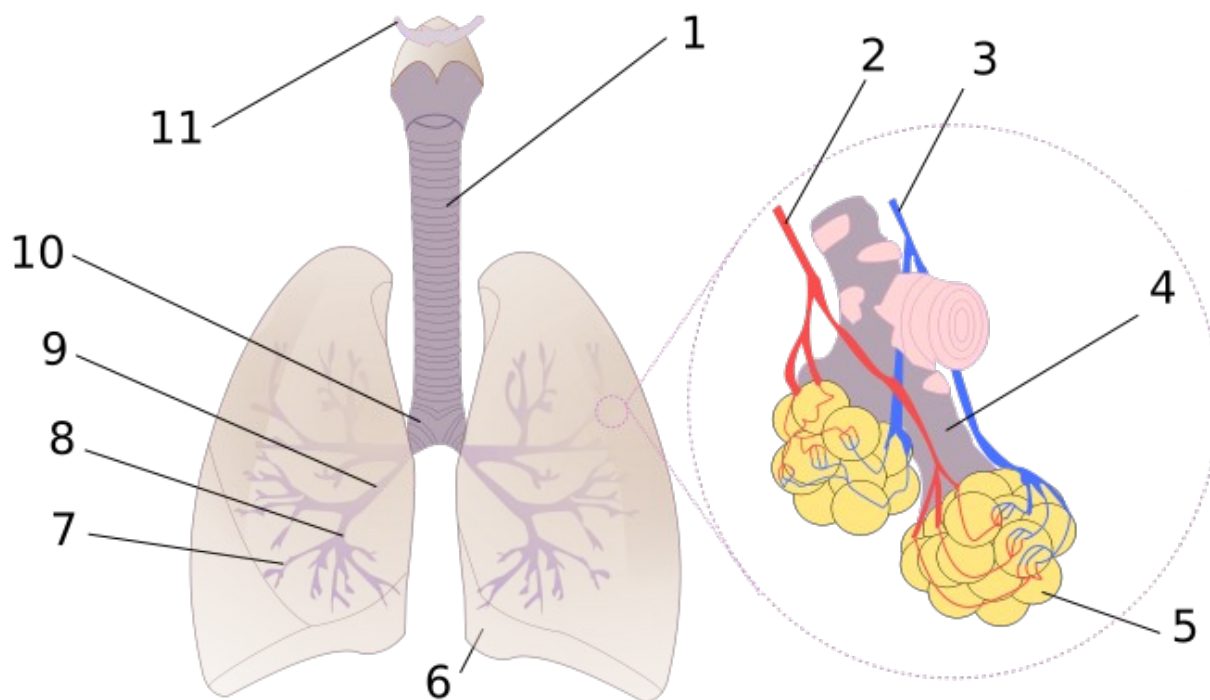


11. УРЕЂАЈИ ЗА МЕРЕЊЕ ФУНКЦИОНИСАЊА И ЗАМЕНУ ПЛУЋА И СРЦА

Плућа су орган за *дисање* којим се врши процес размене гасова између организма и околине при чему организам узима *кисеоник* а избацује *угљендиоксид*.

Кисеоник O_2 је основни елеменат и **угљендиоксид** CO_2 основно једињење за функционисање читавог живог света на Земљи, како *биљка* тако и *животиња*.

Биљке помоћу енергије сунчеве светлости процесом фотосинтезе од воде и угљен диоксида производе кисеоник, глукозу и масти. Животиње за стварање енергије потребне за обављање животних функција користе кисеоник, шећер и масти, а као отпадни продукт избацују угљендиоксид.



Сл. 11.1. Анатомски приказ плућа: 1) душник, 2) плућна артерија, 3) плућна вена, 4) алвеолни дукт, 5) алвеола, 6) пречага, 7) бронхије, 8) терцијарна бронхија, 9) секундарна бронхија, 10) примарна бронхија, 11) гркљен

Плућа и дисање су предмет медицинске области која се зове *пулмологија*.

На слици 11.1 приказана је анатомија плућа која садрже два плућна крила са огранцима душника, бронхијама различитог промјера и огромим бројем алвеола окружених мрежом крвних капилара. Алвеоле врше такозвану спољашњу размену гасова. У алвеолама кисеоник се везује за хемоглобин који се налази у крви, а из крви се у алвеолама ослобађа угљендиоксид. Кисеоник даље из крви прелази у ткиво, где оксидише угљеник у угљендиоксид и водоник у воду. Угљендиоксид путем крви преноси се у супротном смеру и преко алвеола издисајем избацује из организма.

Дисајни покрет иницира условни рефлекс који се стиче рођењем. У процесу дисања размена гасова се обавља дифузијом, односно кретањем гаса од места веће концентрације ка

11. Уређаји за мерење функционисања и замену плућа и срца

месту где је концентрација мања. Уколико ова размена гасова из било ког разлога буде ометена, односно уколико снабдевање организма веома значајним и потребним кисеоником буде спречено, већ само после 60 до 90 секунди човек губи свест, а после 4 до 5 минута наступа и његова смрт.

