



UNIVERZITET U NOVOM SADU  
PRIRODNO-MATEMATIČKI  
FAKULTET  
DEPARTMAN ZA FIZIKU



## SPIROMETRIJA NA BIOPAC SISTEMU

- diplomski rad -

Mentor: Dr Olivera Klisurić

Kandidat: Danica Jestrović

Novi Sad, Septembar 2016.

## Sadržaj

---

1. Uvod .....	1
2. Anatomija respiratornih organa čoveka .....	2
3. Fiziologija disanja .....	6
3.1. Funkcije disajnih puteva .....	6
3.2. Difuzija O <sub>2</sub> i CO <sub>2</sub> između alveola i krvi .....	7
3.2.1. Fizički zakoni difuzije .....	9
3.2.2. Pritisici gasova rastvorenih u vodi i tkivima .....	9
3.2.3. Difuzija gasova u alveolama .....	12
3.3. Transport O <sub>2</sub> i CO <sub>2</sub> u krvi i telesnim tečnostima do ćelija i od njih .....	15
3.3.1. Transport O <sub>2</sub> .....	15
3.3.2. Transport CO <sub>2</sub> .....	16
3.4. Regulacija ventilacije .....	18
3.5. Mehanika disanja .....	20
3.6. Plućni volumeni i kapaciteti .....	22
4. Spirometrija .....	26
5. Biopac sistem .....	28
5.1. Vežba 12: Plućna funkcija I .....	29
5.2. Vežba 13: Plućna funkcija II .....	39
6. Zaključak .....	46
7. Literatura .....	47
Biografija .....	48

# 1. Uvod

---

Spirometrija je osnovni metod za procenu plućne funkcije. Termin spirometrija nastao je od latinske reči *spirare* (disati) i grčke reči *metros* (mera) i podrazumeva merenje volumena udahnutog, odnosno izdahnutog vazduha u funkciji vremena. Ispitivanje plućne funkcije je sastavni deo pulmološkog pregleda. Pregled plućne funkcije se koristi u dijagnostičke svrhe: za detekciju, procenu težine i prognozu respiratornih bolesti, praćenje efekata terapije, preoperativnu funkcionalnu procenu pacijenata i ocenu radne sposobnosti.

U ovom radu ćemo se osvrnuti na kratku anatomiju respiratornih organa, kao i na njihovo funkcionisanje. Uvećemo neke osnovne opšte poznate zakone difuzije gasova, i prikazati njihovu primenu na ljudski organizam, tačnije pluća. Takođe ćemo uvesti pojmove plućnih volumena i kapaciteta, preko kojih se i ostvaruju merenja iz spirometrije.

Aparati kojima se danas koristimo za izvođenje spirometrije toliko su jednostavnvi da je dovoljno upisati podatke o pacijentu, pacijent maksimalno udahne vazduh iz okoline, a zatim najbrže što može i do kraja izdahne vazduh iz pluća u aparat. Nakon toga aparat sam računa sve potrebne volumene a u ovom slučaju student potrebne kapacitete.

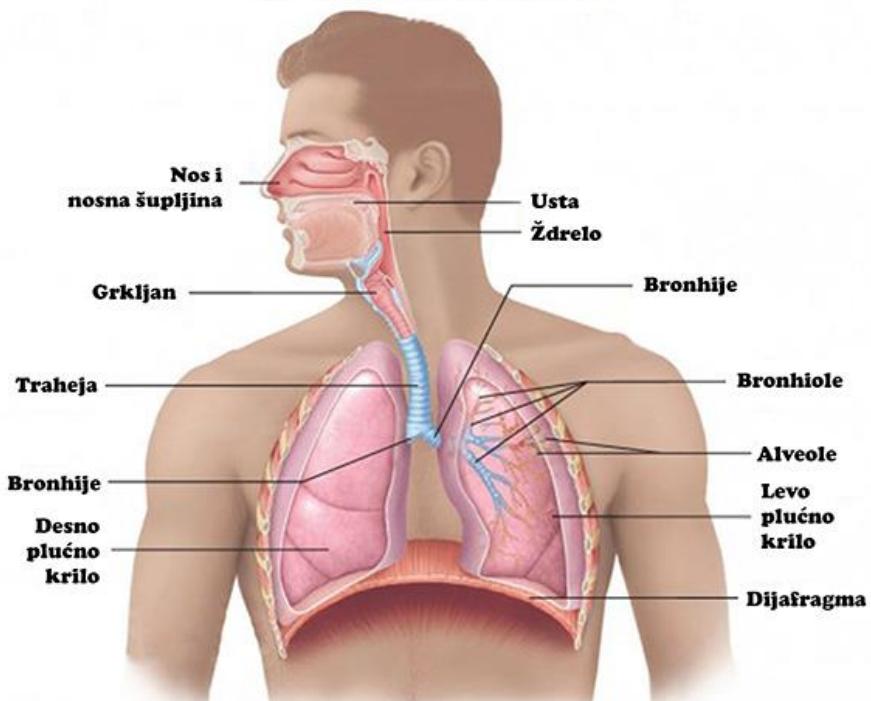
Ovaj rad ima za cilj da prikaže da rad na *Biopac* sistemu za studentske vežbe pomaže da se lakše shvati fiziologija organizma jer koristeći principe rada spirometra i spirometrije, približava se koncept funkcionisanja plućne ventilacije i mogućnost njenog merenja.

## 2. Anatomija respiratornih organa čoveka

Gotovo sva živa bića, i životinje i biljke, dišu, tj. crpe iz vazduha ili vode kiseonik, a izbacuju iz sebe ugljen - dioksid. Ljudi mogu da žive samo ako imaju vazduha. U bezvazdušnom prostoru, kao i u prostoru u kojem nema kiseonika ili u vodi, ljudi brzo umiru, jer ne dobijaju kiseonik koji im je potreban za život. Od rođenja pa do smrti čovek mora da diše. Za sve to vreme vrši se ravnomerno udisanje i izdavanje vazduha pomoću organa za disanje. (Slika 1) Sistem za disanje čoveka je veoma složen i osim razmene gasova, neki njegovi delovi omogućuju stvaranje glasa i govor. Čine ga nos, ždrelo, grkljan, dušnik, dušnice i pluća, razvrstani u gornji i donji respiratorični trakt. Respiratorični trakt delimo na:

- **gornji respiratorični trakt** (nos, nosna šupljina, ždrelo, grlo (grkljan), i gornji deo dušnika),
- **donji respiratorični trakt** (donji deo dušnika, i pluća koja uključuju bronhije i alveole).

### ORGANI ZA DISANJE



Slika 1. Organi za disanje

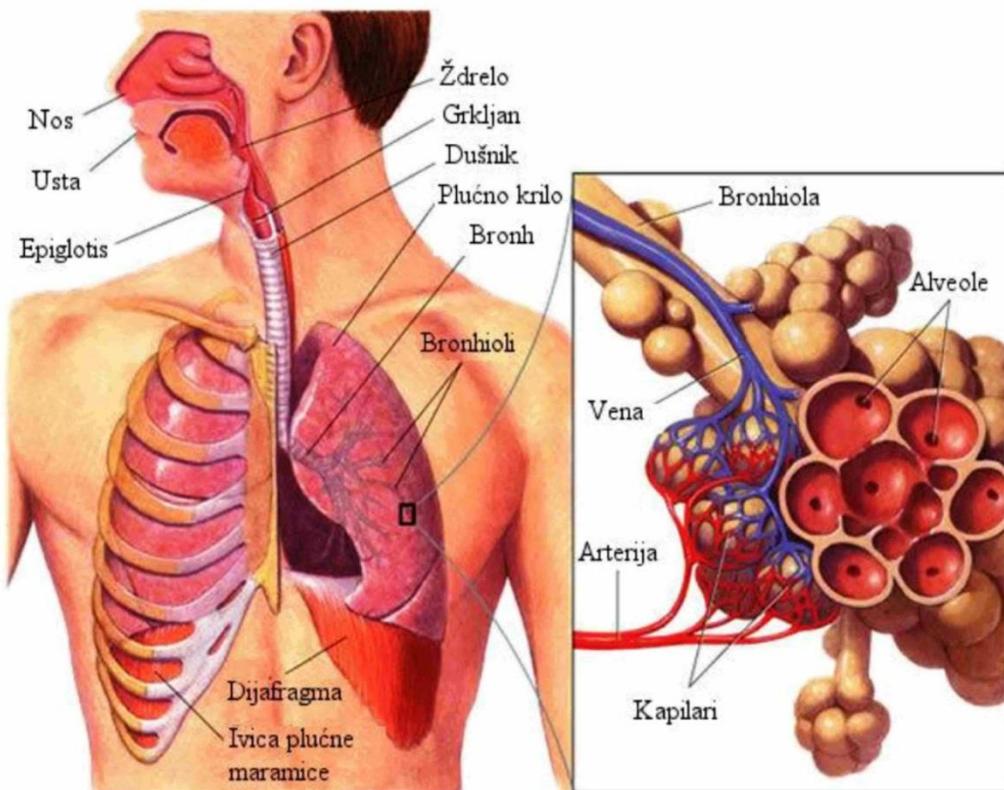
Deo respiratoričnog sistema su i plućna maramica i respiratorični mišići koji „ograđuju“ plućni prostor (dijafragma i međurebarni mišići).

**Nos sa nosnom dupljom** predstavlja početni deo sistema organa za disanje. Spolja je obložen kožom, a sa unutrašnje strane koštano – hrskavičava pregrada deli nosnu duplju na levu i desnu nozdrvu. U gornjem delu nosne duplje su receptori mirisa. Na ulazu u nozdrve (sluzokoža) se nalaze dlačice i treplje koje zaustavljaju protok čestica i mikroorganizama iz vazduha. U nosnoj šupljini je nosna mukoza koja proizvodi „mukus“. U toku udisanja vazduh se greje i vlaži. Bakterije i nečistoće se „lepe“ za mukus. Najveći deo mukusa čovek proguta, a bakterije se uniše pri varenju. U nosnu duplju se uliva suzno – nosni kanal.

**Ždrela** je organ koji pripada i organima za disanje i organima za varenje. To je mišićna tuba iz nosne duplje i usta i ispred kičme. U njemu se ukrštaju putevi za prolazjenje hrane i vazduha. Meka paleta sprečava da hrana i pljuvačka odlaze u nos na gore. Ždrela prelazi u početni prošireni deo dušnika - **grkljan**. Iznad grkljana se nalazi grkljanski poklopac, koji pri gutanju hrane zatvara ulaz u dušnik. U grkljanu se nalaze dva para sluzokožnih nabora – glasne žice. One učestvuju u stvaranju glasa. Grkljan se često naziva „zvučna kutija“. Obezbeđuje prolaz vazduha između dušnika i ždrela. Čine ga 9 hrskavičavih prstena povezanih ligamentima, i treba da bude uvek otvoren za prolaz vazduha. Najveći prsten se naziva **tiroidna hrskavica** koji može da se napipa sa prednje strane vrata.

Grkljan se nastavlja u **dušnik**, hrskavičavu cev dužine od 10 do 13 cm. Zidovi imaju 16 do 20 hrskavica u obliku slova C. Otvoreni deo prstenova je sa zadnje strane da bi se dozvolilo širenje jednjaka u toku gutanja. On se u grudnoj duplji grana na dve dušnice ili bronhije, od kojih svaka ulazi u po jedno plućno krilo i grana se u sve manje bronhole. **Primarne bronhije** (leve i desne) su grane dušnika. U plućima primarne bronhije se granaju u bronhijalno stablo. Bronhijalno stablo se dalje grana na **bronhole**. Svaki krak se deli na toliko dušnica (bronhija) koliko njegova strana ima režnjeva. Na taj način svaki plućni režanj dobija vazduh iz dušnika i kroz svoju glavnu dušnicu - bronhiju. U svakom režnju, bronhija se razgranjava na bezbroj krupnih, sitnih i najsitnijih vazdušnih kanala, koje se sve završavaju grozdastim mehurićima - **alveolama**. (Slika 2.)

**Alveole** su od elastičnog tkiva i ima ih nekoliko miliona. Svaka alveola je obavijena pulmonarnim (plućnim) kapilarima. Alveole su obavijene telesnom tečnošću koja je potrebna da bi se u njoj rastvorili gasovi i prešli iz jedne u drugu ćeliju. Alveole su kesasta proširenja respiratornih bronhiola, koje plućima daju sunđerast izgled. Strukturno, alveole podsećaju na male džepove. Unutar tih kupastih proširenja obavlja se razmena gasova, kiseonika i ugljen – dioksida, između vazduha i krvi. Građa alveolarnih zidova je specijalizovana da bi se olakšala difuzija između spoljašnje i unutrašnje sredine. Kiseonik iz alveolarnog vazduha prolazi u krv kapilara preko te barijere, a ugljen – dioksid difunduje u suprotnom smeru. U te grozdaste mehere dolazi na kraju vazduh i u njima se vrši pravo disanje, tj. upijanje kiseonika i izbacivanje ugljen – dioksida, o čemu će još biti govora.



Slika 2. Anatomija respiratornog sistema i alveole

**Pluća** su smeštena u grudnom košu i sastoje se iz dva **plućna krila**, levog i desnog. Desno plućno krilo je nešto veće od levog, zato što se u levoj polovini grudnog koša nalazi, pored pluća još i srce. Svako plućno krilo deli se na režnjeve. Desno plućno krilo sastavljeno je od tri režnja, a levo od dva. Između oba plućna krila nalazi se prostor u kome je smešteno srce, zatim dušnik, jednjak i veliki krvni sudovi. Pluća sisara se sastoje od dva plućna krila sunđeraste građe. Plućna krila su obložena unutrašnjim listom plućne maramice tesno priljubljenim uz spoljašnji list, koji oblaže grudni koš i diafragmu. Pluća nemaju mišiće, već pasivno prate pokrete grudnog koša zahvaljujući plućnoj maramici. Usled velikog broja tih vazdušnih kanala i šupljika pluća su sunđerasto meka, mogu se vrlo lako pritiskom smanjiti i, ako nisu napunjena gnojem ili vodom plivaju na vodi. Zbog tog svog sastava pluća mogu prema disanju da menjaju oblik i veličinu, tj. oni se povećavaju pri udisanju, a smanjuju pri izdisanju. U starosti, naročito kod ljudi koji boluju ili su bolovali od nekih oblika tuberkuloze, pluća izgube tu sposobnost skupljanja i širenja, pa tada nastupa otežano disanje. Pluća su sa svih strana obložena plućnom maramicom.

**Plućna maramica** je tanka, glatka i serozna opna koja ima dva lista: jedan prekriva pluća i zapepljen je za njih, a drugi pokriva iznutra rebra i mišiće i zapepljen je za rebra i mišiće. Između ta dva lista nalazi se praznina, koja dozvoljava da oba lista maramice nesmetano klize jedan po drugom. Na taj način pluća mogu da se povećavaju i smanjuju. Kada ta dva lista na nekom mestu prirastu jedan za drugi, nastaju često vrlo neugodni bolovi (probadanja), koji smanjuju mogućnost disanja.

**Grudni koš** je sastavljen od kostiju i mišića. Kosti grudnog koša su rebra (kojih ima sa svake strane po dvanaest), kičma i grudna kost. Rebra su vezana posebnim zglobovima za kičmu, a hrskavicom za grudnu kost. Pošto su rebra tanka i elastična, ona mogu u izvesnoj meri menjati oblik i na taj način smanjivati ili povećavati obim grudnog koša. Sva rebra su vezana, kako među sobom tako i sa susednim kostima (kao što su kičma, lopatice i ključne kosti), vrlo snažnim mišićima koji služe za njihovo pokretanje. Pomoću tih mišića šire se i skupljaju rebra, koja na taj način deluju kao mehur za uvlačenje (udisanje) i izbacivanje (izdisanje) vazduha. Proširenje grudnog koša, mereno u visini grudi, na kraju najjačeg udisaja iznosi u proseku 7 cm. Ukoliko je proširenje manje, utolikoj je i mogućnost uvlačenja vazduha manja pa prema tome, ljudi koji nemaju dovoljno pokretna rebra teže dišu, a pri hodu, trčanju ili radu brže se zamaraju.

**Dijafragma (prečaga)** je širok, pljosnat, tanak mišić koji deli grudni koš od trbušne šupljine. To je glavni inspiratori mišić. Ima oblik dveju izvrnutih plitkih činijica, sraslih između sebe, a svojim slobodnim ivicama su vezani za kičmu, rebra i grudnu kost. Iznad prečage nalaze se pluća i srce, a ispod nje želudac, jetra, slezina, bubrezi i creva. Pokretanjem prečage prema unutrašnjosti grudnog koša, odnosno naviše, smanjuje se šupljina grudnog koša i vrši se izdisaj, a spuštanjem prečage u trbušnu šupljinu, odnosno naniže, povećava se šupljina grudnog koša i vrši se udisaj. Prečaga mnogo više utiče na širenje i smanjivanje pluća nego rebra. Pri normalnom disanju grudni koš se vrlo malo pokreće, tj. povećava i smanjuje. Samo u slučaju bolesti sa visokim temperaturama, zatim pri oboljenju trbušnih organa, trčanju i teškom radu, grudni koš dejstvuje aktivnije. I trudne žene, naročito u drugoj polovini trudnoće, dišu više pomoću grudnog koša.

### 3. Fiziologija disanja

---

**Disanje** je potpuno automatizovana operacija, i odvija se na podsvesnom nivou. Moguće je uticati na disanje voljnim aktivnostima. Disanje predstavlja razmenu gasova između krvi i spoljne sredine a odigrava se u plućima, i to predstavlja primarnu funkciju pluća. Veoma važna uloga pluća je održavanje kiselosti krvi konstantnom (pH – vrednost). Takođe imaju sekundarnu ulogu u razmeni topote, tako što zagrevaju i vlaže vazduh. Našim disanjem se obezbeđuje kontrolisani protok vazduha za **govor, kašalj, kijanje, smejanje, zevanje, smrcanje, jecanje** i dr. Respiracija predstavlja naizmenično smenjivanje udisaja i izdisaja. Osnovna uloga disanja je da tkivima obezbedi kiseonik i da iz njih odstrani ugljen-dioksid. Ovu ulogu disanje ostvaruje kroz 4 glavne funkcije:

- 1) Plućna ventilacija – strujanje vazduha između atmosfere i plućnih alveola;
- 2) Difuziju O<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub> između alveola i krvi;
- 3) Transport O<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub> u krvi i telesnim tečnostima do ćelija i od njih;
- 4) Regulacija ventilacije.

