

**Izvješće laboratorijskih vježbi iz:**

**Biomedicinske instrumentacije**

Branimir Ježić

0036445466

## Defibrilator

### Uvod

Fibrilacija klijetki je podrhtavanje klijetki prouzročeno podražajima s više mjesta na srcu. To dovodi do nemogućnosti istiskivanja krvi iz srca, te, ukoliko potraje dulje vrijeme, dovodi do smrti. Fibrilacija može nastati kod srčanog udara, srčanih aritmija ili biti uzrokovana polaskom struje kroz srce. Kod bolesnog srca često i vrlo mala struja može izazvati fibrilaciju. Ali kao što struja može uzrokovati fibrilaciju, tako je može i zaustaviti. U tu svrhu se koristi defibrilator. Struja veličine 2A dovedena žličastim elektrodama izravno na srce, dovoljna je da zaustavi fibrilaciju kod većine pacijenata. Ukoliko se koriste vanjske elektrode, potrebna je struja jačine 5 do 6A.

Tijekom godina se valni oblik struje defibrilatora mijenjao od sinusnog, preko eksponencijalnog, do danas korištenog sinusno-prigušenog valnog oblika. Nedostatci sinusnog valnog oblika su bile goleme dimenzije zbog korištenja velikih transformatora, dok je kod eksponencijalnog valnog oblika, zbog velike početne struje, dolazilo do oštećenja srčanog tkiva. Sinusno prigušeni valni oblik je lako izvediv uz pomoć kapaciteta i induktiviteta. Kondenzatori koji se koriste su u rasponu od 6 do 32  $\mu\text{F}$ , te se nabijaju na napon od 4 do 9 kV. Energije korištene su između 10 i 400 J. Induktiviteti su u rasponu od 0.1 do 1 H. Kondenzator se nabija preko mrežnog i visokonaponskog transformatora otprilike 10 s. Diodom ili parom dioda, ulazni napon se ispravlja poluvalno i punovalno. Korisnik je relejskim sklopovima povezan sa sklopovima koje prazni kondenzator kako ne bi bio ugrožen od visokog napona na transformatoru. Pritiskom sklopki na lopaticama defibrilatora, poteče struja kroz namotaj releja i privuče kotvu. Kotva prebacuje kondenzator iz stanja punjenja u stanje pražnjenja, te se tako vrši defibrilacijski šok.

Na vježbi se koristi defibrilator 7501 tvrtke KONTRON Instruments, te analizador rada defibrilatora QED-6 proizvođača BIO-TEK. Analizador je uređaj koji simulira otpor ljudskog tijela (50  $\Omega$ ), te mjeri i pokazuje izlaznu energiju defibrilatora. Energiju računa integrirajući snagu po vremenu. Kako je snaga jednaka kvadratu napona kroz otpor, te je vrijeme mjerenja jako kratko, integral prelazi u sumu, pri čemu se sumira 500 diskretnih vrijednosti kvadrata napona. Točnost mjerenja energije za mjerno područje 1000 J iznosi  $\pm 2\%$  očitavanja vrijednosti za 100-1000 J, a  $\pm 2$  J za vrijednosti 0-100 J. Za mjerno područje od 100 J, točnost je  $\pm 2\%$  za 10-100 J, to jest  $\pm 0.2$  J za vrijednosti 0-10 J.

### Mjerenja

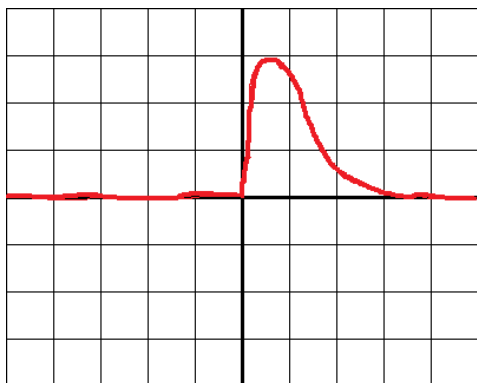
E namješteno [J]	10	20	30	60	100	160	200	240	300	360
E izmjereno [J]	10.8	20.8	30.3	63.1	106.6	166.7	209	240.6	315.4	369.1
Pogreška [J]	0.8	0.8	0.3	3.1	6.6	6.7	9	0.6	15.4	9.1
Rel. pogreška[%]	0.08	0.04	0.01	0.052	0.066	0.04	0.045	0.0025	0.051	0.025