Дисајним покретима непрестано се ритмички мења капацитет грудне дупље. Због овога настају разлике у притисцима ваздуха, који се увек дифузионо креће у смеру нижег притиска. Мењање капацитета грудне дупље врши се деловањем дисајних мишића који се деле на: *инспираторне* и *експираторне*.

За време *инспирације*, тренутка удисаја коју условљава главни инспиративни мишић - дијафрагма, повећава се капацитет грудне дупље, ваздух у алвеолама се разређује, па унутрашњи притисак постаје нижи од атмосферског и ваздух дисајним путевима из околине улази у плућа.

За време *експирације*, тренутка издисаја условљене контракцијом мишића грудног коша која доводи до смањења запремине грудне дупље, одиграва се обрнути процес, па угљендиоксид, опет дисајним путевима, напушта организам и нагомилава се у околину.

Одрастао човек у нормалним ситуацијама, у случајевима када није изложен оптерећењу, сваким удисајем, инспирацијом, узима око 500cm^3 чистог ваздуха чинећи обично 12 до 18 удисаја у минути. При оптерећењу он убрзава дисање и до 25 удисаја у минути, при чему удахне и до литар ваздуха. Утренираношћу капацитет плућа знатно се увећава и достиже вредности чак и до 4, па и 5 литара удахнутог ваздуха.

Стање дисајних органа, а посебно стање плућа као најважнијег органа из система органа за дисање, испитује се применом разних инструмената почев од *спирометара*, *пнеумотахографа* и *уређаја за вештачко*, контролисано, *дисање*, који се у стручној медицинској литератури води и као *вештачка плућа* до рентгена, којим се врше комплетна снимања целог дисајног система за дијагностичке сврхе.

У плућа из срца долази венска крв са повећаном концентрацијом угљен диоксида и смањеном концентрацијом кисеоника а у срце се враћа крв са смањеном концентрацијом угљендиоксида и повећаном концентрацијом кисеоника.

Срце је витални орган који представља пумпу која покреће крвоток. Срце је предмет медицинске области која се зове *кардиологија*. За праћење рада, мерење параметара и замене појединих делова и читавог срца развијени су посебни уређаји и технике. Електрична активност срца прати се помоћу електрокардиографа, описаног у другом поглављу. У овом поглављу описани су уређаји за мерење механичке активности срца и параметара крвотока, као и уређаја за замену срца.

11.1. Мерење функционисања плућа

Плућа у сваком тренутку садрже одређену количину, тј. одређену запремину ваздуха. У току вентилације алвеола она се мења, па се зато садржај ваздуха у плућима у одређеном моменту дефинише преко статичке запремине плућа, док количина ваздуха која прође кроз алвеоле при издисају за одређени временски интервал представља динамички, односно функционални капацитет плућа. Обе запремине мере се инструментима који се називају *спирометри* или *спирографи*. Спирографима се осим очитавања, што се остварује и спирометрима, врши и запис података о запремини ваздуха, тј. врши се и графичко

11. Уређаји за мерење функционисања и замену плућа и срца

записивање измерених запремина плућа. Такви записи називају се спирограми. Скоро искључиво користе се за успостављање правих и квалитетних дијагноза о стању плућа.

Најједноставнији модел спирометра је Хачкинсонов спирометар који чини посуда ваљкастог облика напуњена водом у коју је уроњено покретно цилиндрично звоно. Звоно је повезано са спољашњим тегом којим се прти подизање звона и количина издахнутог ваздуха којом се звоно пуни. Противтег је у могућности да задржи тренутни положај звона, па се издахнута запремина ваздуха веома лако може да очита са скале мерног инструмента који се такође налази у склопу система, или да се уцрта на папирну траку регистратора. Такав дијаграм назива се *спирограм*, а цео уређај *спирограф*.

Пнеумотахограф је уређај за мерење протока ваздуха у току инспирације и експирације. Његов најзначајнији елемент је претварач у коме се проток ваздуха претвара у електрични сигнал и тиме омогућава његово мерење. Њиме се може да мери и запремина ваздуха, као и спирометром, уколико се добијени сигнал са излаза претварача пропусти и кроз коло за интеграње.

Плетизмографија је најновија метода испитивања човечје респираторне (дисајне) функције апаратом са отвореним системом за дисање, који се назива *плетизмограф*.

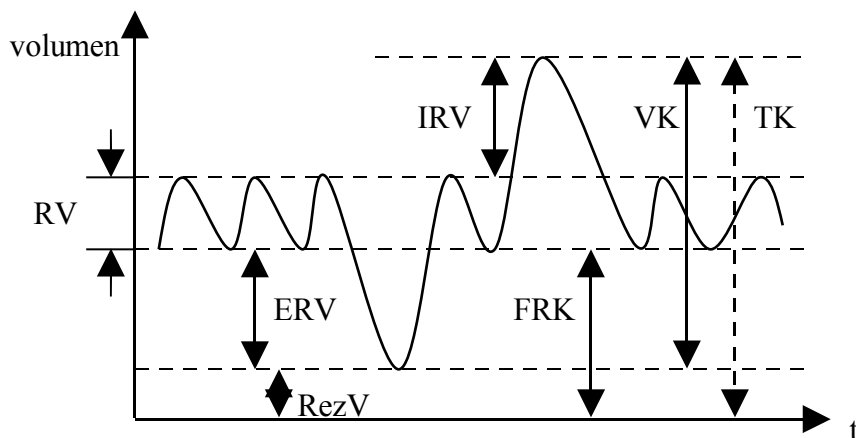
Вентилација, механика дисања и уопште респираторне функције, испитују се индиректно мерењем и регистровањем унутрашњег ваздушног притиска, а не одређивањем респираторних параметара као што је нпр. запремина плућа, која се одређује класичним спирографским испитивањима. Отворени систем за испитивање дисајне функције конструисан је на принципу директног мерења притиска манометром у плетизмографској кабини, у којој се поставља испитаник и дозвољава му се да слободно дише преко усног наставка плетизмографа.

