5. 10. ŽMOGAUS KVĖPAVIMO PARAMETRŲ TYRIMAS

Darbo tikslas

Nustatyti pagrindinius kvėpavimo parametrus ramybės ir fizinio aktyvumo būsenoje.

Darbo užduotys

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

Teorinės temos

- Dujos, jų fizinės savybės dujų dėsniai
- Molekulių vidutinis laisvasis lėkis ir jo priklausomybė nuo slėgio ir temperatūros.
- Puazeilio ir Hageno 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 (C, 5.10.2 pav.), 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: pradėjus orui judėti vamzdelių jungtimi, pakinta oro 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:

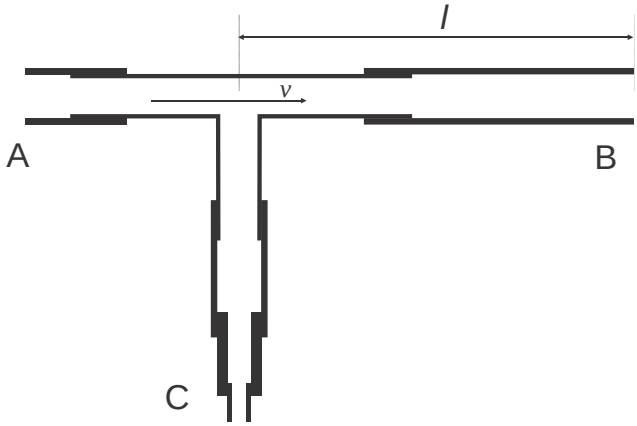
$$Q = v_{vid} S. \qquad (5.10.2)$$

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:

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



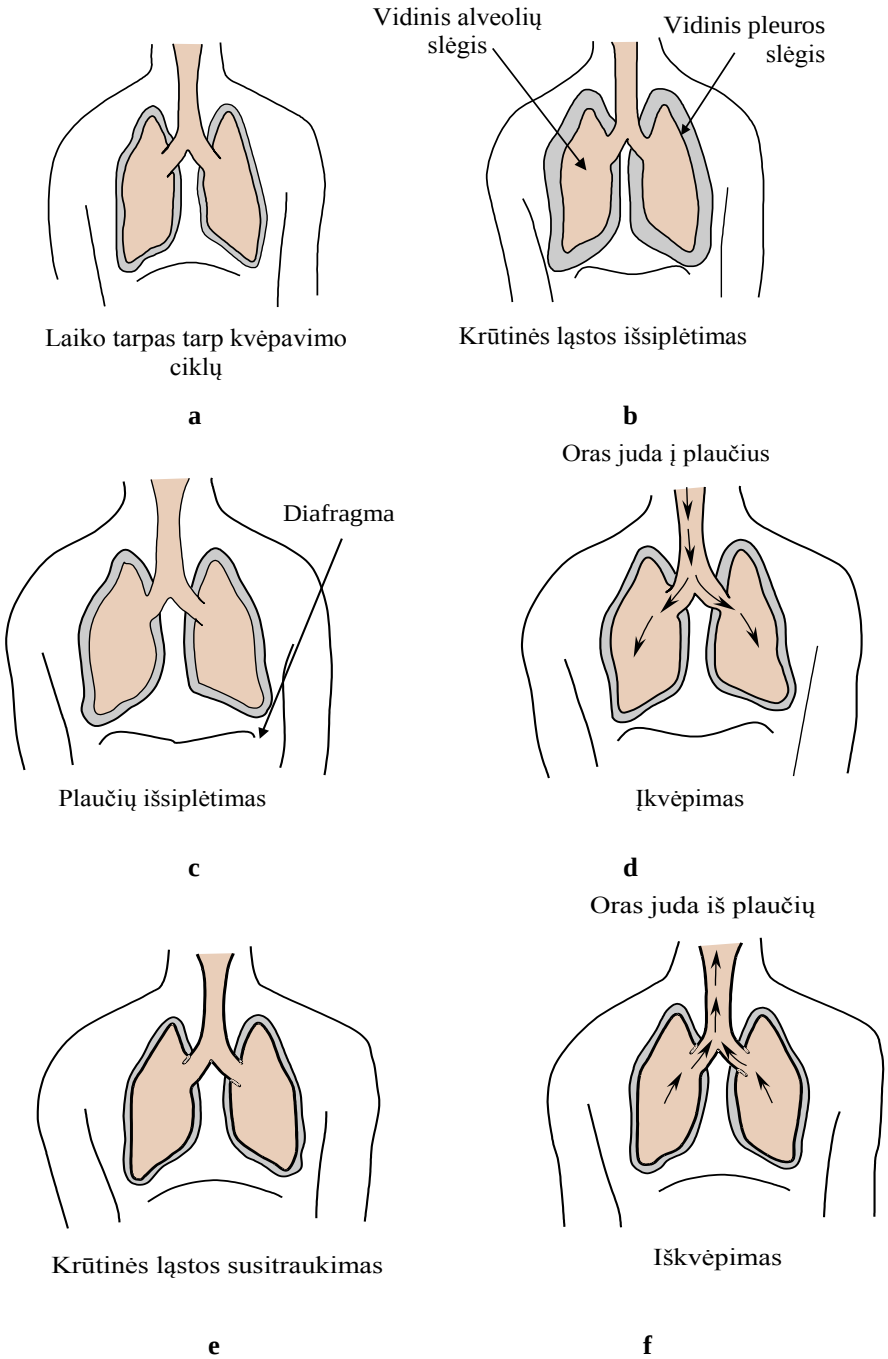
5.10.2 pav. T formos vamzdelių jungties jungimo struktūrinė schema: A - vamzdelis, per kurį kvėpuojama, B - atviras vamzdelis, C - jungties galas, jungiamas prie slėgio matavimo modulio, v - oro judėjimo greitis, l – atviro vamzdelio ilgis