#### 3.1. Funkcije disajnih puteva

Vazduh koji mi udiremo se sastoji od 80% N<sub>2</sub> (azota) i 20% O<sub>2</sub> (kiseonika). Vazduh koji mi izdišemo se sastoji od 80% N<sub>2</sub>, 16% O<sub>2</sub> i 4 %CO<sub>2</sub> (ugljenik-dioksida). Dnevno udahnemo oko 10 kg vazduha. Od toga pluća apsorbuju oko 0,5 kg kiseonika (400 ml O<sub>2</sub>) i ispuštaju nešto manju količinu CO<sub>2</sub>. Tokom disanja mi vazduh zasitimo sa vodom. Kad udiremo suv vazduh, naš izbačen vazduh sadrži i do 0,5 kg vode svakodnevno. Po hladnom vremenu zato i vidimo naš izdah, jer se voda kondenzuje. Vazduh sadrži i čestice prašine, dim, smog, vazdušno prenosive bakterije, štetne gasove itd. koji ulaze u kontakt sa krvljom. Pluća imaju imaju veoma veliku izloženost spoljašnjoj okolini, mnogo veću nego i jedan deo organizma npr. koža, zato je iznenađujuće kako nemamo više bolesti pluća.

Vazduh obično ulazi u telo kroz nos gde se obično zagreva (ako je potrebno), filtrira i vlaži. Vlažne površine i dlake u nosu zadržavaju prašinu, bubice, nečistoće itd. Tokom teških fizičkih aktivnosti kao što je recimo trčanje, vazduh ulazi kroz usta i tako se zaobilazi ovaj filtrirajući sistem. Nakon toga vazduh prolazi kroz dušnik, koji se račva na 2 grane preko kojih se pluća snabdevaju vazduhom i nazivaju se bronhije. Svaka bronhija se deli oko 15 puta što rezultira obrazovanjem bronhiola, koje snabdevaju vazduhom milionske male kesice – alveole. One su kao umreženi mehurići poluprečnika 0,2 mm (stranica koju čitate je debljine 0,1 mm) i zidova debljine 0,4 µm. One se šire i skupljaju tokom disanja; predstavljaju „mesto gde se dešava akcija“ pri razmeni O<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub>. Svaka alveola je okružena sa krvljom tako da O<sub>2</sub> može difuzijom da pređe iz alveola u crvena krvna zrnca i CO<sub>2</sub> difuzijom da se prebaci iz krvi u vazduh u alveolama. Na rođenju pluća imaju oko 30 miliona alveola; do osme godine broj alveola se poveća na 300 miliona (~1000000/dan). Posle osme godine broj ostaje relativno konstantan, ali se alveole povećavaju po dijametru (prečniku). Alveole imaju veoma bitnu funkciju i biće o njima dalje reči.

Pored toga što disajni putevi služe za dopremanje i transport vazduha, oni i otklanjaju čestice prašine koje se zapele za vlažne delove različitih organa disajnih puteva. Bronhije i dušnik su veoma osetljive na lagani dodir tako da neznatna količina bilo koje strane supstance ili bilo koji uzročnik iritacije prouzrokuje **refleks kašljanja**. Telo ima 2 mehanizma za čišćenje disajnih puteva od stranih tela. Velike komade izbacuje kašljanjem ili **refleksom kijanja**.

Kašljanje i kijanje su refleksni mehanizmi povezani sa disanjem:

- Kijanje izaziva iritacije mukoze u nosnoj šupljini.
- Kašljanje je refleks koji prati iritaciju ždrela, grkljana ili dušnika.

Pri kašljanju se udahne naglo oko 2,5 litara vazduha. Zatim se grkljanski poklopac zatvori, tako da vazduh ostaje zarobljen u plućima. Dolazi do snažne kontrakcije trbušnih mišića koji potiskuju dijafragmu, kao i ostale međurebarne mišiće. Zbog toga se pritisak u plućima povećava i na 100 mm Hg, ili više. Četvrto, poklopac se naglo širom otvori, tako da vazduh pod velikim pritiskom u plućima, naglo i eksplozivno izlazi napolje. Ponekad se taj vazduh isteruje čak i brzinom od 120 – 160 km/h. Vazduh koji se tako brzo pokreće odnosi sve strane supstance koje su se nalazile u bronhijama ili dušniku.

**Drugi mehanizam** čišćenja disajnih puteva se sprovodi pomoću tankih dlačica-**cilija**. Male čestice se sprovode naviše prema ustima pomoću cilija. Cilije (treplje) su dugačke čitavih 0,1 mm i imaju lelujavo (talasasto) kretanje koje pokreće sluz koja nosi prašinu i ostale sitne čestice prema gornjim disajnim putevima. One se stalno pokreću frekvencijom od 10 – 20 puta u sekundi (~17 Hz). Sluz se kreće oko 1 – 2 cm/min (oko 100 – 200 m nedeljno). Možemo ovo zamisliti kao lift duž dušnika. Potrebno je oko 30 minuta da se čestica prašine izbaci iz bronhije i dušnika u grlo i eliminiše ili pljuvanjem (u maramicu) ili gutanjem.

### 3.2. Difuzija O<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub> između alveola i krvi

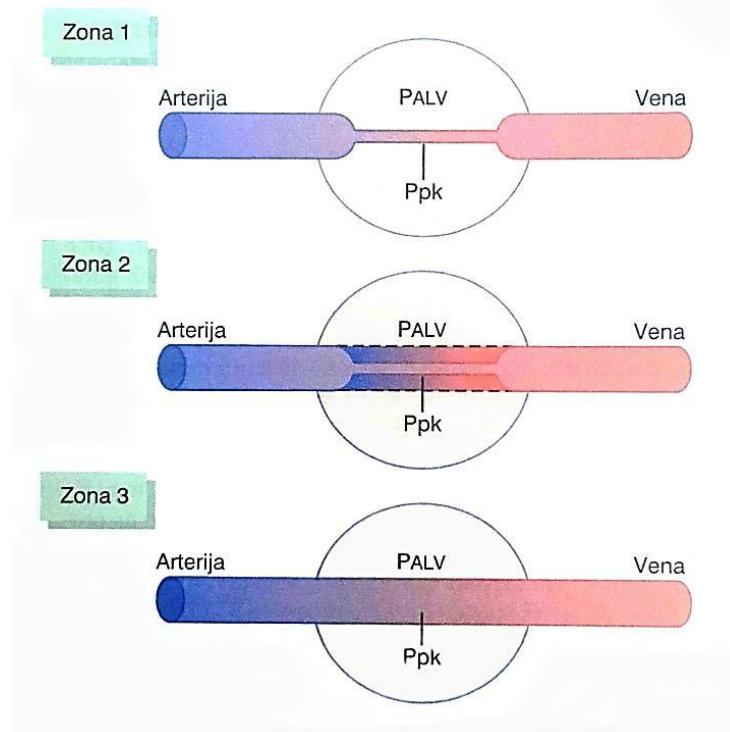
Krv se iz srca pumpa u pluća pod relativno slabim pritiskom. Srednja vrednost krvnog pritiska u glavnoj plućnoj arteriji koja transportuje krv do pluća je oko 2,7 kPa (~20 mm Hg), tj. iznosi oko 15 % od celokupnog krvnog pritiska. Pluća pružaju slab otpor protoku krvi. U proseku volumen krvi u plućima iznosi približno 450 ml, a to je oko 9 % ukupnog volumena krvi koji se nalazi u sistemu cirkulacije. Od toga se oko 70 ml krvi nalazi u plućnim kapilarama u bilo kom trenutku. Pošto se krv zadržava manje od 1 s u plućnim kapilarima, pluća moraju biti veoma dobro dizajnirana za razmenu gasova; alveole imaju ekstremno tanke zidove i okružene su sa krvi iz plućnog kapilarnog sistema. Površinska oblast između vazduha i krvi unutar pluća je 70 m<sup>2</sup>. Ako bi se 70 ml krvi iz kapilara razlilo po površini od 70 m<sup>2</sup>, debljina krvi bi bila oko 1 µm što je manje od debljine 1 crvene krvne ćelije-eritrocita.

Postoje 3 oblasti u plućima sa različitim tipovima prokrvljenosti i ventilacijom:

- 1) Zona 1: oblast sa dobrom ventilacijom i lošom prokrvljenosti;
- 2) Zona 2: oblast sa lošom ventilacijom i dobrom prokrvljenosti;

3) Zona 3: oblast sa dobrom ventilacijom i dobrom prokrvljeniču.

Kod zdravih pluća treći tip zauzima oko 90 % celih pluća. Ako je protok krvi onemogućen delu pluća usled ugruška (tromba), taj deo pluća je slabo prokrvljen. Razmena gasova  $O_2$  i  $CO_2$  sa krví se dešava usled difuzionog zakona fizike i parcijalnih pritiska gasova.



Slika 3. Prikaz zona prokrvljenosti u plućima

### 3.2.1. Fizički zakoni difuzije

Svi gasovi su jednostavni molekuli koji se slobodno kreću jedni među drugima, i taj proces se naziva **difuzija**. Svi molekuli se neprekidno kreću. U gasnom, tečnom, čak i u određenoj meri i u čvrstom stanju, molekuli ne stoje na istom mestu. Kada bi na primer mogli da identifikujemo grupu molekula u sobi (kap parfema npr.), za par minuta bi se molekuli prenestili tj pomerili kroz sobu. **Molekuli se difuzno kreću sa mesta veće koncentracije na mesto niže koncentracije, sve dok se te koncentracije ne izjednače.** Kod pluća posmatramo difuziju i kod tečnog i kod gasovitog stanja. Molekuli gasa se na sobnoj temperaturi kreću približno brzini zvuka. Svaki molekul pretrpi oko  $10^{10}$  sudara/sekundi pri haotičnom kretanju. Najverovatnija udaljenost d koju molekul može da pređe posle N sudara:

$$d = \lambda \cdot \sqrt{N}$$

gde je  $\lambda$  – slobodan put (srednja udaljenost između sudara); u vazduhu  $\lambda \sim 10^{-7}$  m, a u tkivu  $\lambda \sim 10^{-11}$  m. Izvor energije kretanja molekula u gasovima je samo kretanje molekula. Nakon sudara sa drugim slobodnim molekulima, molekuli nastavljaju svoje kretanje ali u novom smeru, sve dok se opet ne sudare sa novim molekulima. Razdaljina za molekule u plućima je obično manja od mm, a difuzija se odvija u deliću sekunde. Pri razmeni O<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub> sa tkivima posmatramo difuziju u tečnosti. Njihova difuzija je oko 10000 puta sporija nego u vazduhu, ali debljina tkiva kroz koju difunduju molekuli u plućima je veoma mala ( $\sim 0,4 \mu\text{m}$ ) i odvija se brže od 1 s.

Da bi razumeli ponašanje gasova u plućima podsetimo se **Daltonovog zakona** o parcijalnim pritiscima: *Pritisak koji vrši gasna mešavina jednak je zbiru pritisaka koji bi vršio svaki od gasova koji čine mešavinu, ako bi sam zauzimao celu mešavinu.* Zamislimo zatvoren kanister od 1 l u kome je suv vazduh pod atmosferskim pritiskom 101 kPa (760 mm Hg). Ako bi smo izvadili sve molekule iz kanistera osim O<sub>2</sub>, pritisak bi se smanjio na 20 kPa (160 mm Hg). To je parcijalni pritisak kiseonika - pO<sub>2</sub>. Ako bi ostali samo molekuli N<sub>2</sub>, pritisak bi bio 80% od 101 kPa tj. 80 kPa (610 mm Hg). Parcijalni pritisak vodene pare zavisi od vlažnosti. U prosečnoj sobi pritisak vodene pare je od 2 – 2,6 kPa (15 – 20 mm Hg); u plućima na 37 °C i 100 % vlažnosti parcijalni pritisak vodene pare je 6,2 kPa.

### 3.2.2. Pritisici gasova rastvorenih u vodi i tkivima

Smeša gasova u alveolama nije ista kao i mešavina gasova u vazduhu. Pluća nisu prazna pre udisanja. Gasovi koji su rastvoreni u vodi ili u telesnim tkivima, takođe daju pritisak, jer se rastvoreni molekuli gase kreću haotično i imaju kinetičku energiju. Kada molekul rastvorenog gase naiđe na neku površinu, kao što je ćelijska membrana, on ostvaruje svoj parcijalni pritisak na isti način kao i u gasnoj sredini. Pritisak gase ne određuje samo njegova koncentracija već i njegov *koeficijent rastvorljivosti*. Neke vrste molekula, naročito molekule CO<sub>2</sub>, fizički ili hemijski privlače molekuli vode, dok druge odbijaju.

Kada voda privlači molekule gasa, to uzrokuje da se više molekula gasa može rastvoriti, a da se u tom prostoru ne poveća dodatni pritisak. Suprotno ovome, molekuli koje voda odbija razvijaju zbog veoma niskog stepena rastvorljivosti, prekomerni pritisak. Ti odnosi se mogu izraziti **Henrijevim zakonom**:

$$p_p = \frac{n}{k_r}$$

Gde su:  $p_p$  – parcijalni pritisak,

$n$  – koncentracija rastvorenog gasa

$k_r$  – koeficijent rastvorljivosti

Ova proporcionalnost se naziva **Henrijev zakon** o rastvorljivosti gasova i glasi: *Količina gase koja se rastvara u nekoj tečnosti je direktno proporcionalna parcijalnom pritiskutog gasa na zadatoj temperaturi.* Sa povećanjem pritiska povećava se i mogućnost tečnosti da rastvori neki gas, dok se sa povećanjem temperature taj kapacitet smanjuje. Razmotrimo šta se dešava u zatvorenoj posudi sa krvlju i  $O_2$ . Neki molekuli  $O_2$  se sudare sa krvlju i rastvore se. Nakon nekog vremena, broj molekula kiseonika koji odlaze sa krvi svake sekunde, je jednak broju koji ulaze u krv. Krv sa  $pO_2$  (parcijalnim pritiskom kiseonika), ima isti pritisak kao i  $O_2$  sa kojim je u kontaktu. Ako je udvostručena vrednost parcijalnog pritiska kiseonika sledi da će se udvostručiti i razloženi  $O_2$  u krvi.

Količina gase koja može da se rastvari u krvi veoma zavisi od vrste gase, tabela 1. Kiseonik nije jako rastvorljiv u krvi ili vodi. Pri telesnoj temperaturi litar krvne plazme sa  $pO_2$  od 13 kPa sadrži samo oko  $2,5 \text{ cm}^3 O_2$  pri normalnoj temperaturi i pritisku. Pri  $pCO_2$  od samo 5 kPa, krv će sadržati oko  $25 \text{ cm}^3 CO_2$  u svakoj litri. Ako bi telo zavisilo samo od rastvorenog kiseonika u plazmi koja snabdeva ćelije, srce bi moralo da pumpa 140 l krvi po minuti u miru, umesto 6 l/min, koliko je u stvarnosti. Postoji mnogo efikasniji metod transporta  $O_2$  i  $CO_2$  koji uključuje crvena krvna zrnca.

**Tabela 1. Koeficijent rastvorljivost različitih gasova pri pritisku 1 atmosfere**

Kiseonik	0,024
Ugljen-dioksid	0,57
Ugljen-monoksid	0,018
Azot	0,012
Helijum	0,008

Različita rastvorljivost ovih gasova utiče na njihov transport kroz alveolarni zid. Parcijalni pritisak svakog gasa u alveolarnoj gasnoj smeši nastoji da molekule tog gasa rastvori najpre u alveolarnoj membrani, a zatim u krvi alveolarnih kapilara. Sa druge strane, molekuli istog gasa koji su već rastvoreni u krvi, kreću se nasumice u tečnosti, tako da se neki od njih vraćaju u alveole. Brzina kojom molekuli izlaze iz rastvora direktno je proporcionalna njihovom parcijalnom pritisku u krvi.

Pravac difuzije određuje razlike između dva parcijalna pritiska. Ako je  $pO_2$  veći u gasnoj fazi u alveolama, što je normalno, više molekula će ići u krv nego u suprotnom smeru. Obrnuto, ako je pritisak gase veći u krvi, što je normalno za  $CO_2$ , onda će se difuzija odvijati prema gasnoj fazi u alveolama.

Na difuziju gasa u tečnosti utiču ne samo razlika u pritiscima nego i drugi faktori. To su (1) rastvorljivost gase u tečnosti; (2) površina preseka tečnosti; (3) udaljenost koju gas mora da pređe difuzijom; (4) molekulska masa gase; (5) temperatura tečnosti. U organizmu se temperatura održava stalnom, pa je ne treba uzimati u obzir. Što je rastvorljivost gase veća, za bilo koju razliku pritiska biće i više molekula koji mogu difundovati. Ako je veća površina difuzijskog puta, opet difunduje veći broj molekula. Međutim ako je veća udaljenost koju molekul mora da pređe, biće mu potrebno više vremena da procesom difuzije pređe taj put. Tako da što je veća brzina kinetičkog kretanja molekula, a ona je na dатој temperuri obrnuto proporcionalna kvadratnom korenu molekulske mase, veća je i difuzija gase. Svi ovi faktori se mogu izraziti formulom:

$$D \approx \frac{\Delta P \cdot A \cdot S}{d \cdot \sqrt{MW}}$$

gde su: D – veličina protoka;

$\Delta P$  – razlika u pritisku između dva kraja difuzijskog puta;

A – površina preseka puta;

S – rastvorljivost gase;

d – udaljenost koju gas mora da pređe difuzijom;

MW – molekulska masa gase.

Karakteristike samog gase određuju dva faktora u formuli: rastvorljivost i molekulska masa. Oni zajedno čine difuzijski koeficijent koji je proporcionalan sa  $\frac{S}{\sqrt{MW}}$ . Relativna brzina kojom će različiti

gasovi pri jednakom pritisku difundovati, proporcionalna je njihovom difuzijskom koeficijentu. Ako uzmemo da je difuzijski koeficijent za kiseonik 1, onda su relativni difuzijski koeficijenti za različite respiracione gasove u telesnim tečnostima dati u Tabeli 2.

