPT (angl. *Vital capacity*) – maksimalus iškvepiamas oro tūris po maksimalaus įvėpimo. Tipinės vertės jauniems vyrams: ~5 l, moterims ~3,5 l, vyresniems žmonėms vertės yra mažesnės. Kartais registruojamas maksimaliai įkvepiamas oro kiekis po maksimalaus iškvėpimo.

Liekamasis tūris LT (angl. *Residual volume*) – oro tūris, liekantis plaučiuose po maksimalaus iškvėpimo. Tipinės vertės jauniems vyrams ~1,2 l, moterims šiek tiek mažesnės, vyresniems žmonėms ši vertė didėja.

Forsuoto iškvėpimo talpa FIT (angl. *Forced expiratory volume*) – oro tūris, iškvepiamas per 1 s, kai iškvepiama po maksimalaus įkvėpimo. Jauniems vyrams ši vertė yra ~4 l. Vertė kinta priklausomai nuo lyties, amžiaus, ūgio, svorio.



5.10.6 pav. Pagrindiniai kvėpavimo parametrai.

Maksimalus iškvėpimo greitis (angl. *Peak expiratory flow rate*) – didžiausias iškvėpimo greitis, kai iškvėpiama priverstinai po maksimalaus įkvėpimo. Jauniems vyrams tipinė vertė – 7 l/s.

Kvėpuojamasis tūris (angl. *Tidal volume*) – oro tūris, įkvepiamas arba iškvepiamas vieno įkvėpimo arba iškvėpimo metu. Esant ramybės būsenos tipinė vertė yra 0,3–0,5 l.

Maksimali valinga plaučių ventiliacija (angl. *Maximum voluntary ventilation*) – oro tūris, įkvepiamas per minutę, kvėpuojant didžiausia sparta. Pacientas paprašomas bent 15 s kvėpuoti 50 min^{-1} dažniu kuo giliau. Tipinė vertė vyrams yra ~150 l/min.

Alveolių ventiliacija (angl. *Alveolar ventilation*) – oro tūris, patenkantis į alveoles per 1 min. Tiesiogiai šios vertės išmatuoti neįmanoma, tačiau ją galima įvertinti naudojantis kitais matavimais. Tipinė vertė yra ~80 % įkvėpto oro.

Pratekančio kraujo kiekis (angl. *Minute volume*) – kraujo tūris, pratekantis plaučiais per 1 min. Normali vertė esant ramybės būsenos yra ~5l/min.

Perfuzijos sparta (angl. *Perfusion ratio*) – oro alveolėse kaitos ir pratekančio kraujo tūrio santykis. Esant ramybės būsenos tipinė vertė ~0,8. Perfuzijos sparta padidėja esant fiziniam aktyvumui.

Arterinis deguonies slėgis (angl. *Arterial oxygen pressure*) – dalinis deguonies, ištirpusio arteriniame kraujyje, slėgis. Tipinė vertė yra 80–100 mmHg (10,6–13,3 kPa).

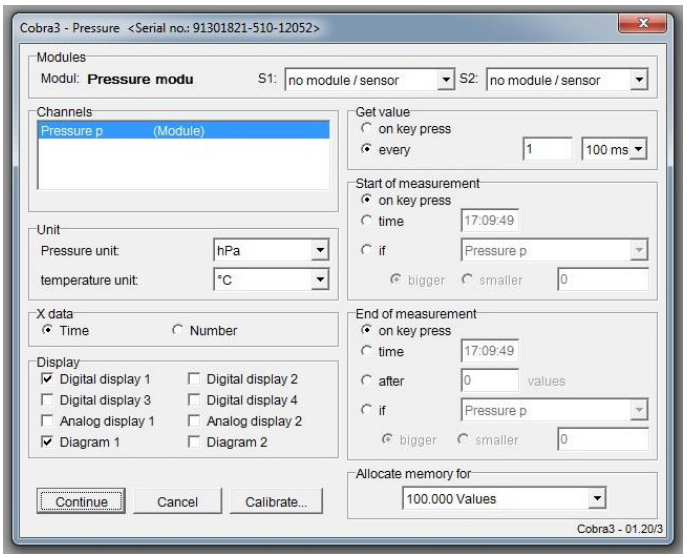
Alveolinis deguonies slėgis (angl. *Alveolar oxygen pressure*) – dalinis deguonies, esančio alveolių ore, slėgis. Tipinė vertė yra 95–105 mmHg (12,6–14,0 kPa).

Plaučių pasipriešinimas išsiplėtimui (angl. *Compliance of the lung*) – plaučių tūrio ir slėgio pokyčio santykis. Šis dydis nusako, kiek reikia pastangų, norint išplėsti plaučius. Tipinės vertės – 200 ml·cm $H_2O \cdot l^{-1}$ (2 $l \cdot kPa^{-1}$).