Dėl matavimo sistemos mechanikos, sunertų vienas į kitą kintančio diametro vamzdelių (5.10.2 pav.), įkvepiant ir iškvepiant oras vamzdelyje juda skirtingu būdu: įkvepiant oras teka turbulentiniu būdu, tuo tarpu iškvepiant oras teka laminariai. *Laminariu 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 išauga varža (oro pasipriešinimas) ir tuo pačiu išauga matuojama slėgio vertė. Dėl šios priežasties Puazeilio ir Hageno lygtis (5.10.4), kuri aprašo laminariai tekančio oro kiekį, tinkama naudoti tik matuojant iškvėpimo dinamiką.

Kvėpavimo fizika

Iš atmosferos gyvi organizmai kvėpavimo metu gauna deguonies, kuris būtinas oksidacijos procesams, ir yra gyvųjų organizmų energijos šaltinis. Kvėpuojama plaučiais ir audiniais (oda).

Plaučiai – kaip 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 apie 0,4 μm (1/10 eritrocitų dydžio). Deguonis O_2 difunduoja į kraują per šias membranas, o anglies dioksidas CO_2 per jas difunduoja iš kraujo į plaučius ir po to iškvepiamas. Plaučių alveolėse deguonis O_2 iš atmosferos susijungia su kraujo hemoglobinu ir po to kraujo apytakos rate perduodamas į visus kitus organus. CO_2 atsirandantis organizmo audiniuose oksidacijos proceso rezultate, su kraujo srove grįžta į plaučius ir po to išsiskiria į atmosferą su iškvepiamu oru. Akivaizdu, kad atmosferos reiškiniai (atmosferos slėgis, temperatūra, oro drėgmė) turi didelę įtaką žmogaus organizmui.



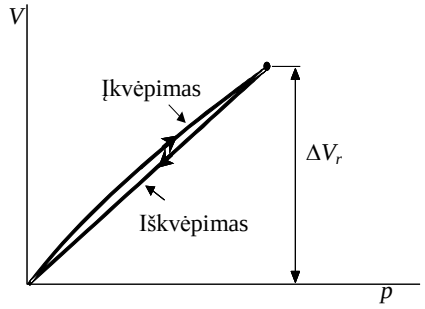
5.10.3 pav. Kvėpavimo ciklas

Atmosferos slėgis p_{atm} svarbus normaliam žmogaus gyvenimui. Didžioji organų audinių dalis turi skysčių ir dujų su beveik tokiu pačiu kaip atmosferos slėgiu. Išimtis – širdies – kraujagyslių sistema. p_{atm} – labai svarbus kvėpavimo procese, vykstančiame ir plaučiais, ir audiniais. Tačiau tik 2 % deguonies žmogus gauna difuzijos keliu per odą, likusį kiekį - per plaučių kvėpavimo sistemą.