Ни један од поменутих уређаја не може да мери резидуалну запремину плућа. Ово је заостала количина ваздуха у плућима после максималне експирације (издисаја). За њено мерење користи се *пулмоанализатор*, посебан уређај за анализу гасова, којим се одређују заостале концентрације кисеоника, угљендиоксида, водене паре.

Плућа у процесу дисања мењају запремину. Карактеристично је неколико плућних запремина, волумена како је приказано на слици 11.2. Код нормалног дисања – респирације запремина плућа мења се у мањим границама од 400 до 500 ml и то се означава као *респирацијски волумен - RV*. Ако при нормалном респирацијском волуму удahnemo највећу још могућу количину ваздуха, онда тај удahnuti ваздух зовемо *инспирацијски резервни волумен – IRV*, око 3 000 cm³. Ако од минималног респирацијског волумена издахnemo највећу могућу количину ваздуха, онда ту количину ваздуха зовемо *експирацијски резервни волумен – ERV*, око 1100 cm³. Количина још преосталог ваздуха који се не може никакo више издахnuti зове се *резидуални волумен Rez V*, а тај је обично у границама од 1000 до 2500 cm³.

Још се могу уочити три капацитета а то су: *vitalni kapacitet VK*, *totalni kapacitet TK* и *funkcionalni rezidualni kapacitet FRK*. *Vitalni kapacitet* плућа представља, према слици 11.2, волумен ваздуха што га човек након пуног удисаја издише до краја до којег још може, па када остаје неиздахнут само резидуални волумен. *Vitalni kapacitet* је код младог одраслог мушкарца отприлике 4 600 cm³, а код жене 3 200 cm³. Али те се вредности могу прилично разликовати од наведених. *Totalni kapacitet* плућа је целокупан волумен плућа (*vitalni* капацитет и резидуални волумен), а *funkcionalni rezidualni kapacitet* плућа има резидуалном волуму придодат још експирацијски резервни волумен. *Funkcionalni rezidualni kapacitet* сразмеран је старости и висини.

11. Уређаји за мерење функционисања и замену плућа и срца



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

Сл. 11.2. Карактеристични плућни волумени

Уопштено се може рећи да су плућни волумени мањи код жена за приближно 25% него код мушкарца, а зависе и од старости и висине. Мерење виталног капацитета једно је од најважнијих клиничких мерења респирације које омогућује процену напредовања различитих болести као што су туберкулоза, емфизем, карцином плућа, хронична астма и бронхитис итд.

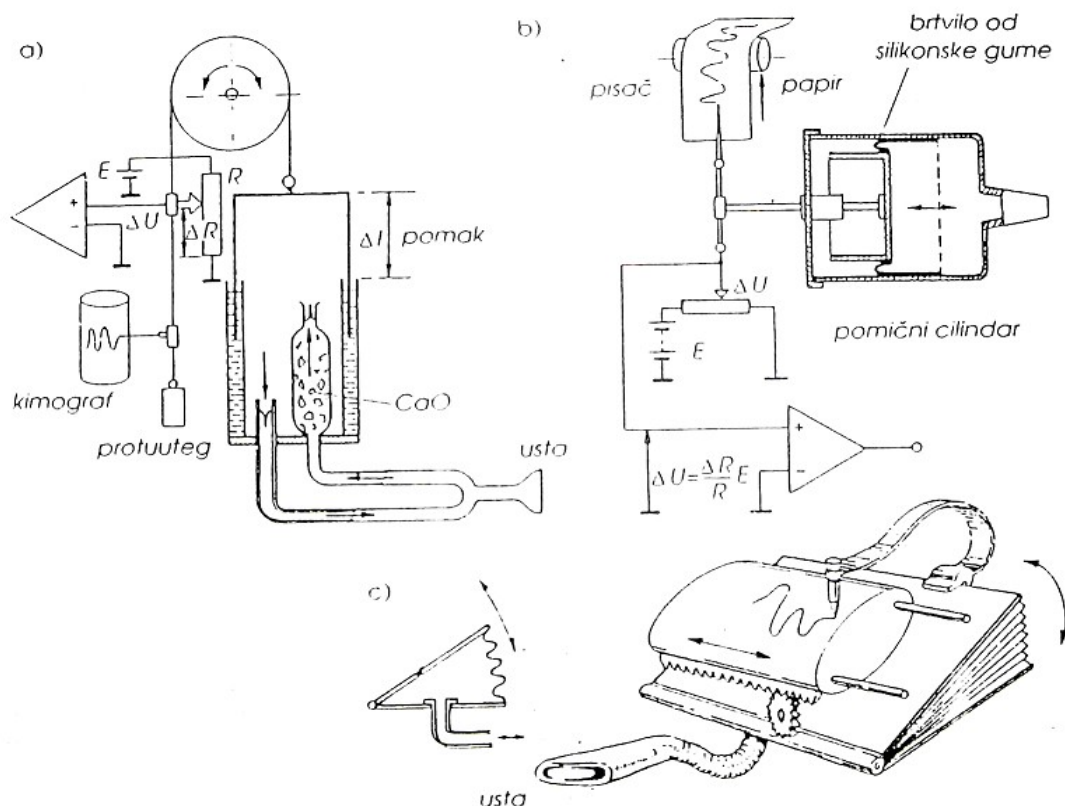
Spirometri су уређаји који мере волумене плућа и njihove промене и могу их регистровати на папиру. Тако се добија графички приказ који одговара оном приказаном на слици 11.2. Из графичког приказа добијеног spirometrom могу се одредити респирацијски, инспирацијски и експирацијски резервни волумен, па и витални капацитет плућа. Spirometri могу бити мокри и суви, затвореног и отвореног типа.