Tabela 1 Izlazna energija defibrilatora

Mjerenje izlazne energije defibrilatora je potrebno mjeriti na najvećoj, najmanjoj, te dvije među vrijednosti prema normi HRN IEC 60601-2-4. Najveća odstupanja smiju biti  $\pm 4$  J za otpor od 50  $\Omega$ , te  $\pm 8$  J za otpore od 25 i 100  $\Omega$ . Prema tome, ispitivani defibrilator ne zadovoljava zahtjevu točnosti.

E namješteno [J]	10	20	30	60	100	160	200	240	300	360
Um [V]	464	652	799	1138	1459	1835	2049	2198	2515	2718
Im [A]	9	13	15	22	29	36	40	43	50	54

Tabela 2 Mjereni napon i struja defibrilatora



**Slika 1 Valni oblik napona defibrilatora**

Vršna vrijednost napona i struje, trajanje impulsa i brzina porasta impulsa defibrilatora uz izlaznu energiju od 200 J iznose:

$$U=2198V \quad I=40A \quad t_i=0.8ms \quad s=2.125V/\mu s.$$

Iako je bifazični valni oblik povoljniji za pacijenta, ovaj defibrilator koristi monofazični valni oblik. Istraživanja su pokazala da je pri bifazičnom valnom obliku veća vjerojatnost uspješne defibrilacije, te je manja vjerojatnost oštećenja srca i okolnih tkiva pacijenta.

Pomoću analizatora je na ulaz defibrilatorskog elektrokardiografa doveden signal koji simulira ventrikularnu fibrilaciju. Korištenjem defibrilatora, cilj je zaustaviti fibrilaciju i uspostaviti normalni sinusni ritam.



**Slika 2 Fibrilacija–defibrilacija**

### **Zaključak**

Defibrilator je uređaj za zaustavljanje fibrilacije ili ponovno pokretanje srca. U prošlosti su se koristili sinusni i eksponencijalni valni oblici koji su bili ili prerobusni ili uzrokovali oštećenja tkiva pacijenta. Stoga se danas koriste monofazični i bifazični valni oblici. Raspon izlaznih energija defibrilatora je od 10 do 360 J.

## Analizator opće sigurnosti biomedicinskih uređaja

### Uvod

IEC 60601-1-X je međunarodna norma za opću sigurnost električkih medicinskih uređaja, a IEC 60601-2-X predstavlja specifične norme za pojedinačne medicinske uređaje.

IEC 60601-1-1	SAFETY REQUIREMENTS FOR MEDICAL ELECTRICAL SYSTEMS
IEC 60601-1-2	ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY - REQUIREMENTS AND TESTS
IEC 60601-1-3	GENERAL REQUIREMENTS FOR RADIATION PROTECTION IN DIAGNOSTIC X-RAY EQUIPMENT
IEC 60601-1-4	PROGRAMMABLE ELECTRICAL MEDICAL SYSTEMS
IEC 60601-1-6	USABILITY
IEC 60601-1-8	GENERAL REQUIREMENTS, TESTS AND GUIDANCE FOR ALARM SYSTEMS IN MEDICAL ELECTRICAL EQUIPMENT AND MEDICAL ELECTRICAL SYSTEMS