**Tabela 2. Relativni difuzijski koeficijenti**

Kiseonik	1,0
Ugljen-dioksid	20,3
Ugljen-monoksid	0,81
Azot	0,53
Helijum	0,95

Azot nema nikakvu poznatu ulogu za funkcionisanje ljudskog tela, on ima zaštitničku ulogu. On se rastvara u krvi pri njegovom parcijalnom pritisku. Ronioci udišu pod vodom vazduh pod mnogo većim pritiskom nego na površini mora, i kao rezultat povećava se parcijalni pritisak  $N_2$  što prouzrokuje veću rastvorljivost azota u krvi i tkivima. Ako ronioc izroni previše brzo tada neki molekuli  $N_2$  mogu da formiraju mehuriće u zglobovima uzrokujući ozbiljne probleme pri savijanju zglobova.

Kod ugljen – monoksida (CO) otrovni molekuli CO se veoma lako vezuju za krv i zauzimaju mesta koja inače pripadaju kiseoniku. Imaju za oko 250 puta jaču vezu sa krv i nego kiseonik i veoma teško se razlažu u tkivu. Osim što zauzimaju mesta molekulima O<sub>2</sub>, molekuli CO smanjuju i otpuštanje O<sub>2</sub> iz krvi, tako da i najmanja količina ugljen – monoksida može veoma da osiromaši tkivo i ćelije kiseonikom. Pušači udišu oko 0,25 l CO pri svakoj kutiji, kao i ljudi koji učestvuju u veoma gustom drumskom saobraćaju. Ugljen-monoksid može da izazove smrt tako što „izglađnjuje“ tkiva.

### 3.2.3. Difuzija gasova u alveolama

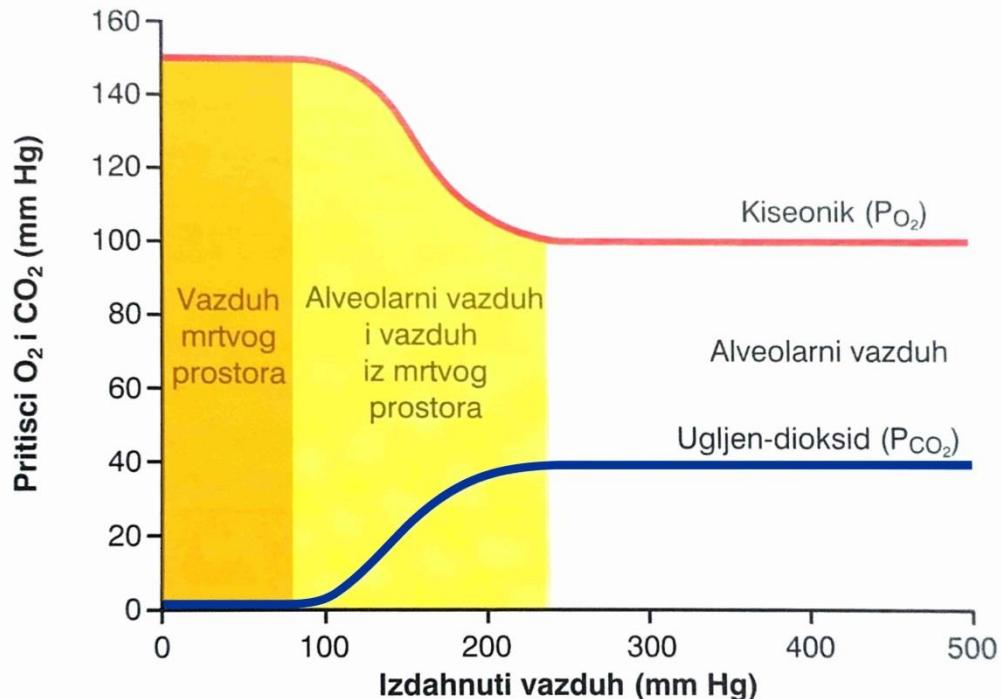
U alveolarnom vazduhu koncentracija gasova ni u kom slučaju nije ista kao u atmosferskom vazduhu, što se može videti iz tabele 3. Postoji više razloga za nastajanje te razlike. Prvo, prilikom svakog udisaja, alveolarni vazduh se samo delom zamenjuje atmosferskim vazduhom. Drugo, kiseonik se stalno apsorbuje iz alveolarnog vazduha u krv. Treće, ugljen – dioksid neprekidno difunduje iz krvi plućnih kapilara u alveole. I četvrto, suv atmosferski vazduh koji ulazi u disajne puteve, ovlaži se i pre nego što dođe u alveole.

**Tabela 3. Koncentracija gasova u različitim sredinama**

	Atmosferski vazduh (mm Hg)		Ovlažen vazduh (mm Hg)		Alveolarni vazduh (mm Hg)		Izdahuti vazduh (mm Hg)	
N <sub>2</sub>	597	(78,62%)	563,4	(74,09%)	569	(74,9%)	566	(74,5%)
O <sub>2</sub>	159	(20,84%)	149,3	(19,67%)	104	(13,6%)	120	(15,7%)
CO <sub>2</sub>	0,3	(0,04%)	0,3	(0,04%)	40	(5,3%)	27	(13,6%)
H <sub>2</sub> O	3,7	(0,50%)	47	(6,20%)	47	(6,2%)	47	(6,2%)
Ukupno	760	(100%)	760	(100%)	760	(100%)	760	(100%)

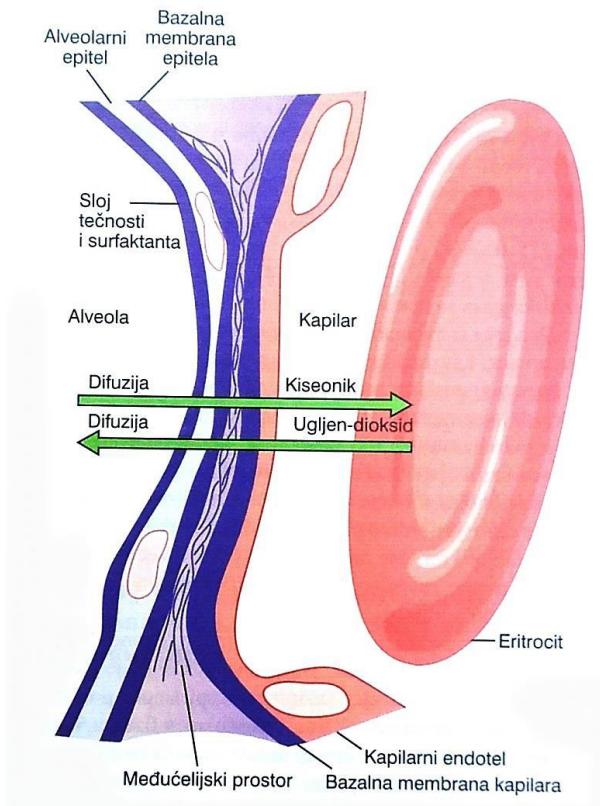
Kiseonik se razlaže u vlažnom zidu alveola i prolazi kroz njega i raspršuje se u kapilare sve dok pO<sub>2</sub> u krvi se ne izjednači sa pO<sub>2</sub> u alveolama. Ovaj proces traje manje od 0,5 s. Funkcionalni rezidualni kapacitet pluća (količina vazduha koja preostane u plućima na kraju normalnog ekspirijuma – izdisa) iznosi približno 2300 ml. Takođe znamo i da 350 ml svežeg vazduha stiže u alveole sa svakim normalnim inspirijumom – udisajem, a ista se količina starog alveolarnog vazduha izdiše. Prema tome svakim udisajem se zamenjuje samo 1/7 ukupne količine vazduha u alveolama iz vazduha, zato je potrebno više udisaja da se veći deo alveolarnog vazduha izmeni. Pri normalnoj ventilaciji alveola, približno polovina gasa se odstranjuje iz alveola za 17 sekundi. Pri normalnoj ventilaciji od 4,2 litra u minuti apsorbuje se 250 ml u minuti kiseonika.

Ugljen – dioksid se neprestalno stvara u organizmu, a zatim odlazi u alveole odakle se kontinuirano odstranjuje procesom ventilacije. On se još brže iz krvi pretvara u gas u alveolama sve dok se ne parcijalni pritisci iz krvi i alveola ne izjednače. Normalno izlučivanje  $\text{CO}_2$  iznosi 200 ml u minuti. Izdahnuti vazduh je mešavina vazduha iz mrtvog prostora i alveolarnog vazduha i zbog toga, njegov sastav određuje (1) deo vazduha iz mrtvog prostora i (2) deo alveolarnog vazduha.



Grafik 1. Parcijalni pritisci  $\text{O}_2$  i  $\text{CO}_2$  u različitim frakcijama normalnog izdahnutog vazduha

Grafik pokazuje kako se menjaju parcijalni pritisci kiseonika i ugljen – dioksida u izdahnutom vazduhu tokom ekspirijuma. Prvi deo tog vazduha je vazduh iz mrtvog prostora koji je tipično ovlažen vazduh, prikazan u tabeli 3. Zatim progresivno sve više alveolarnog vazduha se meša sa vazduhom iz mrtvog prostora sve dok se konačno sav vazduh iz mrtvog prostora ne izbaci napolje, kada se izdiše samo alveolarni vazduh na kraju ekspirijuma.



**Slika 4. Respiraciona membrana**

Alveolarni zidovi su veoma tanki i u njima se nalazi gusta mreža međusobno povezanih kapilara. Možemo zamisliti da krv kroz alveolarni zid protiče kao kroz veoma tanak „sloj“. Gasovi između alveolarnog vazduha i krvi u plućnim kapilarima razmenjuju se kroz membrane svih tih završnih delova pluća, a ne samo kroz alveole. Ove membrane su poznate pod zajedničkim imenom *respiraciona* ili *plućna membrana* i prikazana je na Slici 4. Uprkos velikom broju slojeva ova membrana u nekim područjima debljine svega  $0,2 \mu\text{m}$ .

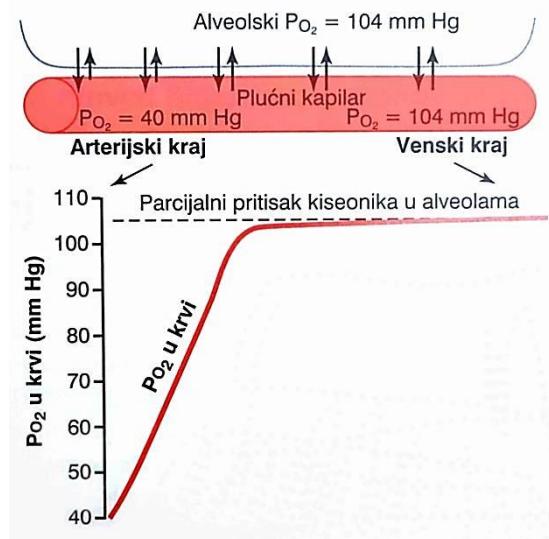
Prosečni prečnik plućnih kapilara je samo oko  $5 \mu\text{m}$ , što znači da se eritrociti moraju probijati kroz plućne kapilare. Zato membrana eritrocita uglavnom dodiruje zidove kapilara, tako da kiseonik i ugljen – dioksid ne moraju prolaziti kroz velik sloj plazme kada difunduju između alveole i eritrocita.

### 3.3. Transport O<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub> u krvi i tečnim tečnostima do ćelija i od njih

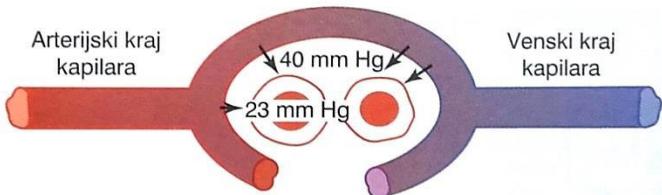
#### 3.3.1. Transport O<sub>2</sub>

Posle difuzije kiseonika iz alveola u krv plućnih kapilara, on se uglavnom vezuje za hemoglobin, transportuje do tkivnih kapilara odakle difunduje do ćelija koje ga koriste u razne svrhe. Prisustvo hemoglobina u eritrocitima, omogućuje krvi da transportuje od 30 do 50 puta više kiseonika, nego što bi se moglo transportovati da je kiseonik rastvoren u vodi plazme.

Veća količina kiseonika potrebna ćelijama, se prenosi u hemijskom jedinjenju sa **hemoglobinom** (Hb) u crvenim krvnim zrcanicima. Jedno crveno krvno zrnce (eritrocit), može da veže i prenese oko milion molekula kiseonika. Svakih 100 ml krvi normalno transportuje iz pluća oko 5 ml kiseonika. Pošto većina molekula kiseonika nije u rastvoru, zakoni difuzije su izmenjeni. Kiseonik će se vezivati ili odvajati od hemoglobina na način na koji je prikazan na Slici 5.



Slika 5. Transport O<sub>2</sub> kroz plućne kapilare



Slika 6. Prikaz pO<sub>2</sub> u tečnosti koji okružuju ćelije tkiva

Gornji deo Slike 5. pokazuje blizak kontakt plućne alveole i plućnog kapilara, i difuziju molekula kiseonika između alveolarnog vazduha i krvi plućnih kapilara. Parcijalni pritisak kiseonika u alveolarnom zidu je u proseku 104 mm Hg, dok pO<sub>2</sub> u venskoj krvi, koja ulazi u plućne kapilare, iznosi oko 40 mm Hg, budući da pri prolasku krvi kroz tkiva veliki deo kiseonika difunduje iz krvi u periferna tkiva. Od toga potiče početna razlika u pritiscima koja izaziva difuziju kiseonika u krv plućnih kapilara, iznosi 104-40 mm Hg tj. 64 mm Hg. Kriva u donjem delu slike pokazuje kako se brzo povećava pO<sub>2</sub> pri prolasku krvi kroz plućni kapilar; pO<sub>2</sub> u krvi plućnih kapilara se izjednačava sa pO<sub>2</sub> u alveolama (104 mm Hg) dok krv pređe prvu trećinu dužine kapilare.

To znači, da se krv u plućnim kapilarama zadržava tri puta duže nego što je potrebno za potpunu oksigenaciju, zato se krv i pri skraćenom vremenu prolaska kroz pluća za vreme teškog mišićnog rada može potpuno, ili gotovo potpuno oksigenisati u plućima.

Kada krv stigne do ćelije u kojoj se nalazi ugljen – dioksid, kiseonik se razvezuje od hemoglobina i ulazi u ćeliju. Ne napušta sav kiseonik hemoglobin, količina O<sub>2</sub> koji ostane zavisi od pO<sub>2</sub> tkiva. Kada mirujemo venska krv se vraća u srce sa oko 75 % kiseonika. On se zadržava u krvi jer nije potreban tkivima i organima. Tokom teškog fizičkog rada i vežbanja, situacija u mišićima se drastično menja. Kod aktivnih mišića nivo kiseonika u mišićima brzo opada što uzrokuje raskidanje veza između kiseonika i hemoglobina, i ulazak (difuziju) kiseonika u mišiće. Ako je potrebno, telo može da utrostruči brzinu protoka krvi u aktivne mišiće, koji mogu da potroše 10 puta veću količinu kiseonika nego kad miruju. Zbog snažnih otkucanja srca, čak i u mirovanju, kiseonik iz krvi koronarnih arterija se najviše troši na rad srca.

Kada arterijska krv dospe do perifernih tkiva njen pO<sub>2</sub> u kapilarama i dalje iznosi 95 mm Hg. Parcijalni pritisak kiseonika u tečnosti koji okružuje ćelije tkiva iznosi u proseku 40 mm Hg, što je prikazano na (Slici 6.). To znači da postoji ogroman početni gradijent pritiska, koji uzrokuje rapidnu difuziju kiseonika iz krvi u tkiva, usled čega se pO<sub>2</sub> u arterijskoj krvi vrlo brzo skoro izjednači sa pO<sub>2</sub> u tkivima. Zato vrednost pO<sub>2</sub> u krvi, koja izlazi iz tkivnih kapilara i ulazi u vene, iznosi oko 40 mm Hg. Kiseonik se stalno troši u ćelijama. Odvajanje kiseonika iz krvi zavisi i od parcijalnog pritiska ugljen-dioksida, zatim pH vrednosti (kiselosti) krvi i temperature. Tokom vežbanja ove tri veličine povećavaju svoju vrednost u aktivnim mišićima. Ova tri faktora zato i povećavaju nivo kiseonika u mišićima tokom vežbanja. U plućima se smanjuje pCO<sub>2</sub> preko ubrzanog disanja, čime je omogućeno hemoglobinu da veže više kiseonika. U mnogim tkivima ćelije su prilično udaljene od kapilara. Zbog toga pO<sub>2</sub> normalno varira od tako niskih vrednosti kao što je 5 mm Hg do visokih vrednosti od 40 mm Hg; njegova prosečna vrednost iznosi 23 mm Hg.

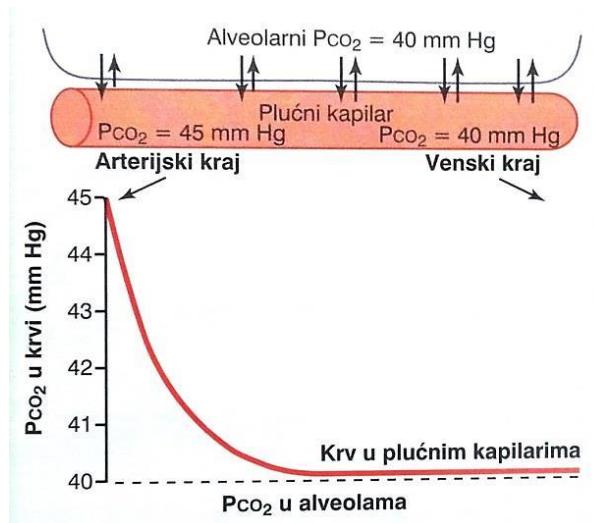
### 3.3.2. Transport CO<sub>2</sub>

U ćelijama tkiva, kiseonik reaguje sa raznima hranljivim supstancama, pri čemu se stvara velika količina ugljen-dioksida, koji difunduje u tkivne kapilare i transportuje se krvlju u pluća. Ugljen – dioksid se u krvi vezuje za hemijske supstance. Njegov transport krvlju ni iz daleka nije tako veliki problem kao transport kiseonika, jer se čak i u najvećem broju nenormalnih stanja CO<sub>2</sub> može transportovati u mnogo većim količinama nego kiseonik. U uslovima mirovanja, normalno svakih 100 ml krvi prenosi iz tkiva u pluća u proseku 4 ml CO<sub>2</sub>. Kada se u ćelijama stvara CO<sub>2</sub> raste njegov parcijalni pritisak pCO<sub>2</sub>, što izaziva difuziju ugljen – dioksida u tkivne kapilare. To se isto dešava i u alveolama, jer je pCO<sub>2</sub> u krvi plućnih kapilara veći nego u alveolama.