Spirometar мери волумен udahnutog и izdahnutog vazduha тако да се покретни валјак са потпуним кућиштем pomiče unutar nepomičnog valjka. Nepokretni valjak spojen je са plastičnom cevi у ustima ispitanika. Како испитаник дише, тако се pomiče и покретни валјак. Помаци валјка сразмерни су промени волумена. Ти су се помаци у старијим варијантама директно преносили на папир који је био постављен на rotirajućem bubnju. Данас се ти помаци otporničkim pretvaračem pomeraja pretvaraju у napon или struju srazmernu pomeraju па након pojačanja одводе на писаћ. Папир помера моторни механизам испод писалјки писаћа, као што је то изведено и код уређаја за мерење напона срца или мозга. Посебан опрез мора се посветити изради кућишта са што мањим trenjem како се не би ometalo kretanje покретног валјка. Код такозваног mokrog типа кућиште је решено тако да се stacionarni deo састоји од два koncentrična valjka male разлике у promerima. Простор између тих валјака испуњен је водом, а покретни се валјак налази између два koncentrična stacionarna valjka, као што је и приказано на слици 11.3.a. На тај начин остварује се савршен оклоп уз занемарљиво trenje. Тежина покретног валјка уравнотежује се преко горњег тоčka са protivtegom који је обешен са друге стране. Недостатак овог spirometra је тежина валјка и protivtega, који својом масом utiču на gonju граничну frekvenciju frekvencijske карактеристике spirometra. Унутар валјка је vazduh, који се при dužem merenju затрује повећањем ugljen-dioksida, CO₂, и smanjenjem kiseonika, O₂. Зато је та

11. Уређаји за мерење функционисања и замену плућа и срца

jednostavna verzija za kratkotrajnu upotrebu. Upotreba spirometa se može produžiti ako se izdahnuti vazduh čisti. To se postiže promenom plastične cevi za disanje sa dvostrukom cev, gde izdahnuti vazduh prolazi kroz jednu cev, a udahnuti kroz drugu prema slici **3.a**. Kroz koju će cev vazduh prolaziti određuju ventili, koji se otvaraju samo u jednom smeru. U proširenom delu cevi za udisanje postavljaju se komadići kalcijum-oksida, koji na sebe vežu otrovni ugljen-dioksid te se stvara kalcijum-karbonat.

Kod suvog spirometra izbegnuta je voda između dvostrukih ploča i teg za ravnotežu. Ovde stacionarni deo ima samo jedan cilindar koji je spojen sa pokretnim valjkom pomoću posebnog kućišta od silikonske gume dovoljno duge da dopusti nesmetano kretanje pokretnog valjka (sl. **3.b**). Ipak je u ovom slučaju trenje veće nego u prethodnom. Ta izvedba zbog manje mase ima bolju frekvencijsku karakteristiku sa većom gornjom graničnom frekvencijom.

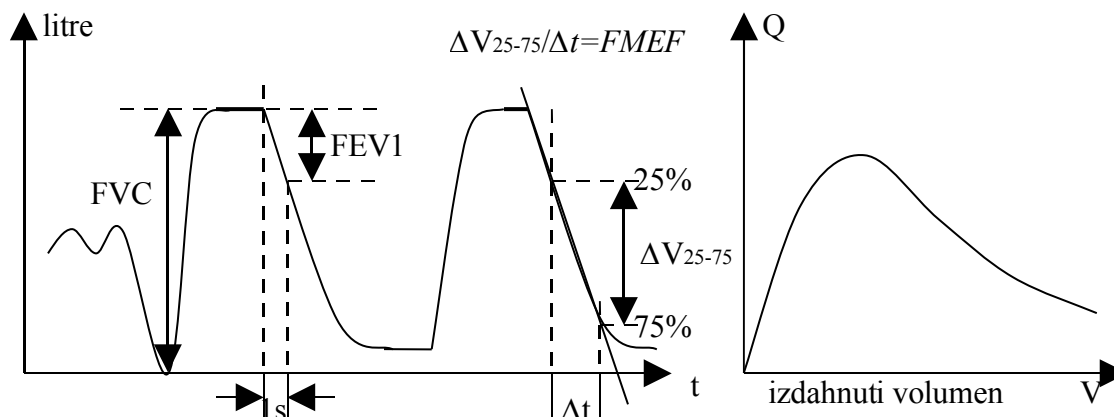


Сл. 11.3. а) Spirometar mokrog tipa; б) spirometar suvog tipa; в) spirometar klinastog tipa