Kvėpavimo cikle pagrindinį vaidmenį vaidina trys ertmės: *alveolių*, kurių dėka 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 a paveikslo dalyje pavaizduotas krūtinės ląstos trumpalaikė padėtis tarp kvėpavimo ciklų. Tuo metu slėgis plaučiuose (vidinis alveolių slėgis) yra lygus atmosferos slėgiui. Susitraukiant raumenims (labiausiai tarpšonkauliniams ir krūtinkaulio) įvyksta krūtinės ląstos tūrio išsiplėtimas. Tuo metu vidinis pleuros slėgis yra mažesnis už slėgį plaučiuose p_{pl} - vidinį alveolių slėgį – (5.10.3 b pav.). 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 taip vadinamas neigiamas slėgis (5.10.3 c pav.). Diafragma išsitiesina (pajuda apie 1 cm, o jei žmogus sunkiai dirba – ir daugiau). Dėl šios priežasties oras juda į plaučius (judėjimas vyksta mažesnio slėgio kryptimi), ir vyksta oro su deguonimi *įkvėpimas* (5.10.3 d pav.). Jis tęsiasi iki tol, kol vidinis pleuros slėgis susilygina su plaučių slėgiu (vidiniu alveolių slėgiu), o šis savo ruožtu susilygina su atmosferos slėgiu. Po to raumenys ir diafragma atsipalaiduoja, krūtinės ląsta susitraukia, ir vidinis pleuros slėgis tampa didesniu negu atmosferos, $p_{pl} > p_{atm}$, (5.10.3 e pav.). Tai sukelia plaučių susitraukimą ir oras kartu su CO_2 iškvėpiamas (5.10.3 f pav.). Po trumpo laiko kvėpavimo sistema grįžta į pradinę padėtį (5.10.3 a pav.).

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 mišinio tūrį nesant kitiems dujų sandams, o visas slėgis 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, $P_{oro} = p_{azoto} + p_{deguonies} + \quad + \ldots$.

Reikia pastebėti, 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 (N2)	79,02	79,20	593,4	79,10
Deguonis (O2)	20,94	16,30	159,2	21,21
Anglies dioksidas(CO2)	0,04	4,50	0,2	0,03
Argonas (A)	0,93		7,1	0,95

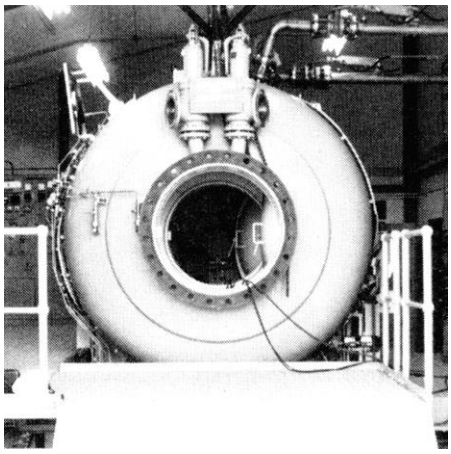
Henrio dėsnis teigia, kad skystyje ištirpusių dujų koncentracija tam tikroje temperatūroje yra proporcinga dujų daliniam slėgiui:

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

čia k – tirpumo koeficientas, kuris priklauso nuo dujų tirpumo. Pavyzdžiui, anglies dioksidas vandenyje, taip pat ir kraujo plazmoje tirpsta labiau, negu deguonis, nes CO_2 tirpumo koeficientas tose terpėse didesnis. Taip pat iš Henrio dėsnio 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 tokių dujų, kaip deguonies ir anglies dvideginio, tirpumą kraujyje. Organizmų metabolizmas, o tuo pačiu ir mūsų išlikimas priklauso nuo vienų, ar kitų dujų, ištirpusių kraujyje, kiekio. Henrio dėsnis parodo, kad žemas atmosferos slėgis aukštikalnėse apsprendžia mažesnę deguonies koncentraciją paprastuose tirpaluose, o taip pat ir kraujyje, sąveikoje su hemoglobinu.