Tabela 3Popis općih normi za sigurnost električkih medicinskih uređaja

IEC 60601-2-1	ELECTRON ACCELERATORS IN THE RANGE 1 MeV TO 50 MeV
IEC 60601-2-2	HIGH FREQUENCY SURGICAL EQUIPMENT
IEC 60601-2-3	SHORT-WAVE THERAPY EQUIPMENT
IEC 60601-2-4	CARDIAC DEFIBRILLATORS AND CARDIAC DEFIBRILLATORS - MONITORS
IEC 60601-2-5	ULTRASONIC PHYSIOTHERAPY EQUIPMENT
IEC 60601-2-6	MICROWAVE THERAPY EQUIPMENT
IEC 60601-2-7	HIGH-VOLTAGE GENERATORS OF DIAGNOSTIC X-RAY GENERATORS
IEC 60601-2-8	THERAPEUTIC X-RAY EQUIPMENT OPERATING IN THE RANGE 10 kV TO 1 MV
IEC 60601-2-9	PATIENT CONTACT DOSEMETERS USED IN RADIOTHERAPY WITH ELECTRICALLY CONNECTED RADIATION DETECTORS
IEC 60601-2-10	NERVE AND MUSCLE STIMULATORS
IEC 60601-2-11	GAMMA BEAM THERAPY EQUIPMENT
IEC 60601-2-12	LUNG VENTILATORS FOR MEDICAL USE
IEC 60601-2-13	ANAESTHETIC WORKSTATIONS
IEC 60601-2-14	ELECTROCONVULSIVE THERAPY EQUIPMENT
IEC 60601-2-15	CAPACITOR DISCHARGE X-RAY GENERATORS
IEC 60601-2-16	HAEMODIALYSIS EQUIPMENT
IEC 60601-2-17	REMOTE-CONTROLLED AUTOMATICALLY DRIVEN GAMMA-RAY AFTER-LOADING EQUIPMENT
IEC 60601-2-18	ENDOSCOPIC EQUIPMENT
IEC 60601-2-19	BABY INCUBATORS
IEC 60601-2-20	TRANSPORT INCUBATORS
IEC 60601-2-21	INFANT RADIANT WARMERS
IEC 60601-2-22	DIAGNOSTIC AND THERAPEUTIC LASER EQUIPMENT
IEC 60601-2-23	THE SAFETY, INCLUDING ESSENTIAL PERFORMANCE, OF TRANSCUTANEOUS PARTIAL PRESSURE MONITORING EQUIPMENT
IEC 60601-2-24	INFUSION PUMPS AND CONTROLLERS
IEC 60601-2-25	ELECTROCARDIOGRAPHS
IEC 60601-2-26	ELECTROENCEPHALOGRAPHS
IEC 60601-2-27	ELECTROCARDIOGRAPHIC MONITORING EQUIPMENT
IEC 60601-2-28	X-RAY SOURCE ASSEMBLIES AND X-RAY TUBE ASSEMBLIES FOR MEDICAL DIAGNOSIS
IEC 60601-2-29	RADIOTHERAPY SIMULATORS
IEC 60601-2-30	THE SAFETY, INCLUDING ESSENTIAL PERFORMANCE, OF AUTOMATIC CYCLING NONINVASIVE BLOOD PRESSURE MONITORING EQUIPMENT

IEC 60601-2-31	EXTERNAL CARDIAC PACEMAKERS WITH INTERNAL POWER SOURCE
IEC 60601-2-32	ASSOCIATED EQUIPMENT OF X-RAY EQUIPMENT
IEC 60601-2-33	MAGNETIC RESONANCE EQUIPMENT FOR MEDICAL DIAGNOSIS
IEC 60601-2-34	THE SAFETY, INCLUDING ESSENTIAL PERFORMANCE, OF INVASIVE BLOOD PRESSURE MONITORING EQUIPMENT
IEC 60601-2-35	BLANKETS, PADS AND MATTRESSES, INTENDED FOR HEATING IN MEDICAL USE
IEC 60601-2-36	EQUIPMENT FOR EXTRACORPOREALLY INDUCED LITHOTRIPSY
IEC 60601-2-37	ULTRASONIC MEDICAL DIAGNOSTIC AND MONITORING EQUIPMENT
IEC 60601-2-38	ELECTRICALLY OPERATED HOSPITAL BEDS
IEC 60601-2-39	PERITONEAL DIALYSIS EQUIPMENT
IEC 60601-2-40	ELECTROMYOGRAPHS AND EVOKED RESPONSE EQUIPMENT
IEC 60601-2-41	SURGICAL LUMINAIRES AND LUMINAIRES FOR DIAGNOSIS
IEC 60601-2-43	X-RAY EQUIPMENT FOR INTERVENTIONAL PROCEDURES
IEC 60601-2-44	X-RAY EQUIPMENT FOR COMPUTED TOMOGRAPHY
IEC 60601-2-45	MAMMOGRAPHIC X-RAY EQUIPMENT AND MAMMOGRAPHIC STEREOTACTIC DEVICES
IEC 60601-2-46	OPERATING TABLES
IEC 60601-2-47	THE SAFETY, INCLUDING ESSENTIAL PERFORMANCE, OF AMBULATORY ELECTROCARDIOGRAPHIC SYSTEMS
IEC 60601-2-49	MULTIFUNCTION PATIENT MONITORING EQUIPMENT
IEC 60601-2-50	INFANT PHOTOTHERAPY EQUIPMENT
IEC 60601-2-51	SAFETY, INCLUDING ESSENTIAL PERFORMANCE, OF RECORDING AND ANALYSING SINGLE CHANNEL AND MULTICHANNEL ELECTROCARDIOGRAPHS