U spirometre suvog tipa ubraja se spirometar sa mehom **klinastog tipa**. Taj tip spirometra danas se dosta upotrebljava zbog svoje jednostavnosti. Njegov meh ima oblik »poluotvorene knjige« na rubovima zatvorene mehom kao kod harmonike, kako je to prikazano na slici **3.c**. Pri tome je jedna strana »korice knjige« nepokretna, a druga se menja prema količini izdahnutog vazduha. Ovaj spirometar meri samo ekspiracijske volumene i vitalni kapacitet. Promena volumena može se prikazati direktno pisačem, a može imati ugrađen i potenciometerski pretvarač pomeraja za dalju električnu obradu i priključak za računar. Kao pretvarač pomeraja može se upotrebiti i indukcioni pretvarač. Sila koja se mora disanjem savladati vrlo je mala i iznosi otprilike 13 Pa. Tim se spirometrom osim vitalnog kapaciteta meri i forsirani vitalni kapacite (FVC), kao i forsirani izdisajni (ekspiracijski) volumen nakon prve sekunde (FEV1), kao i forsirani ekspiracijski protok sredinom ekspiracije (FMEF 25%-75%) definisan kao promena ekspiracijskog volumena između

11. Уређаји за мерење функционисања и замену плућа и срца

njegove 25% i 75%-tne maksimalne vrednosti. To je prikazano na slici 4.a. Važne podatke daje i kriva protok – izdahnuti volumen za otkrivanje patologije malih disajnih puteva sa obzirom na položaj i veličinu maksimuma na krivoj što je prikazano na slici 4.b. Veličine kao smanjeni forsirani ekspiracijski protok, povećanje rezidualnog volumen te veličina funkcionalnog rezervnog volumena i titalnog i vitalnog plućnog kapaciteta važne su u dijagnostici astme, emfizema pluća, hroničnog bronhitisa itd. Pri upotrebi računara mogu se odrediti još i različite procene navedenih veličina.



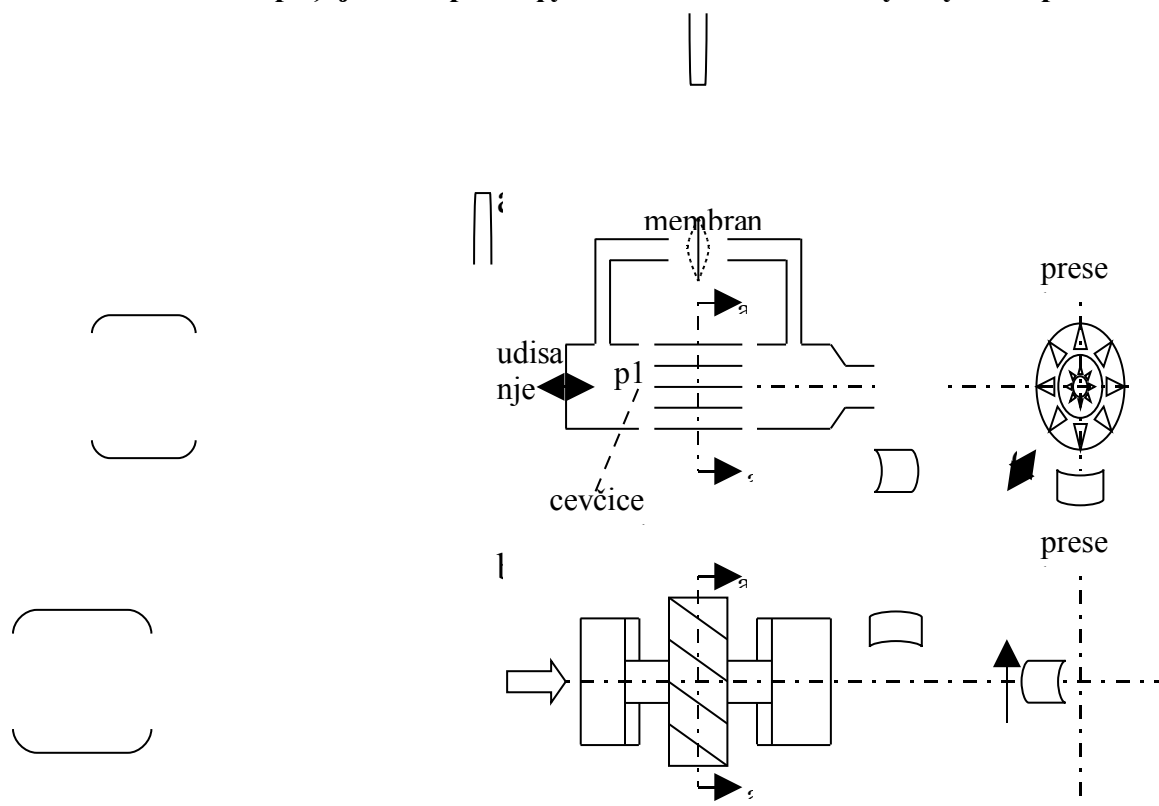
Сл. 11.4. а) Мерење forsiranog vitalnog kapaciteta (FVC) i izdisajnog kapaciteta (FEV1), te ekspiracijski protok sredinom ekspiracije (FMEF 25% - 75%); б) kriva protok – izdahnuti volumen (Q - V)

Spirometri mogu meriti promene volumena najviše od 8 do 10 litara.