Kvėpavimo takų varža (angl. *Airways' resistance*) nusako oro takų pasipriešinimą oro tekėjimui. Ji išreiškiama kaip oro slėgio ir oro tekėjimo greičio santykis. Tipinė vertė yra 2 cm $H_2O \cdot l^{-1}s$ (0,2 $kPa \cdot l^{-1}s$).

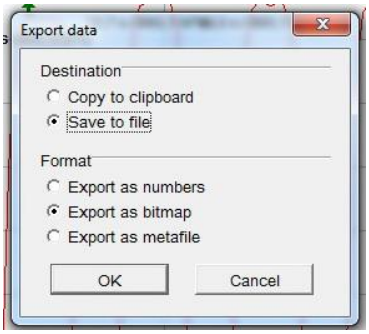
Darbo eiga

1. Surenkama eksperimento grandinė: prie „Cobra3 Basic-Unit“ matavimo sistemos 1 ir 3 jungčių (žr. priedą, 5.10.11 pav.) prijungiamas slėgio matavimo modulis (5.10.1 pav.); slėgio matavimo modulio kištukas sujungiamas su guminiu vamzdeliu, prie kurio priešingo galo prijungta T formos vamzdelių jungtis. Prie vieno iš laisvų T formos jungties galų prijungiamas trumpas vamzdelis, per kurį bus kvėpuojama. „Cobra3 Basic-Unit“ matavimo sistema prijungiama prie kompiuterio USB jungtimi (8, 5.10.11 pav.).
2. Liniuote arba rulete išmatuojamas vamzdelio ilgis *l* (žr. 5.10.2 pav.).
3. Slankmačiu išmatuojamas vidinis vamzdelio, kuriuo kvėpuojama, skersmuo *d*, apskaičiuojamas vamzdelio spindulys *R*.



5.10.7 pav. „measure“ programos „New measurement“ langas

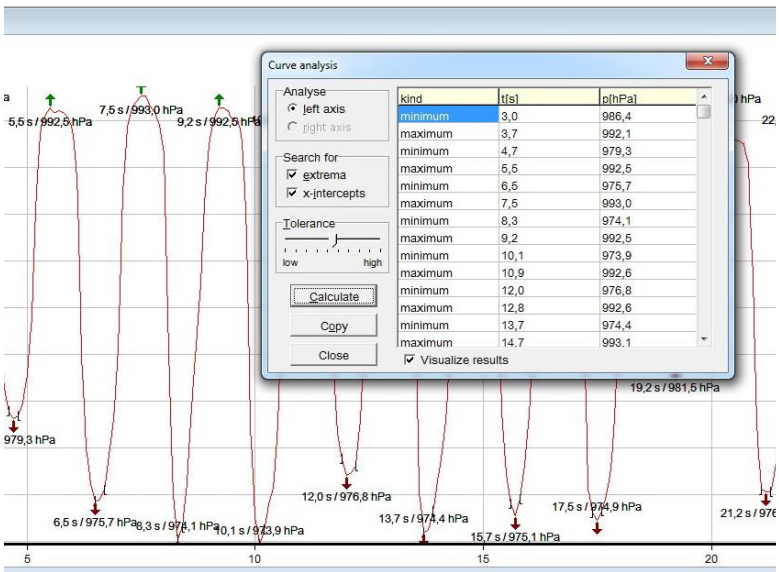
4. Paleidžiama programa „measure“.
5. Dirbant šia programa pradedamas naujas matavimas: meniu juostoje pasirenkama „File“ (liet. *Byla*)⇨„New measurement“ (liet. *Naujas matavimas*). Atsidariusiame lange nustatomi eksperimento parametrai: patariama nusistatyti parametrus kaip parodyta 5.10.7 pav.: langelyje „Get value“ (liet. *Registruoti vertę*) pasirinkti „every 100 ms“ (liet. *kas 100 ms*), langelyje „Start of measurement“ (liet. *Pradėti matavimą*) pasirinkti „on key press“ (liet. *paspaudus mygtuką*), langelyje „End of measurement“ (liet. *Baigti matavimą*) pasirinkti „on key press“.
6. Kalibruojamas prietaisas: „New measurement“ lange (5.10.7 pav.) paspaudžiamas mygtukas „Calibrate“ (liet. *Kalibruoti*) ir atsivėrusiame lange „Calibrate“ langelyje įrašomas 0 ($p_{\text{fonas}} = 0$). Spaudžiamas mygtukas „Calibrate“.
7. „New measurement“ lange spaudžiamas mygtukas „Continue“ (liet. *Tęsti*).