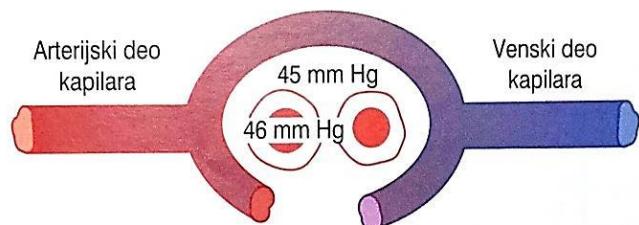
Postoji još jedna bitna razlika u difuziji ova dva gasa: *ugljen-dioksid difunduje oko 20 puta brže od kiseonika*. Zato su i gradijenti pritiska, koji su potrebni za difuziju ugljen – dioksida, mnogo manji od gradijenata pritisaka neophodnih za difuziju kiseonika. To su sledeći gradijenti pritiska:

- 1) Intercelularni  $pCO_2$  – oko 46 mm Hg; intersticijumski  $pCO_2$  – oko 45 mm Hg; znači razlika u pritiscima iznosi samo 1 mm Hg, kao što je prikazano na (Slici 8.).
- 2)  $pCO_2$  u arterijskoj krvi koja ulazi u tkiva – 40 mm Hg;  $pCO_2$  u venskoj krvi koja izlazi iz tkiva – oko 45 mm Hg; znači, kao što je pokazano na (Slici 8.), krv u tkivnim kapilarama je u skoro potpunoj ravnoteži sa intersticijumskim  $pCO_2$ , koji iznosi takođe 45 mm Hg.
- 3)  $pCO_2$  u krvi koja ulazi u plućne kapilare na arterijskom kraju – 45 mm Hg;  $pCO_2$  u alveolarnom vazduhu je samo 40 mm Hg; znači gradijent pritiska od samo 5 mm Hg je dovoljan da obezbedi neophodnu difuziju ugljen-dioksida iz plućnih kapilara u alveole. Osim toga, kao što se vidi sa (Slike 7.),  $pCO_2$  u kapilarnoj krvi pluća dostiže istu vrednost kao  $pCO_2$  u alveolarnom vazduhu od 40 mm Hg, pre nego što krv pređe jednu trećinu dužine kapilara. Isto se događa i pri difuziji kiseonika, kao što je rečeno, samo u suprotnom smeru.

U uslovima mirovanja, se izbacuje ugljen – dioksid u zapremini koja iznosi samo oko 82% zapremine kiseonika unetog plućima u organizam.



Slika 7. Transport  $CO_2$  kroz plućne kapilare



Slika 8. Prikaz  $pCO_2$  u tečnosti koji okružuju ćelije tkiva

### 3.4. Regulacija ventilacije

Nervni sistem, normalno podešava intenzitet alveolarne ventilacije skoro tačno prema potrebama organizma, tako da se parcijalni pritisci kiseonika i ugljen – dioksida gotovo ne menjaju ni pri intenzivnoj fizičkoj aktivnosti ili drugim tipovima respiratornih stresova. Respiratori centar čini nekoliko grupa neurona smeštenih u produženoj kičmenoj moždini. Disanje je jedna od retkih funkcija u organizmu, koja se može u okviru određenih granica, svesno (voljno) i nesvesno (nevolejno) kontrolisati. **Respiratori centar** prima *nervne, hemijske i hormonske kontrolne signale* i kontroliše brzinu i dubinu respiratornih pokreta dijafragme i ostalih respiratornih mišića (Slika 9.). Receptori igraju važnu ulogu u kontroli respiracije i to **hemoreceptori i mehanoreceptori**.

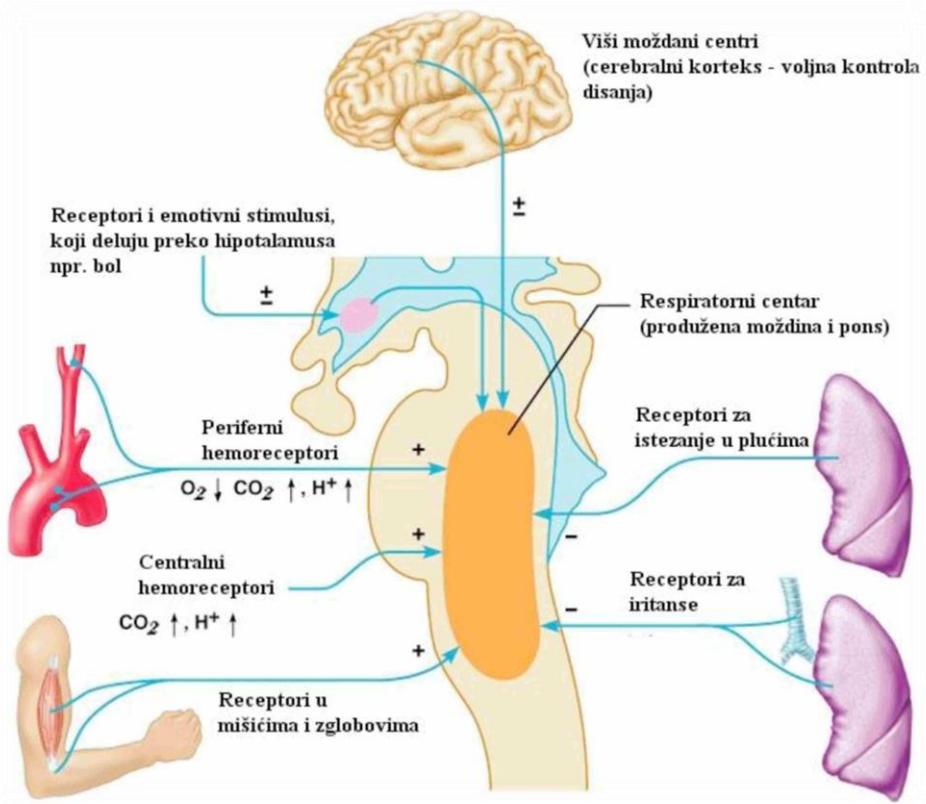
Hemoreceptor, je senzorni receptor, koji prevodi hemijski signal u akcioni potencijal tj. nervni signal. Hemoreceptor detektuje određene hemijske stimulanse u okolini. Hemoreceptori detektuju nivo ugljen-dioksida u krvi. Oni registruju koncentraciju  $H^+$  jona u krvi, koji određuju pH krvi. pH je negativan logaritam koncentracije  $H^+$  jona. Porast koncentracije ugljen – dioksida, dovodi do porasta koncentracije  $H^+$  jona što snižava pH, jer ugljen – dioksid sa vodom gradi ugljenu kiselinu, koja odmah disosuje na  $H^+$  jone i bikarbonate.

Mlečna kiselina, koja se stvara anaerobnom respiracijom tokom vežbanja takođe smanjuje pH. Pad pH u krvi stimuliše hemoreceptore u karotidnim i aortnim telašcima da šalju nervne impulse do respiratornog centra u produženoj moždini. Odgovor je, da respiratori centar u produženoj moždini, šalje nervne impulse do spoljašnjih međurebarnih mišića i dijafragme, preko nerava kako bi se povećala frekvencija disanja i volumen pluća tokom inspirijuma.

**Hemoreceptori**, koji utiču na frekvenciju disanja, podeljeni su u dve grupe:

1. *Centralni hemoreceptori* – detektuju promene pH cerebrospinalne (likvor) tečnosti koja je pokazatelj promene koncentracije kiseonika ili ugljen – dioksida, koji su dostupni moždanom tkivu. Porast  $pCO_2$  u arterijama, često zbog povećanog stvaranja ugljen – dioksida indirektno dovodi do zakišljavanja krvi. Ne odgovaraju na pad kiseonika i vremenom se desenzitivisu.

2. *Periferni hemoreceptori* – aortno telašce detektuje promene kiseonika i ugljen – dioksida u krvi, ali ne i pH, dok karotidno telašce detektuje sva tri. Oni se ne desenzitivisu. Njihov efekat na frekvenciju disanja je manji od centralnih hemoreceptora.



Slika 9. Regulacija ventilacije

Hemoreceptori u produženoj moždini, karotidnim arterijama i aortnom luku registruju nivo ugljen – dioksida u krvi i kao odgovor na njegovu visoku koncentraciju šalju se impulsi do kardio – vaskularnog centra u produženoj moždini i preko simpatičkih ganglija do sinoatrijalnog čvora, stimulišući ga da poveća srčanu frekvencu.

Periferni hemoreceptori pre svega detektuju varijacije koncentracije kiseonika u krvi dok prate i arterijski ugljendioksid i pH. Oni su smešteni u aortnom i karotidnom telašcu, koji se nalaze u aortnom luku i zajedničkoj karotidnoj arteriji. Karotidna telašca su najosetljivija na promene parcijalnog pritiska kiseonika i pH. Arterijska telašca su najosetljivija na sastav arterijskog kiseonika. A nasuprot njima, centralni hemoreceptori su relativno neosetljivi na koncentraciju kiseonika.

Signalni od perifernih hemoreceptora do moždanog stabla se stalno šalju. Sa padom parcijalnog pritiska kiseonika i plazminog pH, signali se pojačavaju i dovode do porasta frekvencije disanja.

**Mehanoreceptori** su senzorni receptori, koji reaguju na mehanički pritisak. Oni se nalaze u vazdušnim putevima i parenhimu i odgovorni su za brojne refleksne odgovore:

- Hering – Breuer-ov refleks, koji prekida inspiraciju kako bi sprečio prepunjavanje pluća vazduhom i kao refleksni odgovor se javljaju kašljivanje, konstrikcija vazdušnih puteva i hiperventilacija.
- Receptori u gornjim vazdušnim putevima su odgovorni za refleksne odgovore kao što su kikanje, kašljivanje, zatvaranje glotisa i štucanje.

- Odgovori refleksa kičmene moždine uključuju aktivaciju dodatne respiratorne muskulature kao kompenzaciju za hipoventilaciju i povećanje disajne frekvencije i volumena.
- Nazopulmonalni i nazotorakalni refleks regulišu mehanizam disanja produbljivanjem udaha.

Respiratori centar predstavlja nevoljnu kontrolu respiracije. Na respiraciju mogu da utiču i emocionalno stanje ili temperatura. Cerebralni korteks predstavlja voljnu kontrolu disanja, mada hemoreceptorski refleks može da nadvlada voljnu kontrolu. Voljna kontrola disanja se sreće u mnogim oblicima meditacije. U plivanju, kardiofitnessu, pevanju, uči se da se kontroliše dah, prvo svesno, a zatim i podsvesno. Ljudski govor isto zavisi od svesne kontrole disanja.

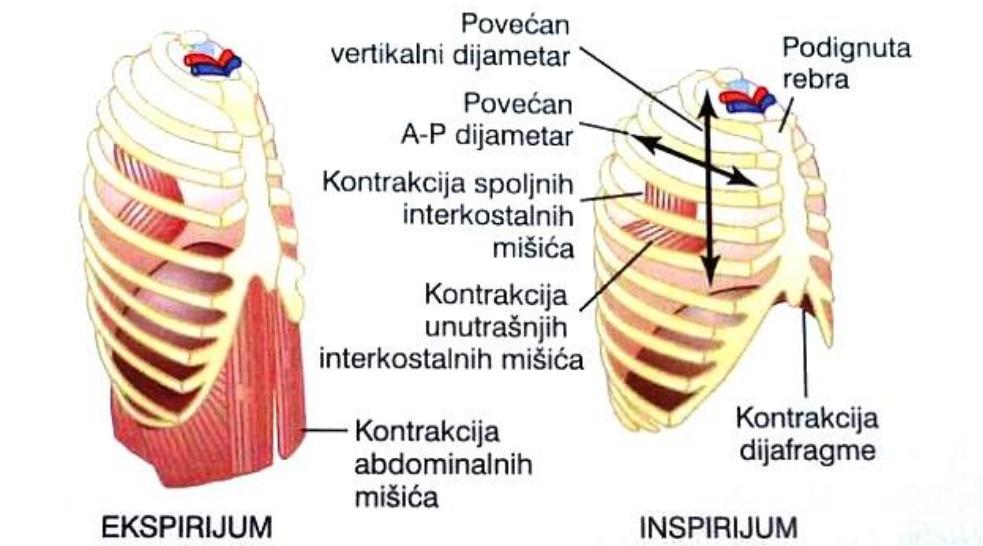
### 3.5. Mehanika disanja

Mehanika plućne ventilacije se najbolje objašnjava primenom **Bojl-ovog zakona**, koji glasi: **zapremina date količine gasa pri konstantnoj temperaturi varira obrnuto sa pritiskom gasa**. Drugim rečima, ako se zapremina gase povećava na konstantnoj temperaturi, pritisak gase se smanjuje. Ako se zapremina smanjuje, onda se pritisak povećava. Matematički, proizvod pritiska i zapremine gase pri konstantnoj temperaturi su sami po sebi konstantni ( $pV = k$ ). Ako je  $p = 6$  i  $V = 3$  onda je  $k = 18$ . Ako se  $p$  smanji na 2,  $V$  se mora povećati na 9, jer je vrednost  $k = 18$  dok je temperatura konstantna.

Pluća su zaštićena grudnim košom, koji se sastoji od grudne kosti, rebara, kičmenog stuba i dijafragme. Tkiva grudnog kaveza formiraju grudni koš koji je podeljen na više manjih delova i zaštićen je membranom grudnog koša. Pluća su prekrivena tankom membranom koja se zove plućna maramica. Na koren svakog pluća, gde su bronhije, visceralna plućna maramica, prekriva pluća i podmazuje membranu koja se graniči sa grudnim košom i pokriva deo dijafragme. Normalno, svako plućno krilo potpuno ispunjava svoju pleuralni šupljinu koju obrazuje plućna maramica .

Pleuralna membrana omogućava plućima da slobodno klize u pleuralnoj šupljini u toku respiratornog ciklusa. Prostor između grudne i plućne maramice, koji se zove pleuralni prostor, je samo prazan prostor. Naravno, samo tanak sloj pleuralne tečnosti za podmazivanje razdvaja dva sloja plućne maramice. Pleuralne šupljine su hermetički zatvorene i čine deo grudne šupljine. Međutim, unutrašnjost pluća je otvoren za vazduh preko disajnih puteva. Stoga, kad god se grudni koš povećava, pleuralna šupljina se zajedno sa plućima takođe uvećava .

Pluća se mogu rastezati i skupljati. Promene u obimu grudnog koša nastaju usled kontrakcija skeletnih mišića koji izazivaju pomeranje disajnih organa. Oni su proizvoljno podeljeni u dve grupe. **Inspiratori mišići** se kontrahuju i povećavaju obim grudnog koša . Dijafragma i spoljni medjurebrani mišići su najvažniji predstavnici ovih mišića. **Ekspiratori mišići** se kontrahuju i smanjuju obim grudnog koša. Najvažniji predstavnici ovih mišića su stomačni (abdominalni) mišići i unutrašnji međurebarni mišići. (Slika 10. Mehanika disanja)



Slika 10. Mehanika disanja

**Početkom inspirijuma (udisaja)**, grudni koš se proširuje kontrakcijom dijafragme i spoljnih međurebranih mišića. Dijafragma, koja je u obliku kupola (padobrana) u stanju mirovanja, postaje ravnija kada se mišićna vlakana kontrahuju, povlači donju površinu pluća naniže, čime se povećava obim grudnog koša. Spoljni međurebrani mišići podižu rebra koja se isture skoro direktno napred, pa se i grudna kost pomera napred udaljavajući se od kičmenog stuba, čime se kao neka vrsta proširenja prečnika povećava i obim grudnog koša.

Povećanje grudnog obima pratio je povećanjem plućnog obima, i prema Bojlovom zakonu, smanjenju plućnog pritiska. Čim plućni pritisak padne ispod atmosferskog pritiska, vazduh struji iz atmosfere kroz disajne puteve i u proširene vazdušne prostore u plućima i nastavlja da teče dok plućni pritisak ponovo ne postane jednak atmosferskom pritisku. Na kraju udisaja, plućni pritisak je jednak atmosferskom pritisku i protok vazduha prestaje, i plućna zapremina je veća nego na početku udisaja. Tokom inspirijuma (udisaja) alveole se uvećavaju i ulazi nov svež vazduh.