Osim spirometara zatvorenog tipa, koji su do sada opisani, u upotrbi su i **spirometri otvorenog tipa** koji su manjih dimenzija jer nemaju bubanj, nego mere protok vazduha sa malim meračem protoka. Na osnovu izmernog protoka može se odrediti promena volumena integriranjem protoka. Ti spirometri imaju zatno 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 ovog tipa u stvari meri protok, a merač protoka vazduha zove se pneumotahograf. Pneumotahograf ima u cevi kroz koju struji vazduh iz pluća ugrađen merač brzine v strujanja gasa.

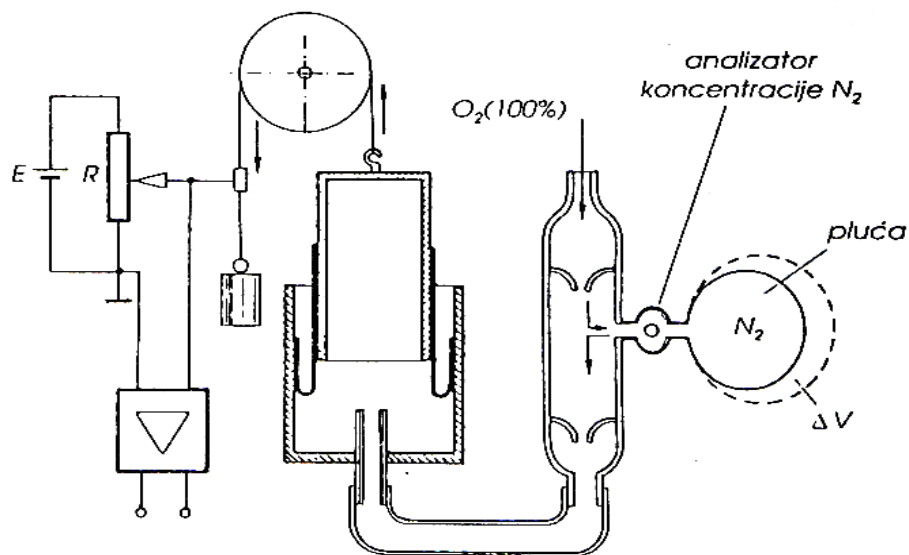
Brzina strujanja vazduha može se utvrditi i turbinskim točkom postavljenim u struju vazduha u cevi prema slici 11.5. Brzina okretanja ovog točka zavisi od brzine strujanja vazduha koji se vrti vrlo lako, okrećući turbinski točkić, jer postoji linearni odnos između brzine strujanja vazduha i broja obrtaja točka u sekundi. Taj linearni odnos gubi se pri malim brzinama strujanja, tako da se pravi greška jer su pokazane vrednosti premale.

11. Уређаји за мерење функционисања и замену плућа и срца



Сл.11. 5. Spirometri otvorenog tipa: а) са препреком б) са турбинским тоčkićем

Da bi se odredio volumen, potrebno je izvesti integraljenje, tako da celokupni uređaj uz pretvarač ima još pojačalo i integrator, pa se uz protok može prikazati i promena volumena. Dobijene krive prikazuju se na monitoru, mogu se zapamtiti, a mogu se i nacrtati koordinatnim pisačem. Zapisivanje traje obično 6 ili 12 sekundi sa brzinom kretanja papira 3 cm/s.



Сл. 11.6. Spirometar otvorenog tipa за мерење функционалног резидуалног капацитета

11. Уређаји за мерење функционисања и замену плућа и срца

На слици 11.6 је приказан spirometar **otvorenog tipa**, тј. који може примати кисеоник O₂ споља при сваком удисају. Ако је на почетку резервоар у свом најнижем положају био испуњен кисеоником O₂, онда ће дисањем при сваком издисају изlazити азот из плућа, па ће се након 2 до 3 минута дисањем плућа потпуно »испрати«. Одређивањем количине азота у кисеонiku накнадно се може утврдити величина функционалног резидуалног капацитета. Колочина азота N₂ може се одредити континуираним мерењем концентрације N₂ и њезиним интегрирањем за цело време мерења. Више се употребљава метода која функционални резидуални капацитет одређује у затвореној петљи.