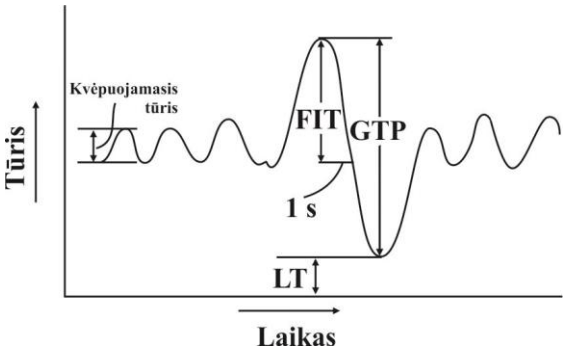
Kai sutrinka normalus žmogaus kvėpavimo sistemos darbas, taikomas dirbtinis kvėpavimas. Jis dažniausiai atliekamas įvairaus tipo dirbtiniais kvėpavimo aparatais, kuriuose sukuriamas padidintas slėgis ir į plaučius priverstinai įvedamas papildomas oro kiekis. Padidėjus išoriniam slėgiui, padidėja deguonies kiekis kraujyje, tokiu būdu pagerėja organizmo aprūpinimas deguonimi. Barokameroje (5.10.5 pav.) sukuriamas padidintas 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



5.10.6 pav. Pagrindiniai kvėpavimo parametrai.

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.

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. Ramybės būsenoje tipinė vertė 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 kaip įmanoma 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 ramybės būsenoje yra ~5l/min.

Perfuzijos sparta (angl. *Perfusion ratio*) - oro alveolėse kaitos ir pratekančio kraujo tūrio santykis. Ramybės būsenoje tipinė vertė ~0,8. Perfuzijos sparta išauga esant fiziniam aktyvumui.

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

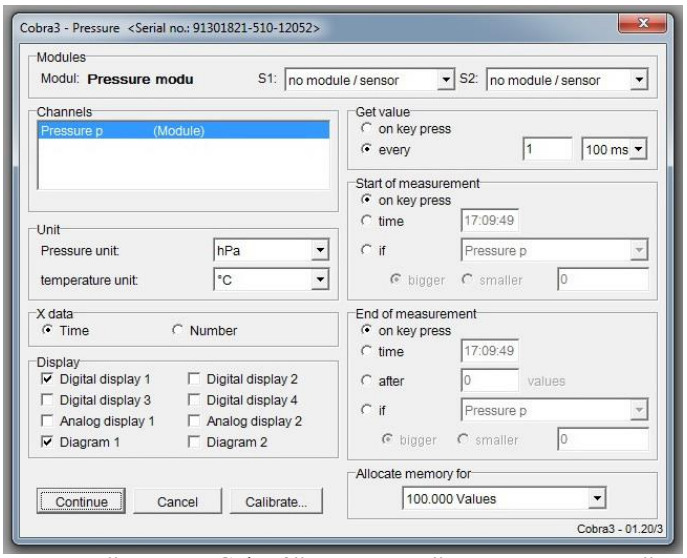
Alveolinis deguonies slėgis (angl. *Alveolar oxygen pressure*) - dalinis deguonies, esančio alveolių ore, slėgis. Tipinė vertė 95–105 mmHg (12,6–14,0 kPa).

Plaučių pasipriešinimas išsiplėtimui (angl. *Compliance of the lung*) - plaučių tūrio pokyčio 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 $kPa \cdot l^{-1}s$).

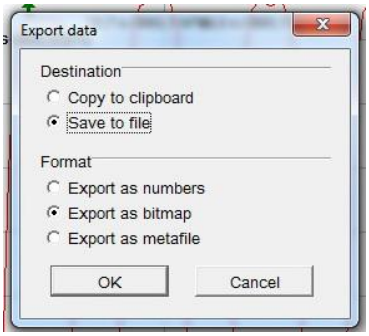
Darbo eiga

1. Surenkama eksperimento grandinė: prie Cobra3 BASIC-UNIT matavimo sistemos 1 ir 3 jungčių (žr. 1-ą 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*, suskaičiuojamas vamzdelio spindulys *R*.