**Tabela 4 Popis specifičnih normi za sigurnost pojedinačnih medicinskih uređaja**

Korišteni uređaj je analizator opće sigurnosti biomedicinskih uređaja – Biotek 601PRO SeriesXL. Testove koje uređaj može provesti su: mjerenje mrežnog napona, potrošnju struje, otpora izolacije, otpor uzemljenja, struju curenja uzemljenja, struju curenja kućište, struju curenja prema pacijentu, curenje izvoda, dostupni napon, curenje ekvivalentnog uređaja. Klasa uređaja je Class I, a tip je type BF.

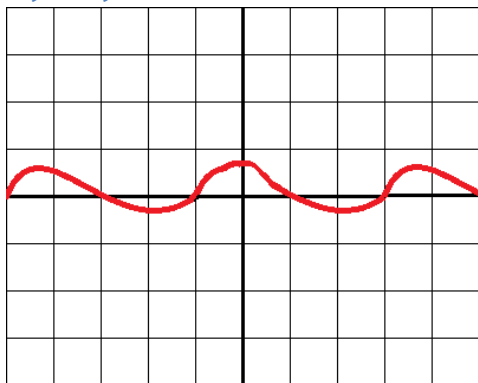
## Elektrokirurški nož

### Uvod

Elektrokirurški nož je medicinski uređaj koji koristi izmjeničnu struju frekvencija između 300kHz i 1Mhz za izvođenje kirurških funkcija rezanja, koagulacije i isušivanja biološkog tkiva. Aktivna elektroda može raditi s monopolarnim ili bipolarnim izlaznim naponom prema referentnoj elektrodi (masi). Funkcije noža (rezanje ili koagulacija tkiva) ovise o odabiru valnog oblika struje. Za rezanje (cut mode) se koristi kontinuirani neprigušeni sinusni valni oblik. Za koagulaciju tkiva (coag mode) se koristi isprekidani sinusni valni oblik sa prigušenjem na rubovima. U kirurškoj praksi se najčešće koristi kombinacija gornja dva načina rada, a zove se blend mode. Kako je rizik od ozljeda usred korištenja neispravnog noža velik, zakon propisuje sigurnosno testiranje uređaja svakih 6 mjeseci.

Analizatori sigurnosti mogu izmjeriti izlaznu snagu noža u rasponu od 1 do 400 W i to strujnom metodom (mjerenjem efektivne struje kroz radni otpor) ili naponskom metodom (mjerenjem efektivnog napona na radnom otporu). Uređaj RF303 koristi naponsku metodu za mjerenje izlazne snage. Za testiranje se koriste neinduktivni otpori veličine između 200 i 400  $\Omega$  koji simuliraju tkivo pacijenta. Kako tijelo pacijenta nije uvijek neinduktivno, potrebno je mjeriti fazni kut signala na teretu i korigirati iznos radne snage.

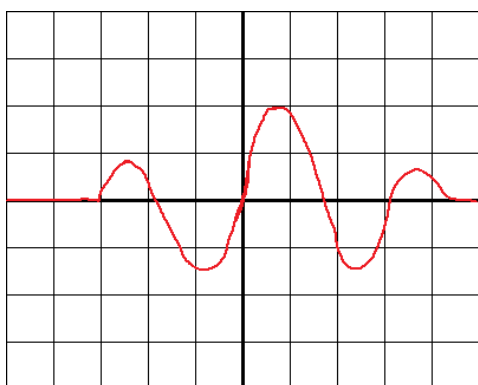
## Mjerenje



Slika 3 "cut mode"

Vrijednosti izlazne snage, izlazne struje i napona su:

$$P=240.4 \text{ W} \quad I=897 \text{ mA.}$$



Slika 4 "coag. mode"