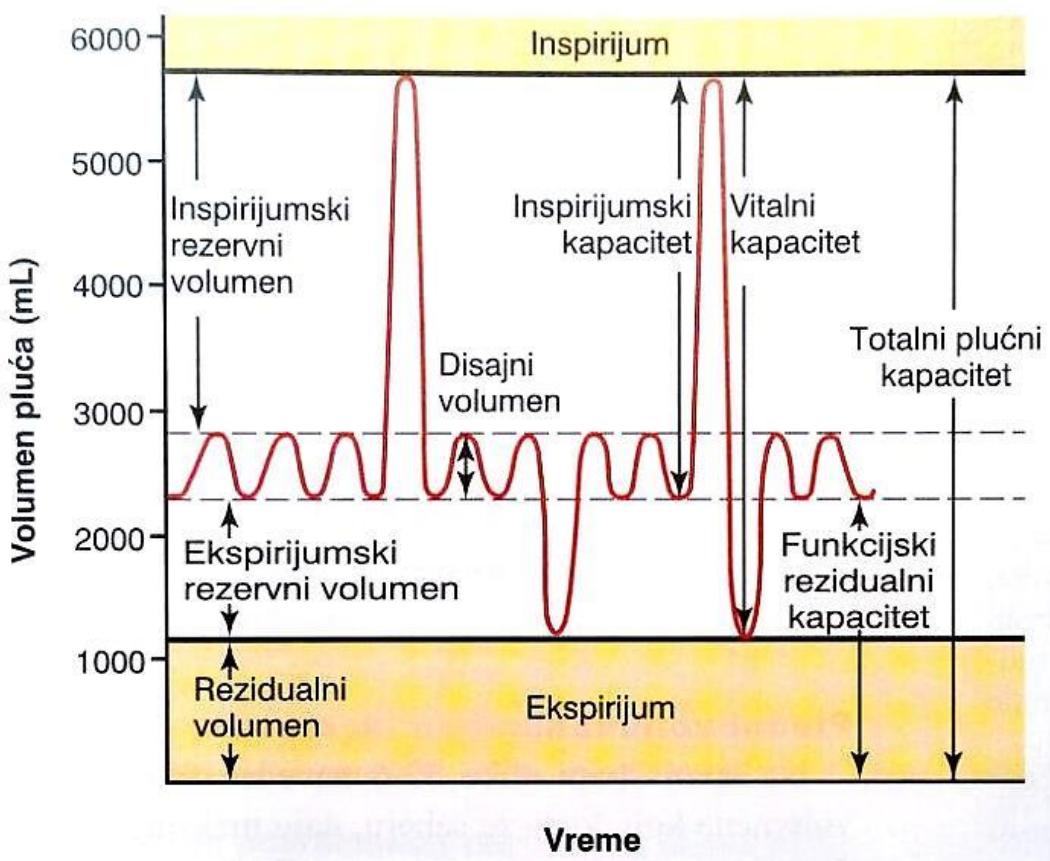
**Ekspirijum (izdisaj) počinje** kada se mišići inspirijuma opuštaju. Dijafragma se vraća u prvobitni oblik, smanjuje grudni koš i unutrašnji obim pluća. Relaksacija od eksternog širenja omogućava rebrima da se vrate u njihov položaj u stanju mirovanja, čime se smanjuje prečnik, a samim tim i obim grudnog koša i pluća. Rebra se upravljuju nadole, a spoljašnji međurebarni mišići se pružaju napred i nadole. Unutrašnji međurebarni mišići spuštaju rebra i dovode do smanjenja zapremine grudnog koša.

Smanjenje unutrašnjeg volumena pluća je pratio povećanjem plućnog pritiska. Tokom ekspirijuma (izdisanja) alveole postaju manje, ispuštajući neke od gasova nazad u atmosferu. Čim vrednost plućnog pritiska poraste iznad atmosferskog pritiska, strujanje vazduha ka plućima prestaje i vazduh struji u atmosferu, nastavljajući da teče dok plućni pritisak ne bude ponovo jednak sa atmosferskim pritiskom. Proces koji obuhvata stalno i ciklično kretanje vazduha u i iz respiratornog drveta se zove **plućna ventilacija**.

### 3.6. Plućni volumeni i kapaciteti

Pluća imaju izuzetan rezervni volumen kada se uporedi sa tim kolika nam je razmena gasova u miru. Taj višak kapaciteta je jedan od razloga zašto neko može da puši godinama bez vidljivog oštećenja plućne funkcije. Isto tako, zato je moguće da se živi sa samo jednim plućima. Kako potreba za kiseonikom raste, veći deo pluća se perfunduje zadovoljavajući potrebu tela za kiseonikom. Volumen pluća ili kapacitet zavise od oblika i konstitucije grudnog koša, kao i od elastičnosti samog tkiva.

1. ***Disajni volumen (TV)*** („tidal“ volumen) je volumen vazduha koji se udahne ili izdahne prilikom svake normalne respiracije i iznosi oko 500 ml.
2. ***Inspiratorni rezervni volumen (IRV)*** je maksimalni, dodatni volumen vazduha, koji se može udahnuti maksimalnom inspiracijom posle udisaja normalnog disajnog volumena. U stanju mirovanja je oko 3.300 ml kod mladih odraslih muškaraca i 1900 ml kod mladih odraslih žena.
3. ***Ekspiratorni rezervni volumen (ERV)*** je maksimalni, dodatni volumen vazduha, koji se posle normalnog ekspirijuma može izdahnuti forsiranom ekspiracijom. U stanju mirovanja je oko 1100 ml kod mladih odraslih muškaraca i 700 ml kod mladih odraslih žena.
4. ***Rezidualni volumen (RV)*** je volumen vazduha, koji ostaje u plućima i posle najsnažnijeg izdisaja. Taj volumen iznosi prosečno oko 1200 ml. Vrednosti kod prosečne odrasle osoba je 1200 ml za muškaraca i 1100 ml za žene.



Slika 11. Volumeni i kapaciteti

Svi plućni volumeni i kapaciteti (Slika 11.) su oko 20 – 25% manji kod žena nego kod muškaraca, a očigledno su veći kod krupnih i atletski građenih osoba nego kod sitnih i asteničnih osoba. Zapremina ostatka RV odražava činjenicu da posle prvog udaha na rođenju, pluća nikada nisu u potpunosti ispraznjena tokom bilo kog respiratornog ciklusa. **Minutni volumen disanja** je ukupna količina vazduha, koji svakog minuta dospe u disajne puteve i jednak je proizvodu disajnog volumena i frekvencije disanja. Normalni disajni volumen iznosi oko 500 ml, a normalna frekvencija disanja oko 12 udisaja u minutu. Prema tome, minutni volumen disanja **iznosi oko 6 litara u minutu**.

Najznačajniji faktor u procesu plućne ventilacije je onaj koji označava koliko se vazduha obnavlja atmosferskim vazduhom u područjima pluća gde se vrši razmena gasova, u područjima gde se vazduh nalazi jako blizu kapilarnoj krvi. To su alveole, alveolarni sakulusi, alveolarni duktusi i respiratorne bronhiole. Količina svežeg vazduha koji stiže u ta područja naziva se alveolarna ventilacija.

Deo udahnutog vazduha u toku inspirijuma, uopšte ne stigne do područja gde se obavlja razmena gasova, već samo ispunji disajne puteve u kojima se ne obavlja gasna razmena. Taj vazduh se zove *vazduh mrtvog prostora*, jer se ne koristi u procesu razmene gasova, disajni putevi u kojima nema razmene gasova zovu se *mrtvi prostor*. U toku ekspirijuma, prvo se izdahne vazduh iz mrtvog prostora, dakle, pre nego što vazduh iz alveola uopšte počne izlaziti u atmosferu. Prema tome, mrtvi prostor deluje nepovoljno u toku odstranjivanja vazduha iz pluća ekspiracijom. Vazduh u normalnom mrvtom prostoru, kod mladog, odraslog muškarca, zauzima zapreminu od oko 150 ml i taj volumen se sa godinama malo povećava.

Pored ovog anatomskega mrtvog prostora, postoji i fiziološki mrtav prostor, koji se odnosi na situaciju kad neke alveole ne mogu obavljati svoju funkciju ili je obavljaju samo delimično, jer krv ne protiče ili protiče samo oskudno kroz kapilare u tom području pluća. Kod normalnog čoveka anatomski i fiziološki mrtav prostor su gotovo podjednaki tj. ne postoji alveolarni mrtav prostor, jer sve alveole obavljaju svoju funkciju.

Minutni volumen alveolarne ventilacije je ukupni volumen svežeg vazduha, koji svakog minuta ulazi u alveole i susedna područja gde se vrši razmena gasova. Jednak je proizvodu frekvencije disanja i količine svežeg vazduha, koji ulazi u alveole prilikom svakog udisaja:

$$VA = f \cdot (TV - VD) = 12 \cdot (500 - 150) \frac{ml}{min} = 4200 \frac{ml}{min}$$

Gde su: **VA** - minutni volumen alveolarne ventilacije

**f** - frekvencija disanja u minuti

**TV** - disajni volumen

**VD** - volumen fiziološkog mrtvog prostora

Alveolarna ventilacija je jedan od glavnih faktora od kojih zavisi koncentracija kiseonika i ugljen – dioksida u alveolama. Pri opisivanju zbivanja pri disajnom ciklusu, ponekad je poželjno razmotriti zajedno dva ili više volumena i takve kombinacije se nazivaju plućni kapaciteti. Kapacitet pluća je zbir dva ili više primarnih funkcija pluća. Postoji pet plućnih kapaciteta, koji mogu biti izračunati kao što je prikazano u nastavku :

1. **Inspiratori kapacitet (IC)**, jednak je zbiru disajnog volumena i inspiratornog rezervnog volumena..

$$IC = TV + IRV$$

To je količina vazduha čija normalna vrednost iznosi oko 3.5 l, koju čovek može udahnuti počev od kraja normalnog ekspirijuma i rastegnuti pluća do najveće moguće mere

2. **Ekspiratorni kapacitet (EC)**, jednak je zbiru respiratornog i rezervnog ekspiratornog volumena.

$$EC = TV + ERV$$

To je maksimalni volumen vazduha, čija je normalna vrednost oko 1,5 l, koji se može izdahnuti maksimalnom ekspiracijom nakon inspirijuma u mirovanju.

3. **Funkcionalni rezidualni kapacitet (FRC)**, jednak je zbiru ekspiratornog rezervnog volumena i rezidualnog volumena

$$FRC = ERV + RV$$

To je količina vazduha, koja ostaje u plućima na kraju normalnog ekspirijuma, i ta vrednost iznosi oko 2,3 l.

4. **Vitalni kapacitet (VC)**, jednak je zbiru inspiratornog rezervnog volumena, disajnog volumena i ekspiratornog rezervnog volumena. Normalna vrednost iznosi oko 4.6 l.

$$VC = IRV + TV + ERV = IC + ERV$$

To je maksimalna količina vazduha, koju čovek može izdahnuti iz pluća i to tako što najpre maksimalno udahne, pa da maksimalno izdahne.

5. **Totalni plućni kapacitet (TLC)** je maksimalni volumen do kog se pluća mogu rastegnuti najvećim inspiratornim naporom i njegova normalna, prosečna vrednost iznosi 5.8 l i jednak je zbiru vitalnog kapaciteta i rezidualnog volumena.

$$TLC = VC + RV$$

Jednostavan način za ispitivanje plućne ventilacije je merenje volumena pri kretanju vazduha u pluća i iz njih. Proces je nazvan **spirometrija**.

## 4. Spirometrija

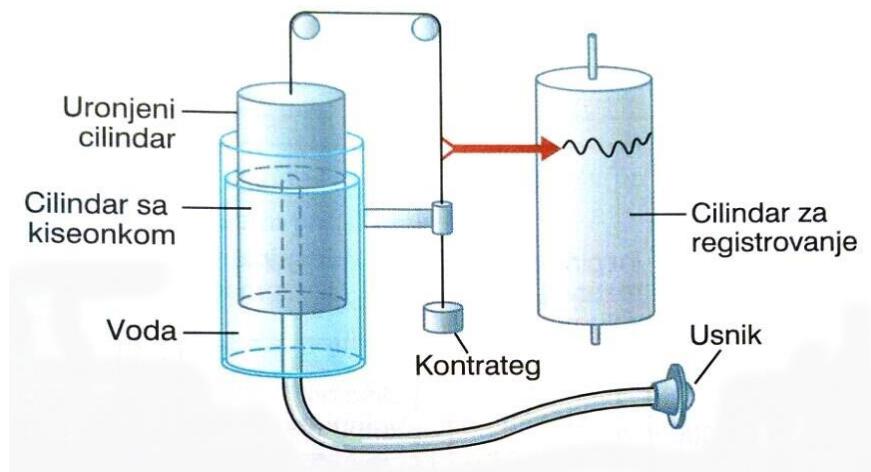
Merenja disajne funkcije su davno počela, još polovinom 19. veka. U to vreme se počelo sa tumačenjima testova, i njihovom primenom, a potom se „umešala“ i tehnologija koja je omogućila da postane dostupno ono što je ranije bilo teško mereno. Računari su, potom, omogućili još brža merenja, pa se danas primenjuju metode kojima se iz samo jednog udaha mogu dobiti podaci koji su ranije zahtevali mnogo rada. Ispitivanja disajne funkcije – merenja i testovi – ima brojne svrhe, pre svega, da pokaže kako pluća u celini rade, ali i da nas „dovede“ do tačnog mesta poremećaja.

**Osnovni test disajne funkcije jeste spirometrija** (merenje vitalnog kapaciteta pluća) nakon koje se postepeno, uključuju i drugi testovi koji treba bliže da odrede šta se dešava u plućima – ne samo da li postoji poremećaj nego i gde se dogodio i kog je stepena, da li je promenljiv, da li se terapijskim postupcima može uticati na tu promenu itd.

**Spirometrijom se mere i protoci kroz disajne puteve.** Pacijent treba da udahne punim plućima i da što brže i jače izduva sav vazduh. Taj forsirani manevr inače nije prirodan, ali numerički podaci koje test daje pokazuju da li je protok vazduha očekivan, ili smanjen u odnosu na prosečne vrednosti usled nekog poremećaja – astme, hronične opstruktivne bolesti, tumora. Dovoljno je, recimo, da je osoba pušač, i to ne dugog pušačkog staža, pa da se protočnost disajnih puteva smanji, jer za oštećenja malih disajnih puteva ne treba više od godinu dana pušenja.

### 4.1. Spirometar

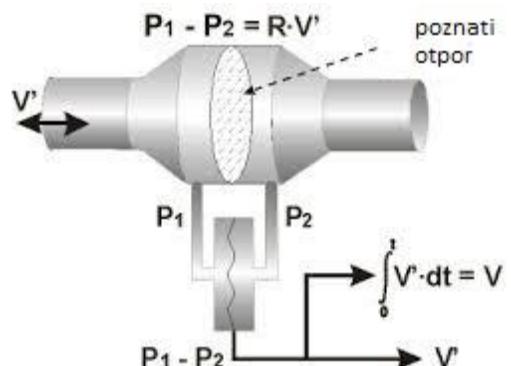
Količina vazduha koju osoba udahne i izdahne može biti izmerena sa **spirometrom** ( spiro = dah , metar = za merenje ). Relativno jednostavan instrument se koristi za merenje protoka vazduha u i iz pluća. Tipičan spirometar je prikazan na Slici 12.



Slika 12. Spirometar

Sastoji se od cilindra koji je uronjen naglavačke u sud sa vodom, i kontratega. U cilindru se nalazi mešavina gasova za udisanje, obično vazduh ili kiseonik, a jedna cev je spojena sa tom komorom sa gasovima. Teg, povezuje zvono sa olovkom koja beleži na rotirajućem bubenju pri konstantnoj brzini. Prilikom pojedinačnog udisanja i izdisanja vazduha iz komore, cilindar se podiže i spušta, a na hartiji rotirajućeg bubnja se beleži kriva podataka. Tokom inspirijuma, vazduh se troši iz zvona i olovka raste, beležeći inspiratori volumen. Tokom ekspirijuma, dok izdisajni vazduh ulazi u zvono, olovka pada i beleži se izdisajni volumen. Zapisan rezultat volumena u jedinici vremena se zove **spirogram**.

Ovaj metod merenja plućne funkcije, je u novije vreme povezan sa kompjuterskim programima, koji automatski računaju sve brojčane vrednosti. Spirometri se takođe zasnivaju na merenju protoka, gde je volumen kalkulisan integracijom protoka u funkciji vremena. Najčešće se za tu svrhu koriste spirometri sa pneumotahografom. Pneumotahograf meri volumen na osnovu razlike pritisaka preko fiksног otpora, a zasniva se na **Poazejevom (Poiseuille)** zakonu po kojem je, ***pod kapilarnim uslovima, u čvrstoj cevi, protok zapremine vazduha je proporcionalan gubitku pritiska po jedinici dužine*** (Slika 13.). Pneumotahograf, je posebno dizajniran u vidu levka, kako bi postigao laminarno kretanje i pri visokim vrednostima protoka vazduha. Danas, se najčešće koriste pneumotahografi sa zagrejanom finom mrežom. Pad pritiska uzrokovani otporom, daje protok koji se transformiše u integrisani volumen po jedinici vremena. Na taj način se dobijaju parametri plućne ventilacije. Podaci se dobijaju u obliku spirometrijske krivulje ili krivulje u koordinatnom sistemu.



Slika 13. Pneumatograf- Transdjuser

## 5. Biopac sistem

---

*Biopac* student lab sistem je proizведен od strane *BIO PAC Systems Inc. Goleta, California*. Predstavljen je 1995. god kao zamena za zastarele pisače i osciloskope koji su bili u širokoj upotrebi u studentskim laboratorijama. Napredak jeftinijih personalnih kompjutera, je značio da starije analogne tehnike, mogu biti zamenjene sa moćnjim i ne tako skupim kompjuterizovanim alternativama.

Studenti u laboratorijama koriste *Biopac* sistem da snimaju podatke sa svojih tela, životinja ili tkivnih preparata. ***Biopac sistem sačinjavaju hardver, softver i raspored za preko šezdeset eksperimenata, koje studenti koriste za proučavanje kardiovaskularnog sistema, mišića, plućnih funkcija, autonomnog nervnog sistema i mozga.***

*Biopac* sistem sadrži hardver za sakupljanje podataka sa ugrađenim univerzalnim pojačivačima za snimanje i obradu električnih signala iz srca, oka, mišića, živaca, mozga, respiratornog sistema i tkivnih preparata (Slika 14.). Ovaj sistem za prikupljanje podataka, dobija signale iz elektroda i transdžusera. Električni signal, je jako mali sa amplitudama ponekad i reda veličine  $\mu\text{V}$ , zato hardver pojačava taj signal, filtrira neželjeni električni šum ili smetnje, i konvertuje signale u set brojeva koje kompjuter može da pročita. Zatim te brojeve prikazuje na monitoru u formi talasa.

Sistem za prikupljanje podataka se povezuje za *PC* koji koristi *Windows* ili *Macintosh* putem USB priključka. Elektrode i transdžuseri imaju senzore, koji dozvoljavaju softveru da osigura da studenti koriste prave dodatke i uzimaju dobre podatke. Softver vodi studente putem instrukcija na ekranu i detaljnog uputstva koje prati naučni metod. Kada studenti prikupe podatke onda koriste analitičke alate za merenje amplituda i frekvencija i širokog spektra drugih parametara električnih signala. Proces obrade podataka, omogućava studentima da prave opšta poređenja podataka. Mogu da porede svoje rezultate sa normalnim vrednostima parametara u organizmu, ili sa vrednostima pre nego što subjekt obavi neki zadatak i posle toga.

