

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
Fakultet elektrotehnike i računarstva
Zavod za elektroničke sustave i obradbu informacija

Biomedicinska instrumentacija

UPUTE ZA LABORATORIJSKE VJEŽBE

Autori teksta:
dr.sc. Siniša Sovilj
mag.ing. Darko Trogrlić
prof.dr.sc. Ratko Magjarević
prof.dr.sc. Ante Šantić

Zagreb, 2011.

Spirometri

Oprema

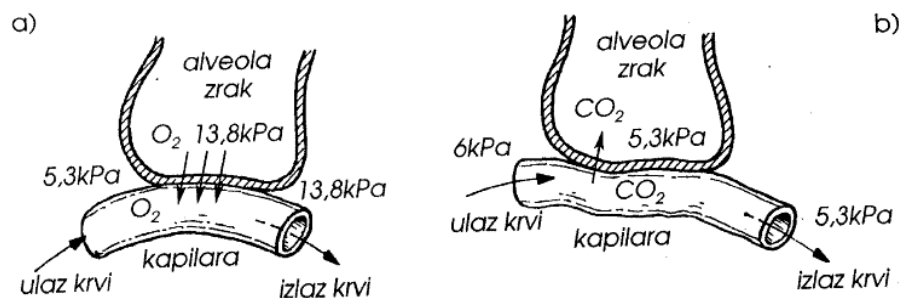
U ovoj vježbi potrebna je sljedeća oprema:

- Corscience - BiCHECK Module
- HP EliteBook Mobile Workstation + akvizicijski software
- higijenski čiste cjevčice spirometra

Teorijske napomene

Disanje se ostvaruje povećanjem ili smanjenjem volumena pluća, što se opet postiže spuštanjem ili dizanjem dijafragme (ošita) ili podizanjem ili spuštanjem rebara, što utječe na promjenu promjera prsne šupljine. Povećanjem volumena pluća dolazi do udisaja, a pri smanjenju volumena pluća do izdisaja zraka. Zrak struji kroz nos gdje se malo zagrije i očisti od čestica prašine, pa ulazi u dušnik, bronhije i bronhiole na čijim su krajevima skupine alveola. Alveole su vrećice promjera otprilike 0,25 mm, u čijoj se neposrednoj blizini odijeljene respiracijskom membranom, nalaze kapilare gdje zbog razlike u tlakovima pri udisaju dolazi do difuzije kisika u krv i difuzije ugljik-dioksida iz krvi u alveole pri izdisaju.

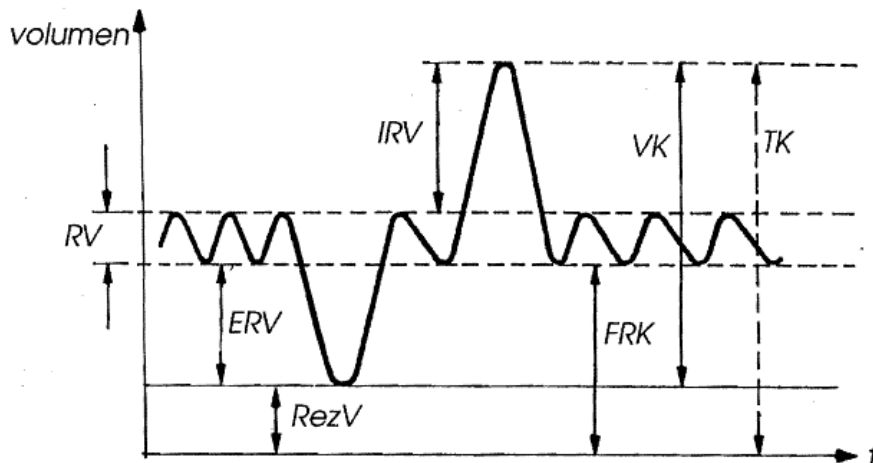
Kako to izgleda, prikazano je na slici (Slika 1a,b). Broj alveola je golem, približno 300 milijuna, pa iako su pojedinačno male površine, čine sve zajedno veliku površinu kroz koju se vrši izmjena kisika, O_2 , i ugljik-dioksida, CO_2 . Na slici (Slika 1a) vidi se kako krv s niskim parcijalnim tlakom od 5,3 kPa kisika (40 mm Hg) pri ulasku u područje blisko alveoli na izlasku iz tog područja zbog difuzije kisika iz alveole poprima isti parcijalni tlak kao i onaj u alveoli od 13,8 kPa (104 mm Hg). Isto tako, prema slici (Slika 1b) krv u kapilari s povećanim parcijalnim tlakom ugljik-dioksida od 6 kPa (45 mm Hg) prema onom u alveoli pri ulasku u područje blisko alveoli postupno smanjuje parcijalni tlak zbog difuzije ugljik-dioksida u alveolu, te se izjednačuju parcijalni tlakovi na izlasku s onima u alveoli, tj. 5,3 kPa (40 mm Hg).