Vrijednosti izlazne snage i izlazne struje su:

$$P=70 \text{ W} \quad I=475 \text{ mA.}$$



Slika 5 "blend mode"

Vrijednosti izlazne snage i izlazne struje su:

$$P=266 \text{ W} \quad I=950 \text{ mA.}$$

Pri smanjenju otpora tereta na 200  $\Omega$ , HF struje curenja **testa 1** iznose  $I=0$  mA od položaja 1 do položaja 5,  $I=18$  mA na položaju 6, te  $I=25$  mA pri maksimalnom položaju 10 u **CUT** modu rada. U **COAG** modu rada, HF struje curenja iznose  $I=0$  mA pri položajima 1 i 2,  $I=15$  mA pri položaju 3, te  $I=34$  mA pri maksimalnom položaju 10.

HF struje curenja **testa 2** u **CUT** modu iznose  $I=0$  mA od položaja 1 do 3,  $I=18$  mA na položaju 4, te  $I=32$  mA na položaju 10. U COAG modu rada, struje curenja iznose  $I=0$  mA za položaje 1 i 2,  $I=20$  mA za položaj 3, te  $I=46$  mA za položaj 10.

Contact Quality Monitor test se provodi kako bi se utvrdila kvaliteta kontakta pacijenta sa neutralnom elektrodom. Simuliranjem promjene otpora utvrđujemo je li mjereni uređaj u stanju primijetiti pomicanje pacijenta ili elektrode. Uređaj je dao zvučni signal promjene otpora na  $R=250 \Omega$ .

## Elektrokardiografija

### Uvod

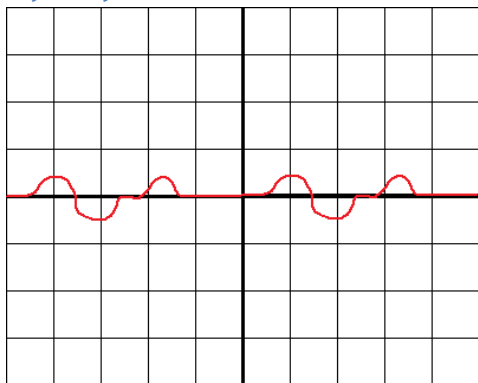
Mjerenje i prikaz napona srca ima veliku dijagnostičku vrijednost. Proces stvaranja akcijskog potencijala počinje u sinusno-atrijskom čvoru. Zato se proces depolarizacije i repolarizacije širi preko atrijske na ventrikule. Srčani napon je zbroj valnih oblika depolarizacije i repolarizacije atrijske i valnih oblika depolarizacije i repolarizacije ventrikula. Pri tome se repolarizacija atrijske i depolarizacija ventrikula odvija vremenski simultano. Repolarizacija ventrikula odstupa od uobičajenog jer počinje na mjestu gdje je depolarizacija završila nakon nekog refraktornog vremena. Razlog tome je visoki tlak u klijetkama koje ne dopuštaju repolarizaciju na mjestu gdje je počela depolarizacija.

Valni oblik EKG-a možemo podijeliti na nekoliko karakterističnih segmenata: P-val, QRS kompleks i T-val. P-val je depolarizacija atrijske, a T-val repolarizacija ventrikula. QRS kompleks je zbroj valnih oblika napona repolarizacije atrijske (Q i S šiljci), te depolarizacije ventrikula (R šiljak). Amplitude elektrokardiograma se kreću do nekoliko milivolta. Frekvencijski spektar je između 0.05 i 100 Hz.