5.10.7 pav. ”measure Cobra3” programos ”New measurement” langas

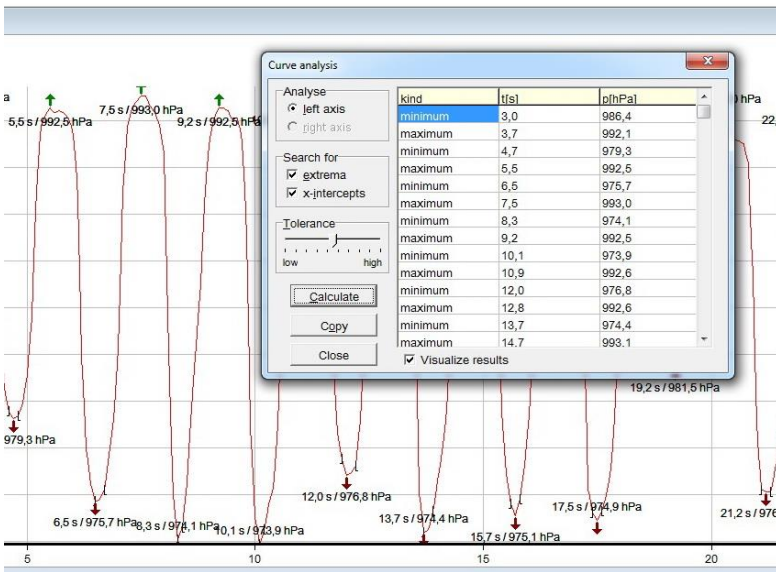
4. Paleidžiama programa “Measure Cobra3”.
5. Programoje pradedamas naujas matavimas: meniu juostoje pasirenkama ”File” (lt. *Byla*)⇨”New measurement” (lt. *Naujas matavimas*). Atsidariusiame lange nustatomi eksperimento parametrai: patariama nusistatyti parametrus kaip pateikta 5.10.7 pav.: langelyje ”Get value” (lt. *Registruoti vertę*) pasirinkti ”every 100 ms” (lt. *kas 100 ms*), langelyje ”Start of measurement” (lt. *Pradėti matavimą*) pasirinkti ”on key press” (lt. *paspaudus mygtuką*), langelyje ”End of measurement” (lt. *Baigti matavimą*) pasirinkti ”on key press”.
6. Sukalibruojamas prietaisas: ”New measurement” lange (5.10.7 pav.) paspaudžiamas mygtukas ”Calibrate” (lt. *Kalibruoti*) ir atsivėrusiame lange ”Calibrate” langelyje įrašomas 0 (p_{fonas}=0). Spaudžiamas mygtukas ”Calibrate”.
7. ”New measurement” lange spaudžiamas mygtukas ”Continue” (lt. *Tęsti*).



5.10.8 pav. ”measure Cobra3” programos ”Export data” langas

8. “Measure Cobra3” programoje spaudžiamas mygtukas “Start measurement” ir sėdint ramiai kvėpuojama per mažą vamzdelį, pritvirtintą prie T formos jungties. Patariama keliolika kartų atlikti pilną kvėpavimo ciklą (įkvėpti ir iškvėpti).
9. Atlikus keliolika kvėpavimo ciklų spaudžiamas mygtukas “End measurement” (lt. *Baigti matavimą*). Programa sukuria slėgio dinamikos grafiką.
10. Užregistruotas signalas, esant norui arba poreikiui, gali būti išsaugotas. Meniu juostoje pasirenkama “Measurement” (lt. *Matavimas*)⇨“Export data” (lt. *Perkelti duomenis*) ir atsivėrusiame lange (5.10.8 pav.) pasirenkami pageidautini išsaugojimo parametrai. Duomenys gali būti išsaugoti iškarpinėje (”Copy to clipboad”, lt. *Kopijuoti į iškarpinę*) arba byloje (”Save to file”, lt. *Išsaugoti byloje*), duomenys gali būti išsaugoti tekstiniu dviejų stulpelių duomenų pavidalu, kur pirmajame stulpelyje bus įvestas vertės eilės numeris, o antrajame - išmatuota slėgio vertė (”Export as numbers”, lt. *Perkelti kaip skaičius*), gali būti išsaugoti paveikslėlio pavidalu (”Export as bitmap”, lt. *Perkelti kaip paveikslėlį*) arba metarinkmena (”Export as metafile”, lt. *Perkelti kaip metarinkmeną*).
11. Atliekama duomenų analizė: ”Measure Cobra3” programos meniu juostoje pasirenkama ”Analysis” (lt. *Analizė*) ⇨ ”Curve analysis” (lt. *Kreivių analizė*), atsivėrusiame lange paspaudžiamas mygtukas ”Calculate” (lt. *Skaičiuoti*) ir programa išanalizavus duomenis atveria lentelę su minimumų ir maksimumų laiko momentų ir slėgių vertėmis (5.10.9 pav.). Taip pat

rekomenduojama pažymėti varnelę ties ”Visualize results” (lt. *Atvaizduoti rezultatus*), šiuo atveju slėgio dinamikos grafike žaliomis rodyklėmis bus pažymėti maksimumai, raudonomis - minimumai.