11.2. Уређаји за вештачко дисање

Уређаји за вештачко дисање представљају системе који обављају вентилацију плућа у моменту када организам пацијента није више у могућности да то сам уради. Оно што се од њих посебно захтева је да се она остварује на што приближнији начин природном дисању и под условима максимално сличним онима који владају код нормалног дисајног процеса. Тражи се још и то да су у могућности да осигурају снабдевање организма потребном количином кисеоника и да врше квалитетну елиминацију сувишног угљендиоксида из организма. Осим овога, апарати за вештачко дисање треба да су у стању да пацијенту пруже и довољну количину ваздуха, која се обично креће у границама од (6 до 10) *l* у минути.

Исто тако, притисак који ствара овај апарат мора да одговара физиолошким условима пацијента како не би настао, због повећаног унутрашњег притиска ваздуха, отпор враћању венске крви у десну страну срца. Код физиолошког дисања ово се не може да деси, јер се, због ширења грудног коша за време инспирације, удисаја, ствара негативан притисак у грудној дупљи што доводи до ширења плућа и “усисавања” крви из вена у десну страну срца.

На жалост, ни један од до сада реализованих апарата за вештачко дисање није у могућности да у потпуности симулира праве физиолошке прилике у грудном кошу. Готово сви они раде на принципу да ваздух у плућа убацују под већим притиском него што је притисак у грудној дупљи, па то значајно отежава доток крви у десну страну срца. Последица овога је престанак тока крви у периферним венама, мања радна запремина срца и појава шока. Ово стање веома је опасно за кардиоваскуларне болеснике, јер они и онако нагињу колапсу, а појава шока је управо то.

Да би уређаји за ову намену могли што боље да удовоље основним законима вентилације плућа и циркулације крви, важно је да средњи унутрашњи притисак у грудној дупљи буде што нижи, јер је тада негативно деловање апарата на враћање крви у десну страну срца, на његову радну запремину и на крвни притисак, знатно умањено.

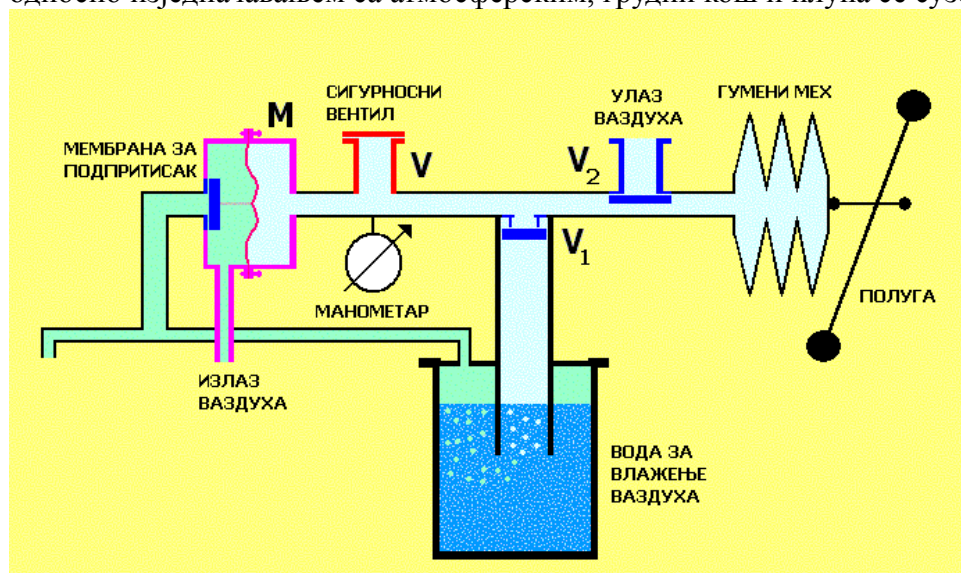
Према принципу рада и начину деловања апарати за вештачко дисање деле се у 4 групе. То су:

- *Апарати којима се дисање остварује променом притиска на површини тела, тзв. челична плућа;*
- *Апарати којима се створеним надпритиском механички убацује ваздух у плућа;*
- *Апарати којима се ритмичким променама положаја тела и трбушних органа мења и положај дијафрагме;*
- *Апарати којима се електричним импулсима надражује мускулатура за дисање.*

Код челичних плућа тело болесника редовно се налази затворено у цилиндру у коме се ритмички мења притисак. Када се притисак у цилиндру снижава, релативно виши

11. Уређаји за мерење функционисања и замену плућа и срца

атмосферски притисак шири плућа и настаје удисај. Враћањем притиска у цилиндру на нулу, односно изједначавањем са атмосферским, грудни кош и плућа се сузе и тако настаје издисај.



Сл. 11.7. Принципијални цртеж уређаја за вештачко дисање са надпритиском

Принцип рада апарата друге врсте за вештачко дисање, којим се надпритиском ваздух убацује у плућа приказан је сликом 11.7. Полуга се преко сервосистема покреће мотором, мада се, у случају нестанка напајања електричном енергијом, она може и ручно да покреће. Покретима полуге шири се и сабија гумени мех. При померању полуге у десно мех се, уз отварање вентила V_2 , а затварања V и V_1 , пуни чистим ваздухом. Истовремено се и мембрана M за стварање подпритиска креће у десно, чиме се празне плућа од нечистог ваздуха.