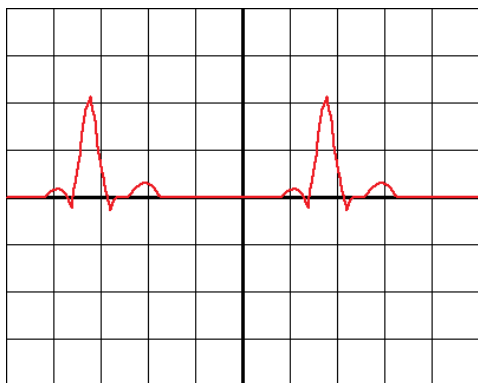
Napon srca mjerimo trima različitim metodama: Einthovenov trokut, Goldbergovi odvodi i prekordijalni odvodi. Metodom Einthovenovog trokuta, elektrode postavljamo na zapešća lijeve i desne ruke, te gležanj lijeve noge. Gležanj desne noge služi kao uzemljenje. Einthovenovi odvodi su bipolarni. Ako se potencijal jednog vrha trokuta uspoređuje sa srednjom vrijednosti potencijala drugih dvaju vrhova, onda je to monopolarni način mjerenja. Takvi odvodi se zovu Goldbergovi odvodi. Nulti potencijal se definira kao zbroj svih potencijala elektroda. Treći odvodi su prekordijalni odvodi. Ti su odvodi također monopolarni, a napon se mjeri na šest mjesta ispod lijeve dojke i zajedničke elektrode na nultom potencijalu. Nulti potencijal se dobije tako da se tri elektrode priključe na ekstremitete, preko otpora od 5 k $\Omega$ , spoje u jedno čvorište.

Na vježbi se koristi prenosivi uređaj za nadzor pacijenta marke Siemens SC 6002XL Monitor. Pored mogućnosti praćenja EKG-a, monitor može mjeriti temperaturu, zasićenost krvi kisikom, tlak, brzinu disanja itd.

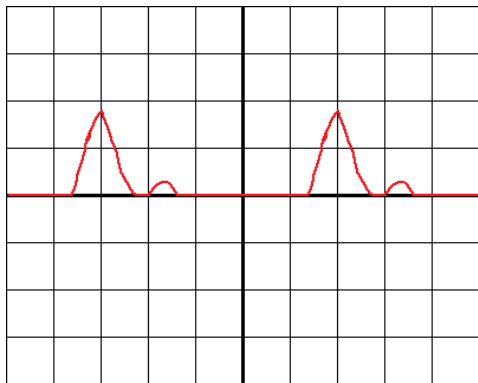
## Mjerenja



Slika 6 Kanal I



Slika 7 Kanal II



Slika 8 Kanal III

Broj otkucaja srca odraslog čovjeka je između 63 i 67 bez opterećenja, a 80 do 90 pod opterećenjem. Trajanje QRS kompleksa je oko 0.1 s.

## Elektrostimulacija i snimanje I-t krivulje

### Uvod

Mišićno i živčano tkivo može se stimulirati električnom strujom. Osim u dijagnostičke svrhe, električna stimulacija primjenjuje se i u terapijske svrhe. Za stimulaciju mišićnog tkiva potrebno je dovesti određenu količinu naboja koja je dovoljna da podraži stanicu. Odgovor tkiva na stimulaciju opisuje I-t krivulja. Minimalna struja potrebna za stimulaciju mišićnog tkiva zove se struja reobaze. Kod oštećenih neuromuskulturnih veza moguća je stimulacija, ali naboj (struja) potreban je

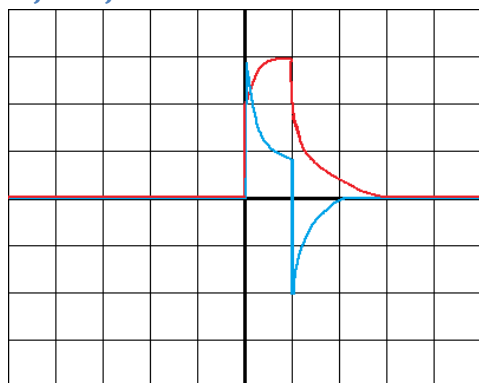


mногоstruko veći nego kod zdravog mišića. Tipične vrijednosti vremena kronaksije nekih vrsti živčanih vlakana i mišića su:

mijelinizirana živčana vlakna	0.1 do 0.2 ms
nemijelinizirana živčana vlakna	0.5 ms
skeletni mišići	0.25 do 1 ms
srčani mišić	1 do 3 ms

Dijagnostički stimulatori izvide se najčešće kao strujni izvori. Kod stimulacije konstantnom strujom ne dolazi do promjene valnog oblika impulsa pa se može točno definirati amplituda. Parametri stimulacije određeni su amplitudom, trajanjem i frekvencijom impulsa.

## Mjerenja



Slika 9 Izobličeni naponski impuls (crveno), valni oblik struje (plavo)

Ukoliko je tkivo pobuđeno pravokutnim strujnim impulsom, napon bi imao eksponencijalan pad bez skokova u fazi. Impulsi frekvencije 50 Hz su uzrokovali tetaniju.