5.10.8 pav. „measure“ programos „Export data“ langas

8. Atsidarius „measure“ programą spaudžiamas mygtukas „Start measurement“ ir sėdint ramiai kvėpuojama per mažą vamzdelį, pritvirtintą prie T formos jungties. Patariama keliolika kartų atlikti visą kvėpavimo ciklą (įkvėpti ir iškvėpti).
9. Atlikus keliolika kvėpavimo ciklų, spaudžiamas mygtukas „End measurement“ (liet. *Baigti matavimą*). Programa sukuria slėgio dinamikos grafiką.
10. Užregistruotas signalas, norint arba reikiant, gali būti išsaugotas. Meniu juostoje pasirenkama „Measurement“ (liet. *Matavimas*)⇨„Export data“ (liet. *Perkelti duomenis*) ir atsivėrusiame lange (5.10.8 pav.) pasirenkami pageidautini išsaugojimo parametrai. Duomenys gali būti išsaugoti iškarpinėje („Copy to clipboad“, liet. *Kopijuoti į iškarpinę*) arba byloje („Save to file“, liet. *Išsaugoti byloje*), gali būti išsaugoti tekstiniu dviejų stulpelių duomenų pavidalu, kur pirmajame stulpelyje bus rašomas vertės eilės numeris, o antrajame – išmatuota slėgio vertė („Export as numbers“, liet. *Perkelti kaip skaičius*), gali būti išsaugoti paveikslėlio pavidalu („Export as bitmap“, liet. *Perkelti kaip paveikslėlį*) arba metarinkmena („Export as metafile“, liet. *Perkelti kaip metarinkmeną*).
11. Atliekama duomenų analizė: „measure“ programos meniu juostoje pasirenkama „Analysis“ (liet. *Analizė*) ⇨ „Curve analysis“ (liet. *Kreivių analizė*), atsivėrusiame lange paspaudžiamas mygtukas „Calculate“ (liet. *Skaičiuoti*) ir programa, išanalizavusi duomenis, atveria lentelę su minimumų ir maksimumų laiko momentų ir slėgių vertėmis (5.10.9 pav.). Taip pat

rekomenduojama pažymėti varnelę ties „Visualize results“ (liet. *Atvaizduoti rezultatus*), šiuo atveju slėgio dinamikos grafike žaliomis rodyklėmis bus pažymėti maksimumai, raudonomis – minimumai.



5.10.9 pav. „measure“ programos „Curve analysis“ langas

12. Apskaičiuojamas kiekvieno kvėpavimo ciklo periodas T – laiko trukmė tarp minimumo arba maksimumo laiko momentų verčių.

5.10.10 pav. Programoje „measure“ pasižymėta vieno iškvėpimo sritis

13. Apskaičiuojamas vidutinis kvėpavimo ciklo periodas T_{vid} ir kvėpavimo dažnis ($\nu = \dfrac{1}{T_{vid}}$).
14. Mygtuku pasididinama sritis su keliais kvėpavimo ciklais. Mygtuku pasirenkama vieno kvėpavimo ciklo sritis, kurioje momentinė slėgio vertė yra didesnė už p_{fonas} (5.10.10 pav.). Pasirinkus „Analysis“ ⇨ „Show integral“ (liet. *Rodyti integralą*), suskaičiuojamas pažymėtos kreivės dalies integralas $\int \Delta p_i dt$, užsirašoma jo absoliutinė vertė.
15. 14 darbo eigos punktas pakartojamas keliems kvėpavimo ciklams.
16. Suskaičiuojama vidutinė slėgio pokyčių integralų vertė $\left\langle \int \Delta p_i dt \right\rangle$.
17. Apskaičiuojamas esant ramybės būsenos vieno kvėpavimo ciklo metu iškvepiamo oro tūris (5.10.4 formulė), kai oro klampa – $1{,}81 \cdot 10^{-5}$ Pa·s.
18. Atsispausdinamas kvėpavimo esant ramybės būsenos slėgio dinamikos grafikas („File“ ⇨ „Print“, liet. *Spausdinti*).
19. Atliekamas naujas eksperimentas (darbo eigos 3, 7–9 punktai), kai kvėpuojama esant fizinio aktyvumo būsenos. Prieš atlikdamas eksperimentą tiriamas asmuo pasirinktinai atlieka įvairių fizinių pratimų (padaro pritūpimų, atsispaudimų, pašokinėja).