Slika 1. a) Difuzija kisika iz zraka u krv; b) difuzija ugljik - dioksida, CO_2 , iz krvi u alveole a) odnosno pluća

Kako pluća pri disanju mijenjaju svoj volumen, može se uočiti nekoliko karakterističnih plućnih volumena, kao i plućnih kapaciteta, što je prikazano na slici (Slika 2). Za normalno disanje (respiracija) volumen pluća se mijenja u manjim granicama od 400 do 500 ml. To je respiracijski volumen (RV). Ako pri normalnom respiracijskom volumenu

udahnemo najveću još moguću količinu zraka, onda taj udahnuti zrak zovemo inspiracijski rezervni volumen (IR V) (oko 3000 cm³). Ako od minimalnoga respiracijskog volumena izdahnemo najveću moguću količinu zraka, onda tu količinu zraka zovemo ekspiracijski rezervni volumen (ER V) (oko 1100 cm³). Količina još preostalog zraka koji se ne može nikako više izdahnuti zove se rezidualni volumen (Rez V), a taj je obično u granicama od 1000 do 2500 cm³.



- IRV inspiracijski rezervni volumen
 ERV ekspiracijski rezervni volumen
 RV respiracijski volumen
 RezV rezidualni volumen
 FRK funkcionalni rezervni kapacitet
 VK vitalni kapacitet
 TK totalni kapacitet

Slika 2. Karakteristični plućni volumeni. Tipične vrijednosti volumena za zdravog odraslog muškarca iznose: RV=500mL, RezV=1200mL, VK=4600mL, TK=5800mL, IRV=3000mL, ERV=1100mL.

Još se mogu uočiti tri kapaciteta a to su: vitalni kapacitet (VK), totalni kapacitet (TK) i funkcionalni rezidualni kapacitet (FRK). Vitalni kapacitet pluća predstavlja, prema slici (Slika 2), volumen zraka što ga čovjek nakon punog udisaja izdiše do kraja do kojeg još može, te kada ostaje neizdahnut samo rezidualni volumen. Vitalni kapacitet je u mladoga odraslog muškarca otprilike 4600 cm³, a u žene 3200 cm³. No te se vrijednosti mogu prilično razlikovati od navedenih. Totalni kapacitet pluća jest cjelokupan volumen pluća (vitalni kapacitet i rezidualni volumen), a funkcionalni rezidualni kapacitet pluća ima reziduainom volumenu pridodan još ekspiracijski rezervni volumen. Funkcionalni rezidualni kapacitet razmjernan je starosti i visini. Općenito se može reći da su plućni volumeni manji u žena za približno 25% nego u muškaraca, a ovise i o starosti i visini. Mjerenje vitalnog kapaciteta jedno je od najvažnijih kliničkih mjerenja respiracije koji omogućuje ocjenu napredovanja različitih bolesti kao što su tuberkuloza, emfizem, karcinom pluća, kronična astma i bronhitis itd.

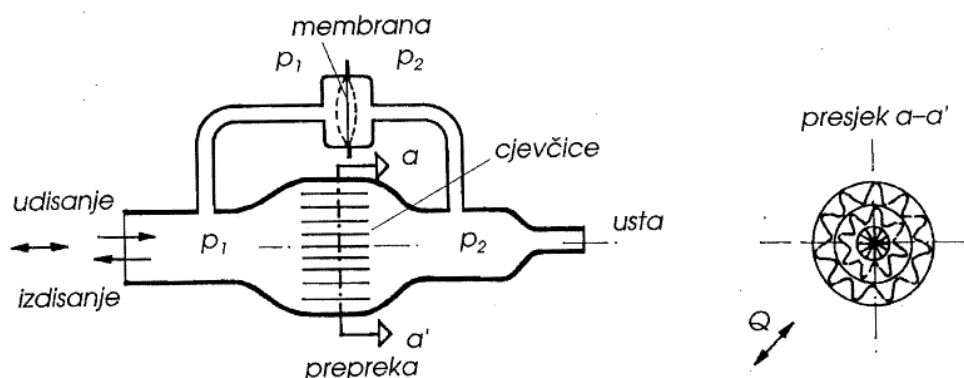
Spirometri su uređaji koji mjere volumene pluća i njihove promijene te ih mogu i registrirati na papiru. Tako se dobiva grafički prikaz koji odgovara onom prikazanom na slici (Slika 2). Iz grafičkog prikaza dobivenog spirometrom mogu se odrediti respiracijski, inspiracijski i ekspiracijski rezervni volumen, te vitalni kapacitet pluća. Spirometri mogu biti mokri i suhi, zatvorenog i otvorenog tipa.