## Mjerenje zasićenosti krvi kisikom

### Uvod

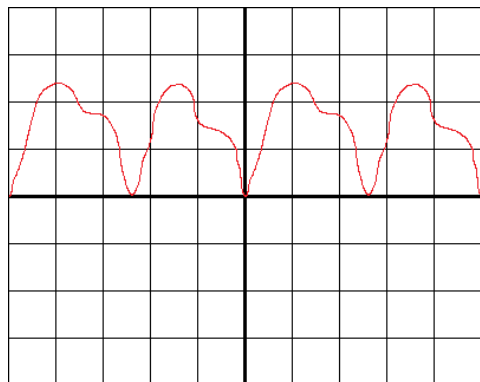
Pulsna oksimetrija je neinvazivna metoda mjerenja oksigenacije ili postotka hemoglobina koji je zasićen kisikom. Slično fotopletizmografu senzor se postavlja na vrh prsta ili na ušnu resicu. Senzor se sastoji od dva izvora svjetla valnih duljina 650 nm i 805 nm, koji se djelomično apsorbiraju u hemoglobinu u ovisnosti o zasićenosti ili nezasićenosti kisikom. Računajući apsorpciju na dvjema valnim duljinama moguće je odrediti zasićenost hemoglobina kisikom. Ova metoda ovisi o protoku krvi koji je nužan za njeno funkcioniranje jer kada ga nema ili je oslabljen moguće je da oksimeter neće raditi. Točnost mjerenja je između 70 i 100% zasićenosti uz  $\pm 2\%$  pogreške. Zasićenost ispod 90% se zove hipoksija. Računalo unutar prijenosnog modula kontrolira intenzitet LED dioda te vrši proračun zasićenosti kisika i broja otkucaja srca. Primjena modulacije intenziteta zahtjeva da ne postoji promjena intenziteta izvora sinusnog signala. Informacija o promjeni volumena sadržana je u amplitudi signala koji primi fotodetektor. Bitno je da zraka između suprotno postavljenih LED i foto diode ne prolazi kroz kost. Također udaljenost između dioda mora ostati fiksna i tokom mjerenja ne smije se mijenjati. Dioda moraju dobro prijanjati uz kožu. Odabir frekvencije od točno 1200Hz nije nužan, ona mora biti samo dosta udaljena od najviše frekvencije u spektru signala a to je oko 40Hz. Oblik signala ovisi o temperaturi okoline, disanju, poziciji senzora, vježbi, razini hormona, stanju srca. Ako se valni oblici žele uspoređivati, ovi faktori moraju biti kontrolirani. Često je drugi val koji se

pojavljuje u fotopletizmografskom signalu posljedica refleksije na grananju unutar arterijske mreže i sa godinama postaje sve manje izražen. To se objašnjava stenozama (sužavanjem).

Mjerna oprema sastoji se od Corscience–NiBP2010/ChipOx Module modula za mjerenje zasićenosti krvi kisikom, te HP EliteBook Mobile Workstation na kojem se nalazi odgovarajući software.

## Mjerenja

Zasićenost krvi kisikom je između 98 i 100%.



Slika 10 Zasićenost krvi kisikom

Umakanjem prsta u hladnu vodu, očitavanje zasićenosti kisikom opada. Razlog je promjena temperature i vlage koja uzrokuje apsorpciju LED svijetla. Opstrukcijom krvnih žila, bilo križanjem prstiju, bilo mjerenjem tlaka, zasićenost kisikom opada.