5.10.9 pav. ”measure Cobra3” 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 Cobra3” pasižymėta vieno iškvėpimo sritis

13. Apskaičiuojamas vidutinis kvėpavimo ciklo periodas T_{vid} ir kvėpavimo dažnis ($\nu = \dfrac{1}{T_{vid}}$).
14. Mygtuku 🔍 išsididinama 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” (lt. *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 ramybės būsenoje vieno kvėpavimo ciklo metu iškvepiamo oro tūris (5.10.4 formulė), kai oro klampa – $1{,}81 \cdot 10^{-5}$ Pa·s.
18. Atsispausdinamas kvėpavimo ramybės būsenoje slėgio dinamikos grafikas (”File” ⇨ ”Print”, lt. *Spausdinti*).
19. Atliekamas naujas eksperimentas (darbo eigos 3, 7-9 punktai), kai kvėpuojama fizinio aktyvumo būsenoje. Prieš atlikdamas eksperimentą tiriamasis asmuo pasirinktinai atlieka įvairių fizinių pratimų (padaro pritūpimų, atsispaudimų, pašokinėja).

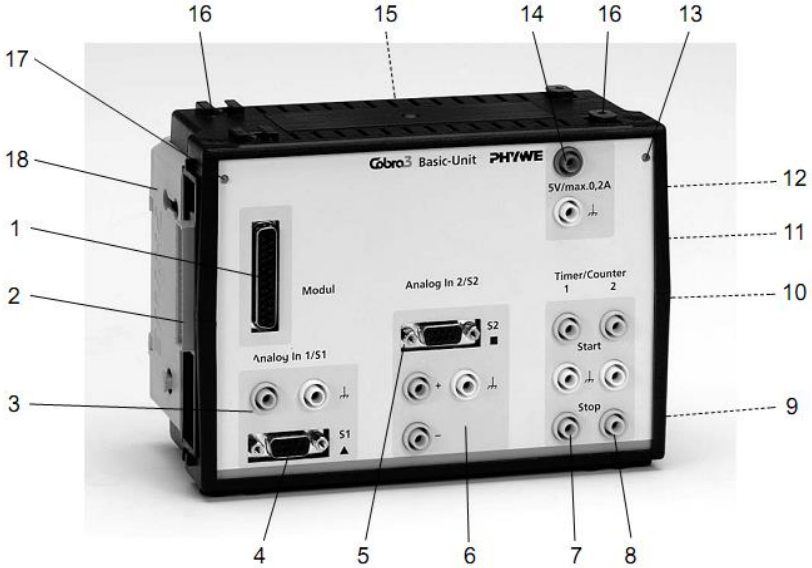
20. Atliekama fizinio aktyvumo būsenos duomenų analizė: suskaičiuojamas kvėpavimo periodas, dažnis, vieno kvėpavimo ciklo metu iškvepiamo oro tūris (darbo eigos 11-17 punktai).
21. Atliekamas naujas eksperimentas (darbo eigos 3, 5-7 punktai) ramybės būsenoje 2-3 kartus maksimaliai įkvepiant ir iškvepiant.
22. Suskaičiuojamas 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 and 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).

1 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) skirta prijungti papildomą matavimo sistemą.
3. Pirmas analoginis įėjimas (matavimo ribos: ±10 V ir ±30 V) ir įžeminimas.
4. Jutiklio jungtis S1. Skirta prijungti jutiklius, matavimo modulius, kitus specifinius prietaisus.
5. Jutiklio jungtis S2.Skirta prijungti jutiklius, matavimo modulius, kitus specifinius prietaisus.
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, skirta prijungti papildomą prietaisą.
11. Jungimo elementai, skirti pritvirtinti papildomą matavimo prietaisą.
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 skirtos sujungti kelis prietaisus.
17. Indikacinis geltonas šviesos diodas.
18. Jungimo elementai, skirti pritvirtinti papildomą matavimo prietaisą.