Takođe mogu da porede rezultate i sa ostalim studentima u laboratoriji. Softver je dostupan na engleskom, francuskom, španskom, italijanskom, japanskom i kineskom jeziku. Hiljade fakultetskih laboratorijskih širom sveta, pa tako i laboratorijski Departmana za fiziku na Prirodno-matematičkom fakultetu u Novom Sadu, koriste *Biopac* student lab sistem za učenje: fiziologije, farmakologije, biologije, neurologije, psihologije, psihofiziologije, medicinskog bioinženjeringu i medicinske fizike. Proizvođač je takođe obezbedio i teorijske pripreme i detaljna uputstva za izvođenje vežbi kao i obradu podataka.



Slika 14. Biopac sistem

Kao glavni zadatak ovog diplomskog rada navedena je spirometrija na *Biopac student lab* sistemu. Da bih na najbolji način pokazala merenje plućnih funkcija, odabrala sam da izvedem merenja i obradu podataka dve studentske vežbe i u ovom poglavlju ću ih prezentovati.

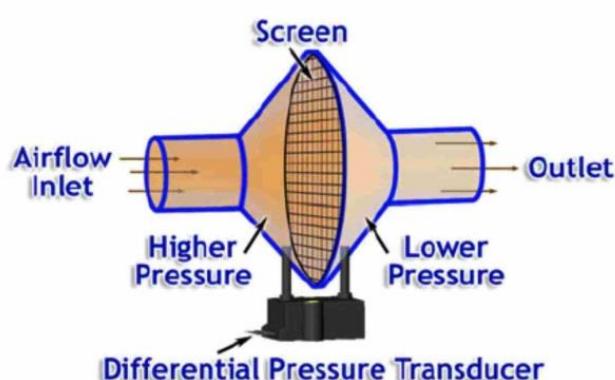
Merenja su izvršena u laboratoriji na Departmanu za fiziku, a obrada podataka i diskusija se sastoji iz odgovora na specifičan set pitanja koja su pripremljena od strane proizvođača u sklopu *Biopac student lab* sistema. Obrađene su studentske vežbe 12 i 13.

## 5.1. Vežba 12: Plućna funkcija I

### 1. UVOD

Vazduh struji kroz zatvorenu cev, koja je podeljena sitnom membranom. Membrana stvara blagi otpor protoku vazduha čime se postiže veći pritisak na jednoj strani (Slike 13 i 15). Diferencijalni transdžuser pritiska meri razliku pritiska, koji je proporcionalan protoku vazduha i pretvara ga u napon, koji se zatim snima na *Biopac MP* jedinicama.

Kada je završeno snimanje protoka vazduha, sistem računa zapreminu integracijom podataka o protoku vazduha. Ova tehnika integrisanja podataka je jednostavna metoda za dobijanje zapremine, ali je veoma osetljiva na kalibraciju. Iz tog razloga procedure kalibracije i snimanja moraju biti veoma tačno izvedeni kako bi se dobili što tačniji rezultati.



Slika 15. *Biopac* - transdžuser

U ovoj vežbi se mere:

- disajni volumen (TV)
- inspiratorički rezervni volumen (IRV)
- ekspiratorički rezervni volumen (ERV).

Veličine koje se računaju iz izmerenih vrednosti volumena su:

1. rezidualni volumen (RV)
2. inspiratorički kapacitet (IC)

3. ekspiratori kapacitet (EC)
4. funkcionalni rezidualni kapacitet (FRC)
5. vitalni kapacitet (VC)
6. totalni plućni kapacitet (TLC)

Sledeće formule (Tabela 4) se mogu koristiti za predviđanje vitalnih kapaciteta kod muskaraca i žena.

**Tabela 4. Formule za predviđanje vitalnih kapaciteta**

Jednačine za izračunavanje vitalnog kapaciteta	
Muškarci	$V.C. = 0,052 \cdot H - 0,022 \cdot A - 3,60$
Žene	$V.C. = 0,41 \cdot H - 0,018 \cdot A - 2,69$

*Gde su:*      **V.C.**    vitalni kapacitet u litrama  
**H**               visina u centimetrima  
**A**               godine

Vitalni kapacitet zavisi i od drugih faktora, a ne samo od visine i godina. Ako se izmereni vitalni kapacitet ne razlikuje za  $\pm 20\%$  od vrednosti izračunatog vitalnog kapaciteta to se smatra vrednostima u granicama normale.

## I. CILJ VEŽBE:

- 1) Eksperimentalno utvrđivanje, snimanje i/ili izračunavanje određenih plučnih volumena i kapaciteta.
- 2) Poređenje utvrđenih vrednosti volumena i kapaciteta sa srednjim vrednostima.
- 3) Upoređivanje normalnih vrednosti plučnih volumena i kapaciteta subjekta u zavisnosti od pola, godina, visine i težine.

## II. APARATURA:

- BIOPAC Transdijuser protoka vazduha (SS11LA)
- BIOPAC Bakteriološki filter (AFT1): jedan po subjektu. Ako se koristi kalibracioni špric, jedan i za špric.
- BIOPAC Pisak za jednokratnu upotrebu (AFT2)
- BIOPAC Štipaljka za nos (AFT3)
- BIOPAC Kalibracioni špric: 0,6-Litara (AFT6 ili AFT6A+AFT11A) ili 2-Litara (AFT26)
- Biopac Student Lab Sistem: BSL 4 softver, MP36, MP35 ili MP45 hardver
- Kompjuterski Sistem (Windows 8, 7, Vista, XP, Mac OS X 10.5 – 10.8)



Slika 16. Izgled aparature i priključci

### III. EKSPERIMENT

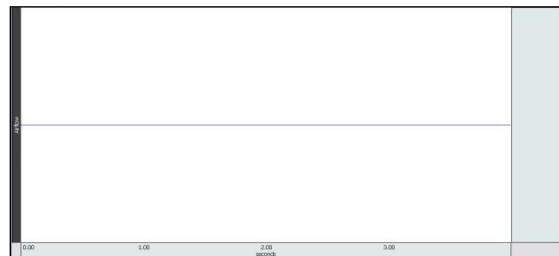
#### 1. Kalibracija

Prvo se uključuje kompjuter i Biopac student lab zadata vežba "Plućna funkcija I" i povezuje se aparatura. Pristupa se kalibraciji. Kalibraciju određuju parametri hardvera i od ključnog su značaja za dobro izvođenje vežbe.

Kalibracija počinje mirnim držanjem transdjsusera (Slika 17) a kao rezultat bi trebalo da se dobije "nula" na osnovnoj liniji (Slika 18). Bilo koji pomeraj osnovne linije tokom kalibracije, može da uzrokuje grešku pri ispitnikovom snimku. Pomeraj sa osnovne linije se može javiti usled: protoka vazduha kroz sondu usled pokreta, prašine ili čak usled disanja pored sonde; promene orijentacije sonda. Sonda se mora držati mirno i u istom pravcu u kom će se držati i tokom snimanja. Ova faza kalibracije traje od 4 do 8 sekundi.



Slika 17. Transdjsuser



Slika 18. Klaibraciona slika - faza prva

Druga faza kalibracije – pričvrstiti kalibracioni špric (slika 19) i filter na transdjsuser (slika 19) protoka vazduha. Skroz izvući klip kalibracionog šprica. Ciklus povlačenja i guranja klipa traje pet puta (10 pokreta ukupno, slika 19. i 20)



Slika 19. Kalibracioni špric i montaža



Slika 20. Ciklus povlačenja šprica

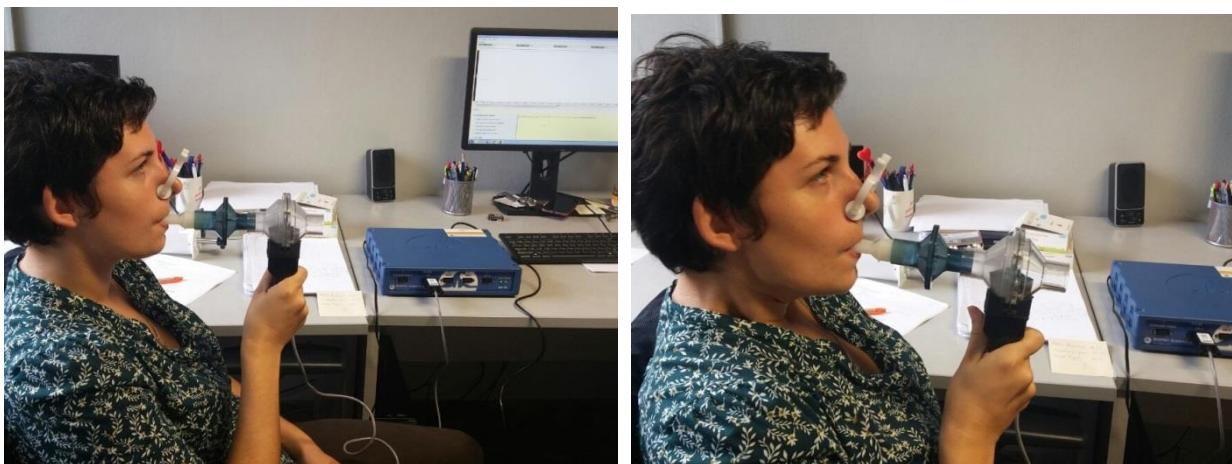
Izvršiti tačno 5 ciklusa, manje ili više mogu dati netačne podatke volumena. Špric se mora gurnuti i izvući skroz do kraja. Držati aparatuру što mirnije. Koristiti određen ritam pri vršenju kalibracije. Npr. 1 pokret po jednoj sekundi sa 2 sekunde pauze između pokreta. Mora biti pet pikova na dole i pet pikova ka gore. Prvi pik mora biti ka dole (slika 21)



Slika 21. Kalibracija – faza druga

Nakon kalibracije, na mesto kalibracionog šprica pričvrstimo pisak. Zatim pripremimo ispitanika (slike 22. i 23):

- Ispitanik mora da sedi mirno i opušteno, okrenut od monitora.
- Pričvrstiti štipaljku na nos ispitanika.
- Ispitanik drži merač vazduha vertikalno, diše kroz pisak.
- Pre snimanja, ispitanik se klimatizuje tako što diše normalno 20-ak sekundi.
- Početi korake snimanja.



Slike 22. i 23. Priprema ispitanika i merenja

## 2. Merenje volumena i kapaciteta

### PODACI

Ime studenta: Danica Jestrović

Smer: medicinska fizika

Datum: 20.09.2016.

### Profil ispitanika

Ime: Danica Jestrović

Visina: 175 cm

Pol: Ženski

Godište: 1986

Težina: 70 kg

Podaci o ispitaniku su identični u obe vežbe.

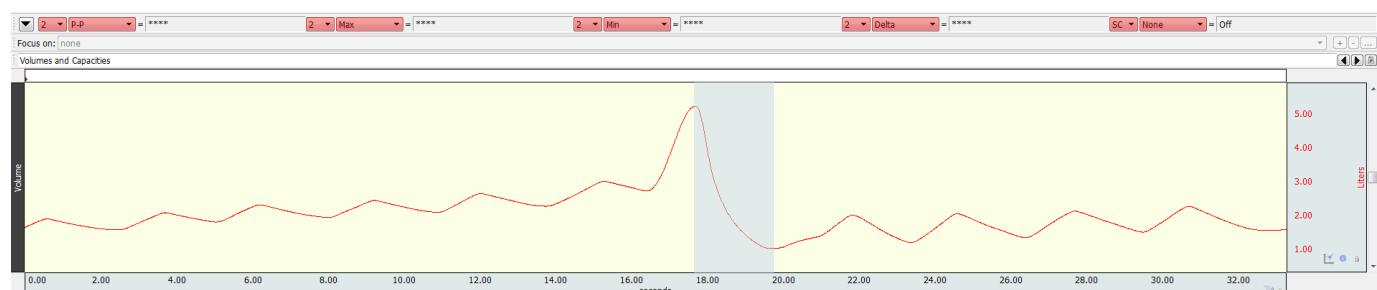
### I. Podaci i obrada

#### A. Vitalni Kapacitet

i ) Izračunava se na osnovu formula datih u tabeli 4.

$VC = 3,96 \text{ l}$

ii) Izmeren:



Slika 24. Grafik izmerenih vrednosti plućnih volumena i kapaciteta. P-P merenje vitalnog kapaciteta VC.

Koristiti P-P rezultate za opisivanje **izmerenog vitalnog kapaciteta**:

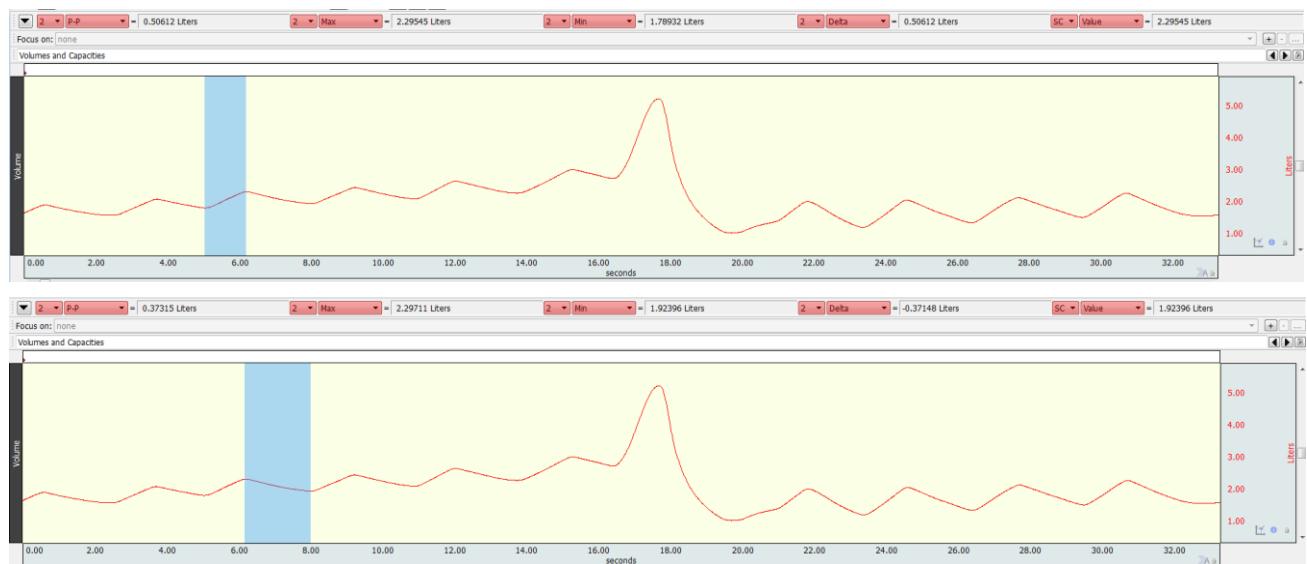
$VC_{p-p} = 4,23 \text{ l}$

iii) Izmeren vs. Izračunat

Odnos ispitanikovog izmerenog vitalnog kapaciteta u odnosu na izračunati vitalni kapacitet izražen u procentima:

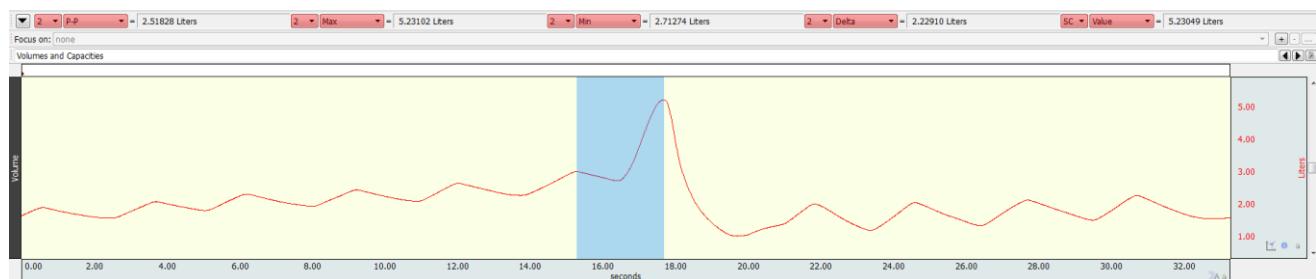
$$\text{Izmeren VC / Izračunat VC} = 1,07 \cdot 100 = 107\%$$

## B. Disajni volumen



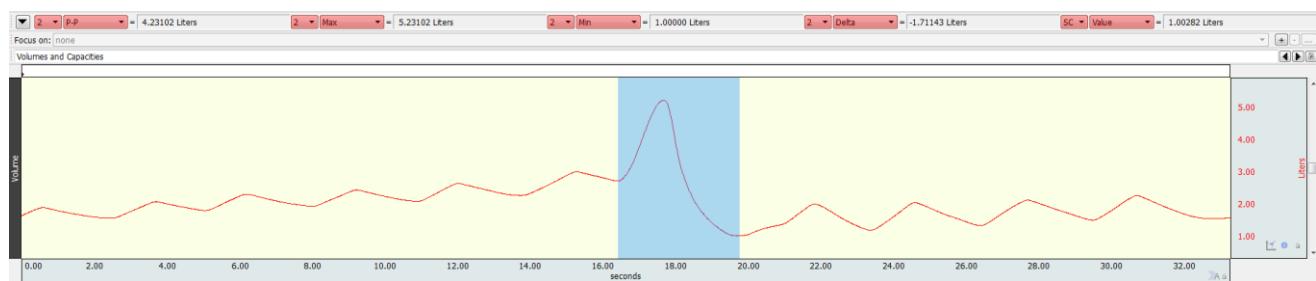
Slika 25. Grafik izmerenih vrednosti plućnih volumena i kapaciteta. Merenje disajnog volumena (TV) u trećem ciklusu disanja pri udahu (slika gore) i pri izdahu (slika dole).