## Mjerenje krvnog tlaka

### Uvod

Pri svakoj kontrakciji klijetki (ventrikula) povećava se tlak u njima što dovodi do istiskivanja krvi u arterije. Nakon pada tlaka u klijetkama opada i tlak u arterijama. No nagli pad tlaka u arterijama nije moguć unatoč naglom padu tlaka u klijetkama, jer povrat krvi u klijetku sprečavaju semilunarni zalisci, pa postupno krvni tlak (za vrijeme dijastole) pada zbog otjecanja krvi prema manjim arterijama, arteriolama i kapilarama. Promjena tlaka između sistoličkog i dijastoličkog tlaka smanjuje se udaljavanjem od srca sve dok se ne dođe do udaljenijih arterija znatno smanjenog polumjera (manjeg od 0,2 mm). Gotovo sve neinvazivne metode mjerenja krvnog tlaka temelje se na manžeti koja se obavlja oko nadlaktice i ispunjava zrakom pod određenim tlakom koji je oko 10 do 20% veći od sistoličkog tlaka. Zatim se zrak iz manžete postupno ispušta i prate fenomeni koji se pri tome pojavljuju uz određeni tlak. Manžete se mogu staviti i oko prsta. Za neinvazivno mjerenje krvnog tlaka, najviše se koriste se tri metode: **auskultativna** metoda, **oscilometrijska** metoda i **arteriokinetska (ultrazvučna)** metoda.

Kad bude dosegnut tlak u manžeti jednak ili zatim manji od sistoličkog tlaka ps, krv počinje prolaziti u početku u vrlo kratkim vremenskim intervalima kroz arteriju. Ti kratkotrajni prolazi krvi popraćeni su, zbog vrtloženja i vibracija krvi, šumovima odnosno prigušenim tonovima koje je prvi primijetio Korotkov, pa se po njemu i zovu **Korotkovljevi šumovi**. Tlak u manžeti pri kojem su se pojavili prvi Korotkovljevi šumovi jest **sistolički tlak**. Daljim smanjenjem tlaka u manžeti Korotkovljevi šumovi mijenjaju svoj sadržaj, ali i intenzitet, tako da su u području srednjeg tlaka najtiši, da bi se opet primicanjem tlaka u manžeti **dijastoličkom tlaku** ponovno počeli jačati.

Mjerna oprema sastoji se od Corscience–NiBP2010/ChipOx Module modula za mjerenje zasićenosti krvi kisikom, te HP EliteBook Mobile Workstation na kojem se nalazi odgovarajući software.

## Mjerenja

Uz opuštenu ruku i šaku izmjereni tlak je 140/80 mmHg. Stiskanjem šake ili podizanjem ruke iznad glave krvni tlak pada. Spusti li se ruku, krvni tlak raste. Mjerenjem tlaka na podlaktici mjerimo tlak na arterijama manjeg promjera pa su sistolički i dijastolički tlakovi bližih vrijednosti.

## Spirometri

### Uvod

Disanje se ostvaruje povećavanjem ili smanjenjem volumena pluća, što se opet postiže spuštanjem ili dizanjem dijafragme (ošita) ili podizanjem ili spuštanjem rebra, 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. 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** (IRV) (oko 3000 cm<sup>3</sup>). Ako od minimalnoga respiracijskog volumena izdahnemo najveću moguću količinu zraka, onda tu količinu zraka zovemo **ekspiracijski rezervni volumen** (ERV) (oko 1100 cm<sup>3</sup>). Količina još preostalog zraka koji se ne može nikako više izdahnuti zove se **rezidualni volumen** (RezV), a taj je obično u granicama od 1000 do 2500 cm<sup>3</sup>. Još se mogu uočiti tri kapaciteta, a to su: **vitalni kapacitet** (VK), **totalni kapacitet** (TK) i **funkcionalni rezidualni kapacitet** (FRK). 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. 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. Tlakomjer razlike tlakova pretvara u mjerenje pomaka membrane u tlakomjeru, a ti se pomaci opet mjere induktivnim ili tenzometrijskim otporničkim pretvornicima. 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** (FEV<sub>0</sub>). FVK je volumen zraka koji se može maksimalno izdahnuti nakon maksimalnog udisaja, forsiranom ekspiracijom. FEV<sub>1</sub>% je postotak FEV<sub>1</sub> prema FVK.

## Mjerenja

Ekspiracijski volumen je vrijednosti 1415 ml, a inspiracijski 1957. Iz podataka o trajanju protoka i količine protoka ekspiracije,  $t_{eks}=3$  s i  $\Phi_{eks}= 30$  l/min, dobije se 1500 ml. Za inspiraciju, rezultati su  $t_{ins}= 4$  s i  $\Phi= 29$  l/min, te volumen od 1900 ml. Rezultati se podudaraju s mjerenjima. Simulacijom opstrukcije kanala, protok se smanjuje, dok se nakon uzimanja sredstva za proširenje bronha, protok povećava.