Spirometri otvorenog tipa koji su manjih dimenzija jer nemaju bubanj, nego mjere protok zraka s malim mjerilom protoka koriste se na ovim laboratorijskim vježbama. Na

temelju izmjerenog protoka može se odrediti promjena volumena integriranjem protoka, jer je protok $Q = \frac{dV}{dt}$, a odatle je volumen $V = \int_0^t Q dt$.

Ti spirometri imaju znatno bolju frekvencijsku karakteristiku, jer nemaju veliku masu, tako da im je frekvencijska karakteristika linearna, a gornja granična frekvencija relativno visoka, tj. 30 do 50 Hz. Spirometar ovakvog tipa u biti mjeri protok, a mjerilo protoka zraka zove se pneumotahograf. Protok Q određuje se brzinom v strujanja plina kroz poznati presjek S , pa je $Q = \frac{dV}{dt} = S \frac{dl}{dt}$ gdje je (l preavljeni put čestice plina u određenom vremenu).

Pneumotahograf ima u cijevi kroz koju struji plin iz pluća ugrađeno mjerilo brzine v strujanja plina. Brzina plina može se utvrditi na temelju razlike tlakova p_1 - p_2 nastalih na nekoj prepreci (zaslonu) strujanju, kako je to prikazano na slici (Slika 3).



Slika 3. Spirometri otvorenog tipa s preprekom.

Ova prepreka često se izvodi snopom cjevčica koje povećavaju otpor strujanju zraka R_c . Za laminarno strujanje plina može se reći da je brzina strujanja $v = \frac{p_1 - p_2}{R_c}$. Ovdje se brzina strujanja plina v svodi na mjerenje razlike tlakova p_1 - p_2 ispred i iza prepreke, koja se određuje diferencijalnim tlakomjerom. Taj tlakomjer razlike tlakova pretvara u mjerenje pomaka membrane u tlakomjeru, a ti se pomaci opet mjere induktivnim ili tenzometrijskim otporničkim pretvornicima.

Do sada je prikazano kako se spirometrima mogu odrediti svi volumski parametri osim rezidualnog volumena. Rezidualni volumen možemo odrediti jednostavnije iz funkcionalnoga rezidualnog volumena odbijanjem naknadno ekspiracijskog rezervnog volumena. Za to mjerenje postoje dvije metode zatvorenog i otvorenog tipa. Uporabom mokrog ili suhog spirometra funkcionalni rezidualni kapacitet možemo odrediti u zatvorenoj petlji ako spirometar ispunimo plinom helijem He. Spirometar otvorenog tipa, tj. koji može primati izvana kisik O_2 pri svakom udisaju. Ako je na početku spremnik u svom najnižem položaju bio u potpunosti ispunjen kisikom O_2 , onda će disanjem pri svakom izdisaju izlaziti dušik iz pluća, pa će se nakon 2 do 3 minute disanjem pluća posve »isprati«. Određivanjem količine dušika u kisiku naknadno se može utvrditi veličina funkcionalnog rezidualnog kapaciteta. Količina dušika N_2 može se odrediti kontinuiranim mjerenjem koncentracije N_2 i njezinim integriranjem za cijelog vremena mjerenja. Više se upotrebljava metoda koja funkcionalni rezidualni kapacitet određuje u zatvorenoj petlji.