## C. Inspiratori rezervni volumen



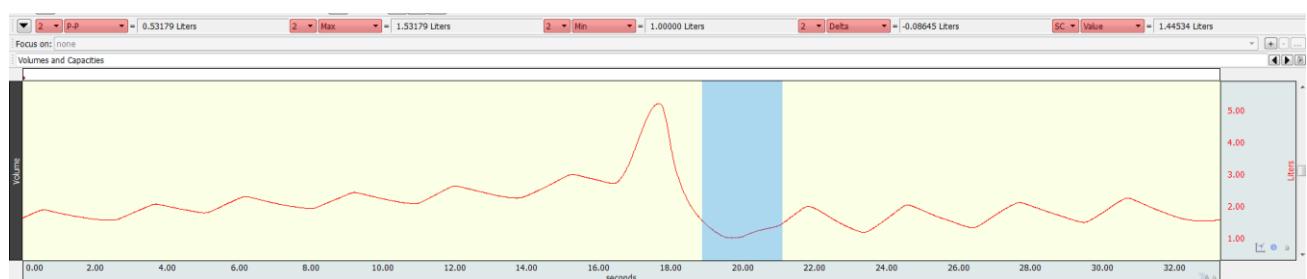
Slika 26. Grafik izmerenih vrednosti plućnih volumena i kapaciteta. Merenje inspiratornog rezervnog volumena (IRV).

## D. Ekspiratorni rezervni volumen



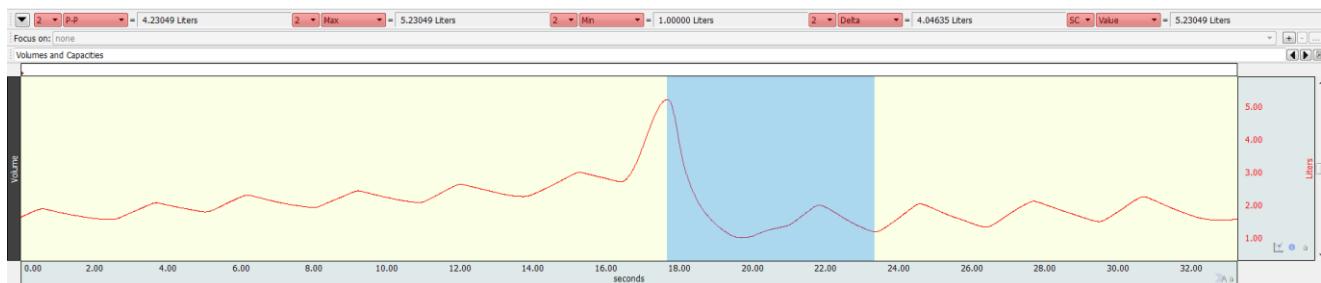
Slika 27. Grafik izmerenih vrednosti plućnih volumena i kapaciteta. Merenje ekspiratornog rezervnog volumena (ERV).

## E. Rezidualni volumen



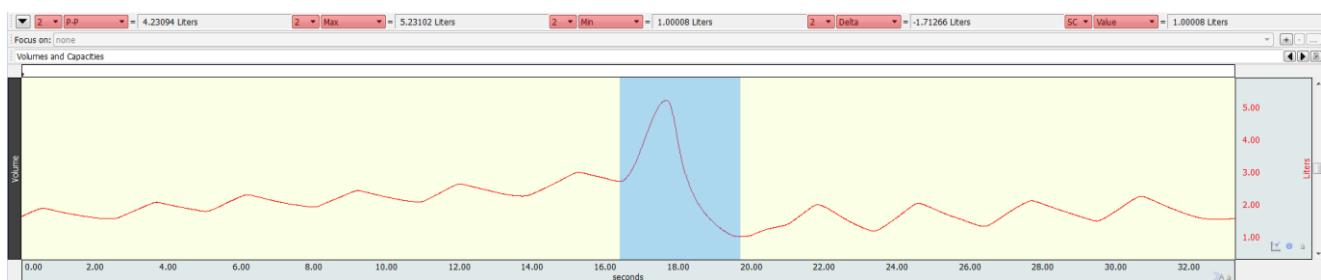
Slika 28. Grafik izmerenih vrednosti plućnih volumena i kapaciteta. Očitavanje rezidualnog volumena (RV).

## F. Inspiratorni kapacitet



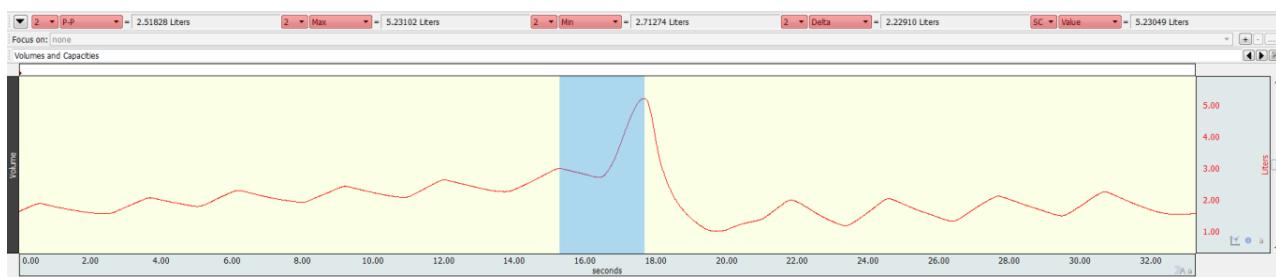
Slika 29. Grafik izmerenih vrednosti plućnih volumena i kapaciteta. Merenje inspiratornog kapaciteta (IC).

## G. Ekspiratorni kapacitet



Slika 30. Grafik izmerenih vrednosti plućnih volumena i kapaciteta. Merenje ekspiratornog kapaciteta (IC).

## H. Totalni plućni kapacitet



Slika 31. Grafik izmerenih vrednosti plućnih volumena i kapaciteta. Očitavanje totalnog plućnog kapaciteta (TLC).

Tabela 5. Vrednosti plućnih volumena i kapaciteta (sve vrednosti su izražene u litrama)

Naziv		Rezultati merenja		Proračun
Disajni Volumen	TV	a = <input type="text" value="2"/> P-P b = <input type="text" value="2"/> P-P c = <input type="text" value="2"/> P-P d = <input type="text" value="2"/> P-P	Ciklus 3 udah: Ciklus 3 izdah: Ciklus 4 udah: Ciklus 4 izdah:	0,51 0,37 0,51 0,35
Inspiratori Rezervni Volumen	IRV	<input type="text" value="2"/> Delta		2,59
Ekspiratori Rezervni Volumen	ERV	<input type="text" value="2"/> Delta		1,72
Rezidualni Volumen	RV	<input type="text" value="2"/> Min		1,00
Inspiratori Kapacitet	IC	<input type="text" value="2"/> Delta		4,05
Ekspiratori Kapacitet	EC	<input type="text" value="2"/> Delta		2,00
Funkcionalni Rezidualni Kapacitet	FRC			ERV + RV =
Totalni Plućni Kapacitet	TLC	<input type="text" value="2"/> Max		5,23
				IRV + TV + ERV + RV =
				5,75

### I. Izmereni vs. tablični volumeni

Koristeći podatke iz Tabele 5. uporediti plućni volumen ispitanika sa prosečnim vrednostma volumena datih u tabeli 6.

Tabela 6. Prosečni volumeni vs. izmereni volumeni

Naziv Volumena		Prosek Volumena	Izmeren Volumen
Disajni Volumen	TV	Subjekat u miru, normalno diše: TV iznosi približno 500 ml. Tokom vežbanja: TV može biti veći od 3 litre	Blago umanjen
Inspiratori Rezervni Volumen	IRV	U miru IRV za mlade ljude iznosi muškarci = približno 3,300 ml devojke = približno 1,900 ml	Uvećan
Ekspiratori Rezervni Volumen	ERV	U miru ERV za mlade ljude iznosi muškarci = približno 1,000 ml devojke = približno 700 ml	Uvećan

### J. Zaključak

Na osnovu rezultata vidimo da ispitanik ima vrednosti volumena u granicama normalnih vrednosti kao i uvećane vrednosti plućnih volumena i kapaciteta.

## **II. Pitanja**

D. Zašto predviđeni kapacitet varira sa visinom?

Predviđeni kapacitet se povećava sa visinom, jer više osobe imaju veći grudni koš, samim tim i veća pluća kao i veće volumene i kapacitete.

E. Objasniti kako drugi faktori sem visine mogu da utiču na plućni kapacitet.

Godine takođe utiču na vrednost volumena i kapaciteta, zatim pol, građa, redovna fizička aktivnost, pušenje. Kod žena su vrednosti kapaciteta smanjene u odnosu na muškarce za 20 – 25%, kod utreniranih osoba povećane su vrednosti volumena i kapaciteta, dok su kod pušača ove vrednosti nešto manje.

F. Kako bi se promenile vrednosti volumena ako bi se merenja vršila nakon teškog treninga?

Vrednosti volumena bi se povećale zato što je disanje posle vežbanja plitko i ubrzano, pa bi se povećao i disajni volumen zbog korišćenja rezervnog volumena.

G. Koja je razlika između merenja volumena i kapaciteta?

Volumeni se očitavaju sa grafika, i mogu se meriti, dok se kapaciteti računaju kao zbir dva ili više volumena.

H. Definiši **Disajni Volumen**.

Disajni volumen (TV) je volumen vazduha koji se udahne ili izdahne prilikom jedne normalne respiracije, tj. ciklusa koji se sastoji od jednog udaha i jednog izdaha.

I. Definiši **Inspiratori Rezervni Volumen**.

Inspiratori rezervni volumen (IRV) je maksimalni, dodatni volumen vazduha, koji se može udahnuti maksimalnom inspiracijom posle udisaja normalnog disajnog volumena.

J. Definiši **Expiratori Rezervni Volumen**.

Ekspiratori rezervni volumen (ERV) je maksimalni, dodatni volumen vazduha, koji se posle normalnog ekspirijuma može izdahnuti forsiranom ekspiracijom.

K. Definiši **Rezidualni Volumen**.

Rezidualni volumen (RV) je volumen vazduha, koji ostaje u plućima i posle najsnažnijeg izdisaja.

L. Definiši **Plućni Kapacitet**.

Kapacitet pluća je zbir dva ili više plućnih volumena.

M. Navedi **Plućne Kapacitete**.

Inspiratori kapacitet, ekspiratori kapacitet, funkcionalni rezidualni kapacitet, vitalni kapacitet i totalni plućni kapacitet.

## 5.2. Vežba 13: Plućna funkcija II

### I. UVOD

Respiratori ili plućni sistem obavlja veoma važnu ulogu u snabdevanju kiseonika ( $O_2$ ) tokom udisanja, odnosno otklanjanja ugljen – dioksida ( $CO_2$ ) tokom izdisanja, kao i održavanja acido – bazne ravnoteže (pH) u organizmu. Pošto je kiseonik neophodan za ćelijski metabolizam, količina vazduha koju obezbeđuje disajni sistem je važna da bi se postavila gornja granica koja je potrebna za obavljanje rada ili metabolizma. Zbog toga je merenje plućnog volumena i brzine protoka vazduha, veoma važan zadatak da bi se procenili: zdravstveno stanje i plućni kapaciteti osobe.

U ovoj vežbi se mere vrednosti:

- 1) **Forsirani vitalni kapacitet (FVC)** – maksimalna količina vazduha koju osoba može dodatno da izdahne nakon maksimalnog udaha.
- 2) **Forsirani ekspiratorni volumen (FEV)** – to je % FVC koju osoba forsirano izbaci u vremenskim intervalima u trajanju od 1, 2 i 3 sekunde. ( $FEV_{1,0}$ ,  $FEV_{2,0}$ ,  $FEV_{3,0}$ )
- 3) **Maksimalna voljna ventilacija (MVV)** – to je plućni funkcionalni test koji kombinuje volumene i protok da bi se uopšteno procenila plućna ventilacija.

Ova merenja pokazuju gornju granicu rada za koju je osoba sposobna, i ona je bazirana na kapacitetima njenog ili njegovog respiratornog sistema. Kada osoba maksimalno udahne i potom maksimalno izdahne, količina (zapremina) izdahnutog vazduha je njegov **jednostepeni vitalni kapacitet (SSVC)**. Vreme za koje se ostvari maksimalna ekspiracija (izdah) nema nikakav faktor u određivanju SSVC.

Pošto pluća leže u grudnom košu, vitalni kapacitet će biti ograničen veličinom grudnog koša i zavisi od osobe do osobe. Zbog toga različite veličine (npr. godine, pol, težina) utiču na kapacitet respiratornog sistema.

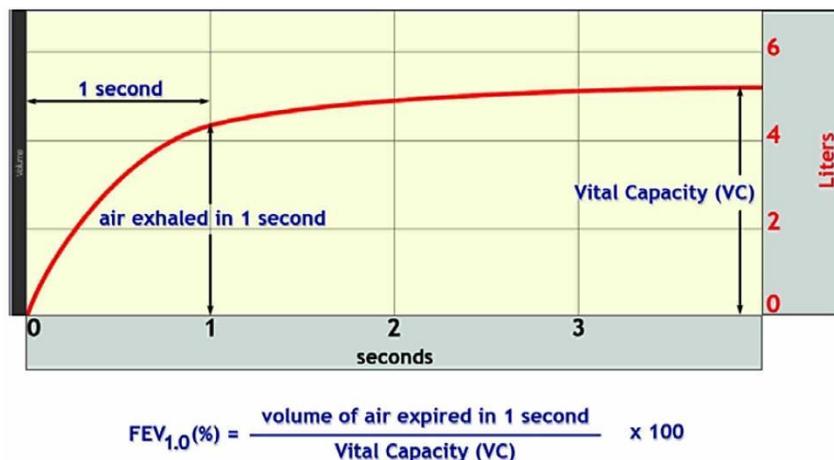
Kod odraslih, sa rastom godina se smanjuje prosečni plućni kapacitet. Žene imaju manje kapacitete od muškaraca pri istim godinama i istoj težini. Kod iste osobe, potrošnja i potražnja za kiseonikom je različita u različitim aktivnostima i zavise od zdravstvenog stanja osobe. Prema tome brzina i dubina *ventilacije* (količina vazduha koju udahnemo i izdahnemo u minutu), nisu konstantne, već se stalno prilagođavaju promenljivim i različitim potrebama tela. Kako povećavamo svoju fizičku aktivnost iz stanja mirovanja, tako se povećava i količina i brzina disanja. Promene u volumenu i koliko brzo dolazi do tih promena u volumenu se mogu iskoristiti za procenu stanja i zdravlja respiratornog sistema.

U ovoj vežbi se izvode 2 testa za merenje plućnog protoka:

- 1) FEV – forsirani ekspiratorni volumen
- 2) MVV – maksimalna voljna ventilacija

## Test #1: FEV

FEV se ponekad naziva i forsirani vitalni kapacitet ili vremenski vitalni kapacitet (slika 32). FEV je test u kojem ispitanik mora za određeno vreme da izbaci količinu vazduha koja odgovara vitalnom kapacitetu.  $FEV_{1,0}$ ,  $FEV_{2,0}$ ,  $FEV_{3,0}$  se definišu kao procenti vitalnog kapaciteta koji se može izbaciti nakon maksimalnog udaha u periodu od 1, 2 i 3 sekunde respektivno. Zdrava odrasla osoba može pri maksimalnom naporu da izdahne od 66 – 83% njegovog vitalnog kapaciteta u jednoj sekundi ( $FEV_{1,0}$ ), u drugoj sekundi 75 – 94% svog vitalnog kapaciteta ( $FEV_{2,0}$ ) i u trećoj sekundi 78 – 97% svog vitalnog kapaciteta ( $FEV_{3,0}$ ).



Slika 32. Grafik srednjih vrednosti  $FEV_{1,0}$

## Test #2: MVV

Maksimalna voljna ventilacija se ponekad naziva i maksimalni kapacitet disanja (slika 33). MVV meri najbolji rad pluća i respiratornih mišića. Računa se kao količina vazduha koja se kreće kroz plućni sistem u jednoj minuti pri hiperventilaciji (najbrže i najdublje disanje). U sprovođenju ovog testa, ispitanik udiše i izdiše najbrže i najdublje što može ( $> 1$  dah/sekundi) dok se mere disajni volumen i frekvencija disanja (slika 33). Zbog toga što je teško da se održava maksimalna brzina i dubina disanja čitav minut, ispitanik hiperventilira maksimalno 15 sekundi. Zatim, da bi se izračunao MVV, srednju vrednost volumena po respiratornom ciklusu (u litrama), množimo sa brojem ciklusa u minutu. Vrednost MVV se može izvesti iz totalnog volumena vazduha u periodu od 12 sekundi. MVV je mera koliko vaš plućni sistem ograničava vašu sposobnost za rad i vežbu.

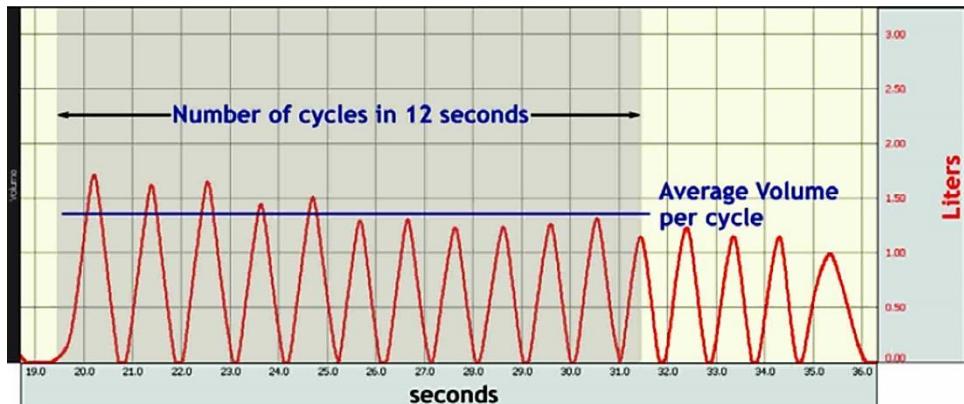
$$N_{\min} = N_s \cdot 5$$

Gde se:  $N_{\min}$  – broj ciklusa u minutu

$N_s$  – broj ciklusa u 12 sekundi

$$MVV = N_{sr} \cdot N_{\min}$$

Gde je  $N_{sr}$  – srednja vrednost broja ciklusa u minutu.



Slika 33. Grafik vrednosti MVV

### I. CILJ VEŽBE:

- 1) Eksperimentalno utvrđivanje, snimanje i/ili izračunavanje forsiranog ekspiratornog volumena (FEV) i maksimalne voljne ventilacije (MVV).
- 2) Poređenje utvrđenih vrednosti FEV sa srednjim vrednostima.
- 3) Upoređivanje vrednosti MVV.