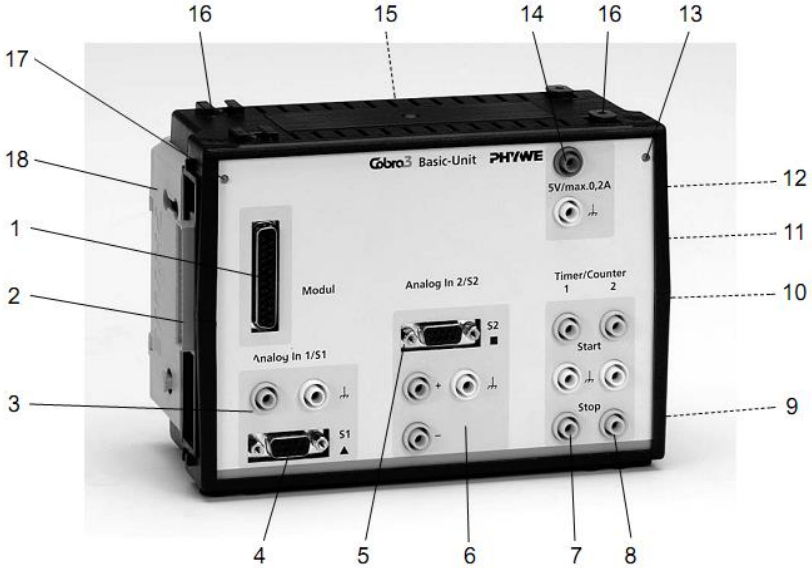
20. Atliekama fizinio aktyvumo būsenos duomenų analizė: suskaičiuojamas kvėpavimo periodas, dažnis, vieno kvėpavimo ciklo metu iškvepiamo oro tūris (darbo eigos 11–17 punktai).
21. Atliekamas naujas eksperimentas (darbo eigos 3, 5–7 punktai) esant ramybės būsenos 2–3 kartus maksimaliai įkvepiama ir iškvepiama.
22. Apskaičiuojamas maksimalus iškvepiamo oro tūris (darbo eigos 14–17 punktai).
23. Rezultatai palyginami su standartinėmis vertėmis ir padaromos išvados.

Literatūra

1. V. Karenauskaitė, S. Bagdonas, G. Streckytė, J. Butrimaitė, R. Rotomskis, Biomedicinos fizika kolegijų studentams: mokomoji knyga, Vilnius: Vilniaus kolegija, 2002.
2. R. Abraitis, P. Cibas, G. Gronow, E. Kėvelaitis, M. Illert, H. Hultborn ir kt., Žmogaus fiziologija, Kaunas: KMU, 1999.
3. B. H. Brown, R. H. Smallwood, D. C. Barber, P. V. Lawford, D. R. Hose, Medical Physics and Biomedical Engineering, New York N.Y.; London: Taylor and Francis, 1999.
4. Arthur C. Guyton, John E. Hall, Textbook of medical physiology, Philadelphia Pa.: Saunders/Elsevier, 2011.
5. Irving P. Herman, Physics of the human body, Berlin; Heidelberg: Springer, 2007.

Priedas

„Cobra3 Basic-Unit“ matavimo sistema



5.10.11 pav. „Cobra3 Basic-Unit“ matavimo sistemos priekinis skydelis

1. Modulio jungtis (25 kojelių SUB-D jungtis).
2. Praplėtimo jungtis (48 kojelių) papildomai matavimo sistemai prijungti.
3. Pirmas analoginis įėjimas (matavimo ribos: ±10 V ir ±30 V) ir įžeminimas.
4. Jutiklio jungtis S1 jutikliams, matavimo moduliams, kitiems specifiniams prietaisams prijungti.
5. Jutiklio jungtis S2 jutikliams, matavimo moduliams, kitiems specifiniams prietaisams prijungti.
6. Antrasis analoginis įėjimas su įžeminimu.
7. „Timer/Counter“ jungtys. Trys 4 mm jungtys su „Start“, „Stop“ funkcijomis ir įžeminimu. Funkcijos valdomos elektriniais tranzistorinės logikos TTL impulsais.
8. „Timer/Counter“ jungtys. Trys 4 mm jungtys su „Start“, „Stop“ funkcijomis ir įžeminimu. Funkcijos valdomos elektriniais tranzistorinės logikos TTL impulsais.
9. USB jungtis šoninėje matavimo prietaiso sienelėje.
10. Praplėtimo jungtis (48 kojelių), esanti ant šoninės prietaiso sienelės, papildomam prietaisui prijungti.
11. Jungimo elementai papildomam matavimo prietaisui pritvirtinti.
12. Maitinimo lizdas (12 V- /> 6 W).
13. Indikacinis žalias šviesos diodas, šviečiantis, kai įrenginys yra įjungtas. Kai kuriuose eksperimentuose šviesos diodas gali būti naudojamas kaip signalas.
14. Fiksuotos įtampos (5 V / max. 0.2 A) išėjimo signalo jungtys.
15. Sriegis varžtui.
16. Mechaninės jungtys keliems prietaisams sujungti.
17. Indikacinis geltonas šviesos diodas.
18. Jungimo elementai papildomam matavimo prietaisui pritvirtinti.