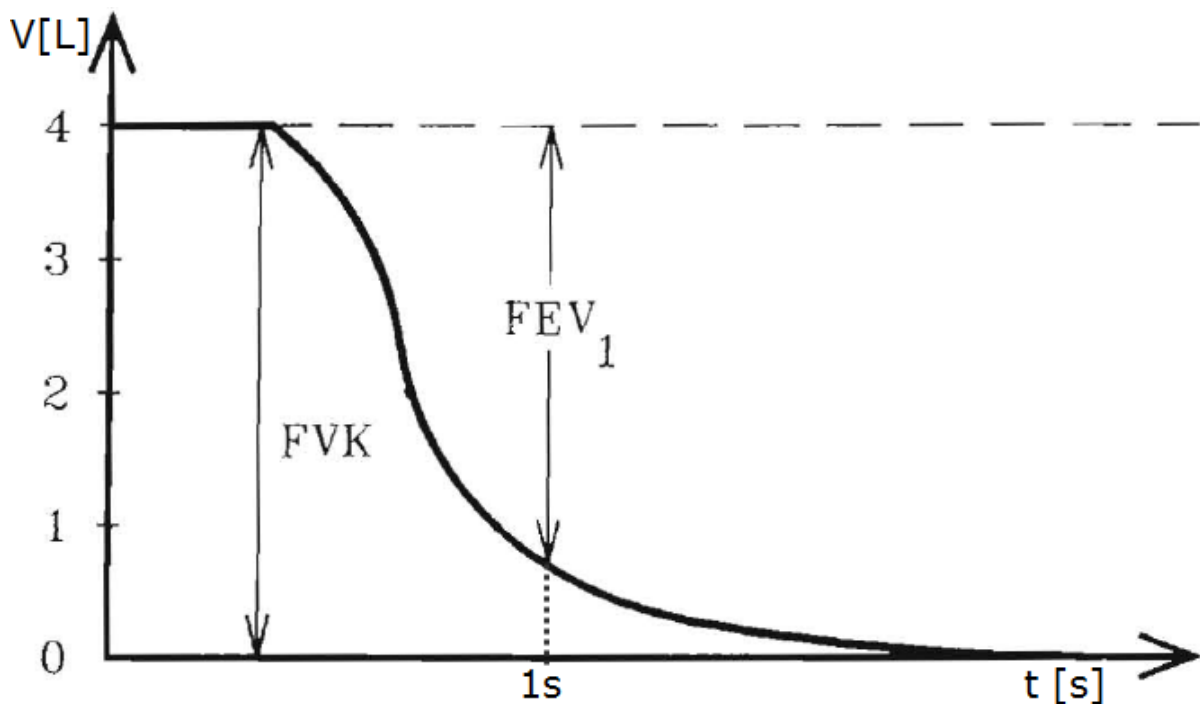
Farmakodinamsko testiranje, tj. spirometrijsko testiranje nakon inhalacije aerosola koji proširuje ili sužuje bronhe, koristi se za otkrivanje stupnja reverzibilnosti manifestiranih opstrukcija, odnosno za otkrivanje latentnih oblika bronhospazma. Opstruktivni ventilacijski poremećaji spastičkog tipa reagiraju na inhalaciju bronhodilatatora povećanjem spirografskih

vrijednosti zbog popuštanja postojećeg spazma. Farmakodinamski testovi smatraju se pozitivnima, ako se vrijednosti testova nakon inhalacije povećaju preko 10 %.

Spirometrom se može obaviti i dinamičko testiranje ventilacijske funkcije pluća koja je vezana uz faktor vremena. Dinamičkim testiranjem dobiva se krivulja forsiranog ekspiograma na kojoj se određuju vrijednosti: **forsiranog vitalnog kapaciteta (FVK)** i **Tiffeneau-ov indeks (FEV₁%)** što je prikazano slikom. FVK je volumen zraka koji se može maksimalno izdahnuti nakon maksimalnog udisaja, forsiranom ekspiracijom. FEV₁% je postotak FEV1 prema FVK.

$$FEV_1\% = \frac{FEV_1}{FVK} \cdot 100\%$$

U zdravih osoba normalne vrijednosti iznose preko 75%, ovisno o dobi, te o veličini FVK (npr. u slučaju velikog FVK, na primjer 7 L, donja granica normalnog Tiffeneau-ovog indeksa iznosi 70 %).



Slika 4. Dinamičko testiranje ventilacijske funkcije.

Rad u laboratoriju

- 1. Izmjerite ekspiracijski i inspiracijski volumen i provjerite odgovara li referentnim vrijednostima iz teorijskog dijela vježbe? Ponovite mjerenja tako da stavite kvačicu na nos. Jesu li rezultati isti?**
 - Opišite zapažanja.

- 2. Iz podataka o minimalnom i maksimalnom protoku te trajanju ekspiracije i inspiracije pokušajte izračunati ekspiracijski i inspiracijskih volumen.**
 - Odgovara li izračunata vrijednost izmjerenoj?

- 3. Skicirajte graf karakterističnih plućnih volumena i označite izmjerene volumene na tom grafu.**

- 4. Pokušajte simulirati opstrukciju npr. postavljanjem papirnate maramice na ulaz spirometra. Ponovite mjerenja.**

- 5. Pokušajte provesti spirometrijsko testiranje nakon inhalacije aerosola koji proširuje ili sužuje bronhe. Pokušajte to provesti inhalatorom na bazi mentola ili eukaliptusa., te isto testiranje pokušajte provesti korištenjem npr. žvakaće gume također na bazi mentola ili eukaliptusa te provjerite da doista proširuje bronhe.**

- 6. Spirometrom probajte provesti dinamičko testiranje ventilacijske funkcije, skicirajte spirogram, te pokušajte odrediti forsirani vitalni kapacitet (FVK) i Tiffeneau-ov indek (FEV1%).**