### II. APARATURA:

Aparatura i način rada je isti kao i u prethodnoj vežbi te ga neću ponovo opisivati.

### III. EKSPERIMENT

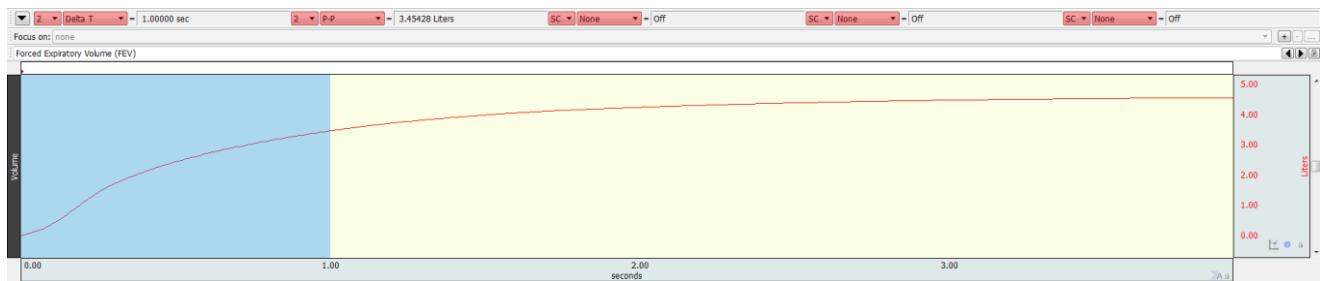
#### A. Forsirani Ekspiratori Kapacitet: $FEV_{1.0}$ , $FEV_{2.0}$ , $FEV_{3.0}$

Tabela 7. Izmerene i srednje vrednosti

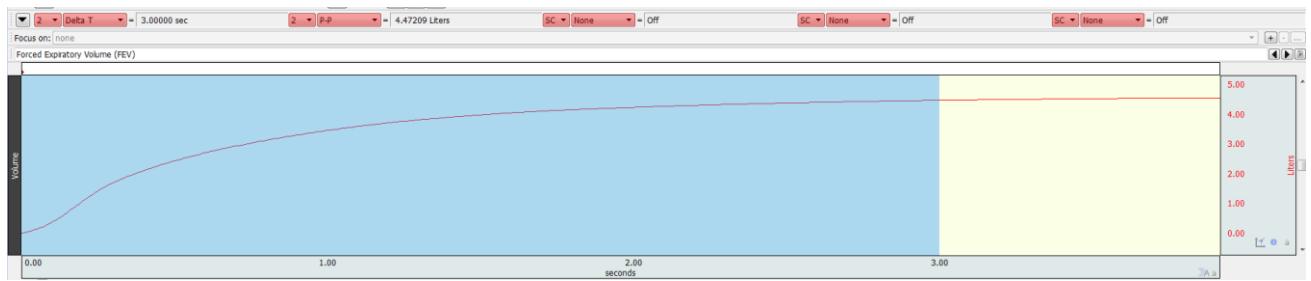
Vremenski Intervali (sek)	Forsirani Ekspiratori Volumen 2 P-P	Vitalni kapacitet (VC) iz A	FEV/VC izračunati	(FEV/VC) x 100 = % izračunati	= $FEV_x$	Normalni opseg kod odraslih
0-1	3,45 l	4,55 l	0,76	76%	$FEV_{1.0}$	66% - 83%
0-2	4,23 l	4,55 l	0,93	93%	$FEV_{2.0}$	75% - 94%
0-3	4,47 l	4,55 l	0,98	98%	$FEV_{3.0}$	78% - 97%



Slika 34. Grafik dobijenih vrednosti FEV



Slika 35. Grafik dobijenih vrednosti FEV1



Slika 36. Grafik dobijenih vrednosti FEV3

**B. MVV MERENJA**

- 1) Broj ciklusa u trajanju od 12 sekundi iznosi 17.
- 2) Izračunavanje broja respiratornih ciklusa u minuti (RR):

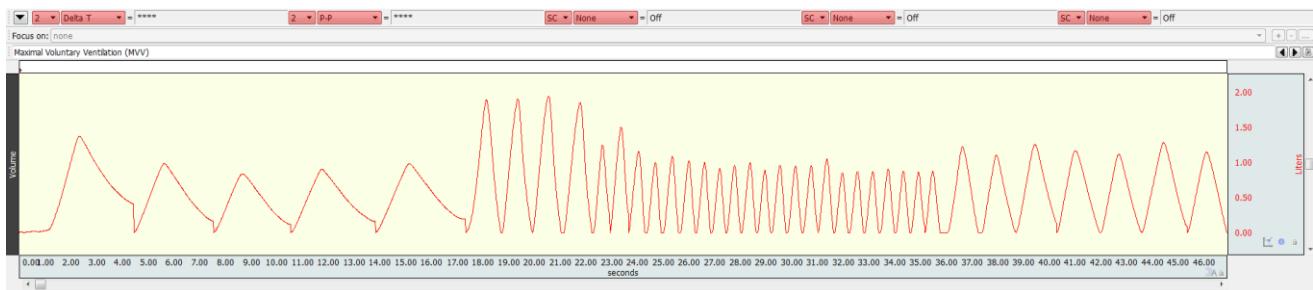
$$RR = \text{ciklus}/\text{min} = \text{Broj ciklusa u 12 sekundi} \times 5$$

$$RR = 17 \cdot 5 = 85 \text{ ciklusa/min}$$

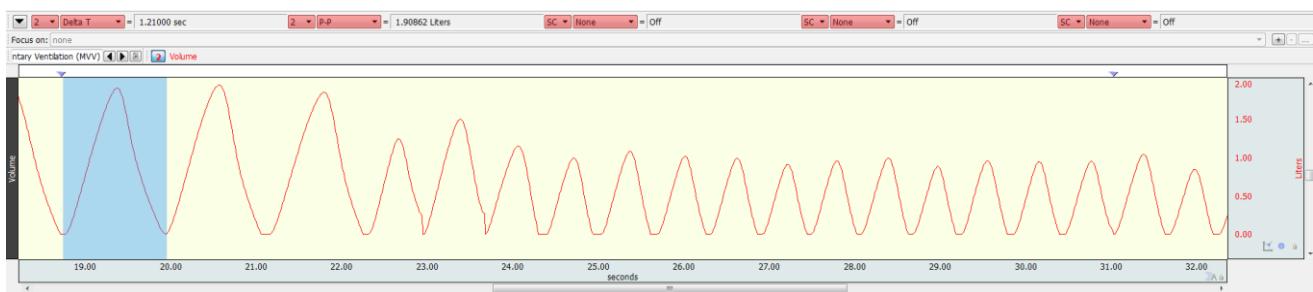
- 3) Merenje svakog ciklusa

**Tabela 8.**

Ciklus Broj	Rezultati Volumena 2 P-P	Ciklus Broj	Rezultati Volumena 2 P-P
Ciklus 1	1,91 l	Ciklus 9	1,02 l
Ciklus 2	1,95 l	Ciklus 10	1,00 l
Ciklus 3	1,86 l	Ciklus 11	0,91 l
Ciklus 4	1,25 l	Ciklus 12	0,96 l
Ciklus 5	1,50 l	Ciklus 13	1,00 l
Ciklus 6	1,15 l	Ciklus 14	0,90 l
Ciklus 7	1,00 l	Ciklus 15	0,96 l
Ciklus 8	1,08 l	Ciklus 16	0,95 l
		Ciklus 17	0,95 l



Slika 37. Grafik izmerenih vrednosti MVV



Slika 38. Grafik izmerenih vrednosti MVV u prvom ciklusu

- 4) Izračunati prosečni volumen po ciklusu (AVPC):

Dodati volumene od svih izbrojanih ciklusa iz Tabele 8.

$$\text{Suma} = 20,35 \text{ l}$$

$$AVPC = 20,35 \text{ l} \cdot 17 = 1,20 \text{ l}$$

**Gde je AVPC – prosečni volumen po ciklusu**

Pomnožiti AVPC sa brojem respiratornih ciklusa pa izračunati  $MVV_{sr}$

$$MVV_{sr} = AVPC \cdot RR = 1,20 \text{ l} \cdot 85 \frac{\text{l}}{\text{min}} = 102 \frac{\text{l}}{\text{min}}$$

### C. ZAKLJUČAK

Na osnovu izmerenih vrednosti, vidimo da ispitanik ima blago povećane vrednosti  $FEV_{3,0}$  i u granicama normale vrednosti  $FEV_{1,0}$  i  $FEV_{2,0}$ . Analizom vrednosti rezultata maksimalne voljne ventilacije, nalazimo da ispitanik ima smanjene vrednosti. Tablične vrednosti MVV iznose od 120 – 170 l/min, što nam pokazuje da je osoba pušač, i da je to uzrok smanjenih vrednosti MVV.

## II. Pitana

D. Definisati Forsirani Ekspiratorni Volumen (FEV).

To je % VC koju osoba forsirano izbacu u vremenskim intervalima u trajanju od 1, 2 i 3 sekunde.

E. Kako se ispitanikov FEV odnosi naspram prosečnih vrednosti iz Tabele 7.?

FEV<sub>1,0</sub>      *isti kao*

FEV<sub>2,0</sub>      *isti kao*

FEV<sub>3,0</sub>      *veće od*

F. Definisati **Maksimalni Voljni Volumen (MVV)**.

MVV meri najbolji rad pluća i respiratornih mišića. Računa se kao količina vazduha koja se kreće kroz plućni sistem u jednom minutu pri hiperventilaciji.

G. Maksimalna voljna ventilacija se smanjuje sa godinama. Zašto?

Jer se sa godinama smanjuju funkcije organizma, samim tim i volumeni kao i MVV. Starenjem takođe dolazi do smanjenja statičkih i dinamičkih plućnih volumena i kapaciteta.

J. Asmatičari često imaju sužene disajne puteve zbog kontrakcija glatkih mišića, zadebljanih zidova i sekrecije mukusa. Kako to utiče na vitalni kapacitet FEV<sub>1,0</sub> i MVV?

Svako zakrčenje i suženje disajnih puteva dovodi do smanjenja plućnih funkcija, pa tako i ovih vrednosti.

K. Bronho-dilatatorski lekovi šire disajne puteve i čiste mukus. Kako bi oni uticali na merenje i rezultate FEV i MVV?

Oni bi povećali vrednosti ovih veličina, što nije dobro. Ako ispitanik koristi takve lekove, mora se i to uzeti u obzir pri proračunu kapaciteta, jer ne bi imali tada pravu sliku na rezultate.

L. Hoće li sitnija osoba imati manji ili veći vitalni kapacitet od krupnije osobe?  Manje  Veće

M. Kakvi bi bili rezultati FEV<sub>1,0</sub> i MVV kod asmatičara u poređenju sa atletičarem?

Manje  Veće

## **6. Zaključak**

---

U ovom radu smo upoznali anatomiju respiratornih organa. Takođe smo upoznali fiziologiju disanja, kao i proces difuzije gasova. Opisali smo spiometriju, čije su prednosti sledeće: nije invazivna, bezbolna metoda i brzo se dolazi do rezultata. Spirometrija, uz pregled slušalicama i snimanje pluća, predstavlja neophodan deo pulmološkog pregleda.

Zatim smo se upoznali sa Biopac student lab sistemom, koji je potpuno nov i revolucionaran koncept učenja na našem fakultetu. Stvoren je da bi zamenio zastarele „pen“ pisače i osciloskope koji su se do sada koristili na studentskim vežbama širom sveta. Na žalost ne pripadam generaciji studenata koji su radili laboratorijske vežbe iz predmeta Fizika ljudskog organizma na Biopac student lab sistemu, ali radeći ovaj rad shvatila sam koliko je značajno imati uvid u praktični deo bilo koje nauke.

U eksperimentalnom delu smo naučili na koji način je moguće izračunati plućne volumene i kapacitete koji su veoma značajni u dijagnostici i proceni stanja respiratornih organa.

Na kraju bih samo poželeta budućim generacijama studenata medicinske fizike da pokušaju da uživaju u radu na ovom sistemu bar kao i ja tokom izrade ovog rada.

## 7. Literatura

---

1. Arthur C. Guyton M.D., John E. Hall Phd, Textbook of Medical Physiology, jedanaesto izdanje, 2006. god
2. Slobodanka Stanković, Fizika ljudskog organizma, Novi Sad 2006. god
3. Sears, Francis W, Electricity and Magnetism 1946. god
4. Raymond A. Serway, Physics for Scientists and Engineers, 2005. god
5. <https://www.biopac.com/>
6. <http://www.slideshare.net/mdraginaj/respiratorni-sistem-oveka>
7. <http://nardus.mpn.gov.rs/bitstream/handle/123456789/4694/Disertacija268.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
8. <http://astma.rs/dijagnoza/spirometrija/>
9. <http://www.medicinski-leksikon.info/znacenje/plucni-volumeni.html>
10. <https://sr.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%98%D0%BD>
11. <http://mssgracanica.com/farmacija/ANATOMIJA%20I%20FIZIOLOGIJA%20COVJEKA%20II.pdf>
12. <http://www.slideshare.net/DejanaDeki/testovi-plucne-funkcije>
  
13. <https://www.dropbox.com/sh/3f3pwazg4629o6p/AACQIF1CXARnphRngUzpqr-a/English%20-%20en/Lesson%20Procedures%20and%20Intros?dl=0&preview=L12+Introduction.pdf>
14. <https://www.dropbox.com/sh/3f3pwazg4629o6p/AACQIF1CXARnphRngUzpqr-a/English%20-%20en/Lesson%20Procedures%20and%20Intros?dl=0&preview=L12+Procedure.pdf>
15. <https://www.dropbox.com/sh/3f3pwazg4629o6p/AACQIF1CXARnphRngUzpqr-a/English%20-%20en/Lesson%20Procedures%20and%20Intros?dl=0&preview=L13+Introduction.pdf>
16. <https://www.dropbox.com/sh/3f3pwazg4629o6p/AACQIF1CXARnphRngUzpqr-a/English%20-%20en/Lesson%20Procedures%20and%20Intros?dl=0&preview=L13+Procedure.pdf>

## BIOGRAFIJA

Rođena sam 07.12.1986 u Smederevu. Pohađala sam osnovnu školu „Dimitrije Davidović“ u Smederevu. Godine 2001. godine upisala sam srednju medicinsku školu „7. april“ u Novom Sadu. Po završetku srednje škole, 2005. godine, upisala sam Prirodno-matematički fakultet, na Univerzitetu u Novom Sadu. Odlučila sam se za fiziku, smer medicinska fizika. U toku studiranja sam se udala i dobila čerkicu Dijanu. U septembru 2016. godine položila sam sve ispite predviđene planom i programom.



KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

<i>Redni broj:</i>	
<b>RBR</b>	
<i>Identifikacioni broj:</i>	
<b>IBR</b>	
<i>Tip dokumentacije:</i>	Monografska dokumentacija
<b>TD</b>	
<i>Tip zapisa:</i>	Tekstualni štampani materijal
<b>TZ</b>	
<i>Vrsta rada:</i>	Diplomski rad
<b>VR</b>	
<i>Autor:</i>	Danica Jestrović
<b>AU</b>	
<i>Mentor:</i>	Dr Olivera Klisurić
<b>MN</b>	
<i>Naslov rada:</i>	Spirometrija na <i>Biopac</i> sistemu
<b>NR</b>	
<i>Jezik publikacije:</i>	Srpski (Latinica)
<b>JP</b>	
<i>Jezik izvoda:</i>	Srpski/Engleski
<b>JI</b>	
<i>Zemlja publikovanja:</i>	Republika Srbija
<b>ZP</b>	
<i>Uže geografsko područje:</i>	Vojvodina
<b>UGP</b>	
<i>Godina:</i>	2016
<b>GO</b>	
<i>Izdavač:</i>	Autorski reprint
<b>IZ</b>	
<i>Mesto i adresa:</i>	Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad
<b>MA</b>	
<i>Fizički opis rada:</i>	7 poglavlja/49 strana/38 slika/8 tabela/1 grafik
<b>FO</b>	
<i>Naučna oblast:</i>	Spirometrija
<b>NO</b>	
<i>Naučna disciplina:</i>	Medicinska fizika
<b>ND</b>	
<i>Predmetna odrednica/ ključne reči:</i>	Plućni kapaciteti i volumeni, plućna ventilacija, spirometrija, <i>biopac</i> sistem
<b>PO</b>	
<b>UDK</b>	
<i>Čuva se:</i>	Biblioteka departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu
<b>ČU</b>	
<i>Važna napomena:</i>	nema
<b>VN</b>	
<i>Izvod:</i>	U radu su izvršena merenja spirometrije u dve studentske vežbe na Biopac student lab sistemu
<b>IZ</b>	

*Datum prihvatanja teme od NN veća:* 19.09.2016.  
**DP**

*Datum odbrane:* 27.09.2016.  
**DO**

*Članovi komisije:*  
**KO**

*Precednik::* Dr Maja Stojanović, vanredni profesor  
*član:* Dr Olivera Klisurić, vanredni profesor  
*član:* Dr Željka Cvejić, vanredni profesor

UNIVERSITY OF NOVI SAD  
FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS

KEY WORDS DOCUMENTATION

*Accession number:*

**ANO**

*Identification number:*

**INO**

*Document type:*

**DT**

*Type of record:*

**TR**

*Content code:*

**CC**

*Author:*

**AU**

*Mentor/comentor:*

**MN**

*Title:*

**TI**

*Language of text:*

**LT**

*Language of abstract:*

**LA**

*Country of publication:*

**CP**

*Locality of publication:*

**LP**

*Publication year:*

**PY**

*Publisher:*

**PU**

*Publication place:*

**PP**

*Physical description:*

**PD**

*Scientific field:*

**SF**

*Scientific discipline:*

**SD**

*Subject/ Key words:*

**SKW**

**UC**

*Holding data:*

**HD**

*Note:*

**N**

*Abstract:* The work performed in the spirometry measurements, the measurements were taken in two student exercises with Biopac student lab system

*Accepted by the Scientific Board:* 19.09.2016.

**ASB**

*Defended on:* 27.09.2016.

**DE**

*Thesis defend board:*

**DB**

*President:* Dr Maja Stojanović, Associate Professor

*Member:* Dr Olivera Klisurić, Associate Professor

*Member:* Dr Željka Cvejić, Associate Professor