Кретањем полуге у лево у гуменом меху ствара се надпритисак, који затвара вентил V_2 , отвара V_1 и пропуштајући ваздух кроз суд за његово влажење одводи га у плућа пацијента. Сигурносни вентил V остаје затворен за све време док притисак не нарасте преко унапред одређеног, који је назначен на манометру. Покрети мембране M у овом делу циклуса немају никаквог значаја. Овде сервосистем са одговарајућим електронским системом контролише и одржава број удисаја, количину ваздуха и остале значајне дисајне параметре у строго дефинисаним оквирима.

Код апарата треће групе пацијент се смешта у кревету за њихање. Мењањем положаја његовог тела из хоризонталног у вертикални настаје спуштање дијафрагме, при чему се запремина плућа битно повећава стварајући услове за удисај, а променом положаја тела из вертикалног у хоризонтални услове за издисај, јер дијафрагма сада врши притисак на плућа и смањује њихову запремину.

Принцип апарата којима се мускулатура за дисање надражује електричним струјним импулсима веома је једноставан. Потребно је само електричним импулсима из посебног уређаја изазвати ритмичко надраживање коже врата. Као резултат оваквог директног надраживања врата условиће се контракције дијафрагме што је предуслов за неприродно, вештачко дисање, које ће се континуално одвијати.

11. Уређаји за мерење функционисања и замену плућа и срца

11.3. Мерење крвног притиска

Крвни притисак је притисак крви на зидове артерија. Артеријски крвни притисак се мења у складу са радом срца од најниже вредности која се зове *дијастола* до највише која се назива *систола*. Уређаји за мерење крвног притиска приказују обе вредности притиска доњег – дијастоличног и горњег – систоличног.

Крвни притисак се мери у милиметрима (mm) живе (mm Hg) и мерење се оčitava прво систолични а после дијастолични. Крвни притисак očitан npr. 140/90 се односи око 140 над 90 mm Hg.

Standardna klasifikacija od visokog do niskog krvnog pritiska

Normalno: sistolични: око 140 mm Hg

 diastolični: до 90 mm Hg

Kritična granica: sistolични: 140-160 mm Hg

 diastolični: 90-95 mm Hg

Visoki krvni pritisak: sistolични: виши од 160 mm Hg

 diastolični: виши од 95 mm Hg.

При упумпавању крви у артерије, њен притисак расте, а за време паузе вредност крвног притиска се смањује. Ритмичи рад срца и еластичне променама ширина крвних судова одржавају крвни притисак, чија се висина мења од неке максималне до минималне вредности. У времену *систоле*, сакупљању срца, када оно истискује крв кроз аорту, еластичне промене артерије се повећавају што условљава повишење крвног притиска, који у овом случају достиже своју максималну вредност, која се назива: *систолни*, “горњи” *притисак*. У другом делу ритмичког дејства срца, притисак крви у крвним судовима снижава се и достиже своју минималну вредност, која се назива: *дијастолни*, “доњи” *притисак*. Разлика ових вредности назива се амплитуда крвног притиска или *пулсни притисак*. Систолни притисак код потпуно здравих људи при физичком и психичком мировању креће се између (90 и 140)mmHg стуба, а дијастолни између (60 и 90)mmHg стуба.

Са удаљавањем крви од срца дуж крвних судова, настаје и снижавање крвног притиска. Зато су његове највише вредности садржане у аорти, а најниже у капиларима и малим венама. Висина крвног притиска зависи од низа фактора од којих су најважнији: количина крви у крвним судовима, њихов капацитет, њихова отпорност којом сеprotиве протоку крви кроз њих, вискозност крви, фреквенција срчаних контракција, однос времена трајања систоле и дијастоле, брзина протицања крви кроз периферне крвне судове, итд.

Међу мерењима притиска различитих течности у људском организму мерење висине крвног притиска сврстава се у групу најважнијих за оцену стања виталних функција организма. Мерне методе висине крвног притиска деле се на две групе, на: *директне* и *индиректне*.

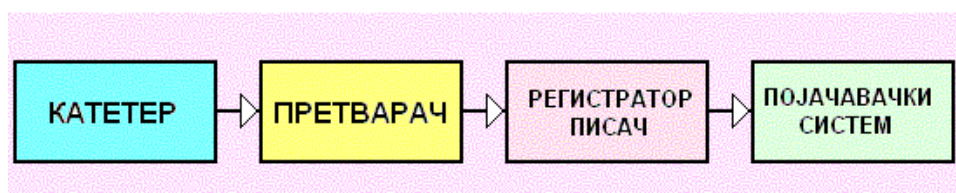
11.3.1. Директно мерење крвног притиска

Метода директног мерења висине крвног притиска заснива се на увођењу посебног пријемног (сензорског) органа електроmedicineског мерног уређаја у неки од крвних судова. Сензорски орган уређаја за снимање крвног притиска је претварач неелектричне величине, што је сам крвни притисак, у напон, електричну величину, која се након обраде у мерном уређају графички представља на екрану осцилоскопа или се, што је скоро редовно случај, региструје на хартији писача. Увођење трансдјусера, као што су на пример индуктивни, у крвне судове остварује се катетером или ињекционом иглом. Претварачи се у артерију

11. Уређаји за мерење функционисања и замену плућа и срца

увлаче довољно дубоко да би се до мерног уређаја што верније могла да пренесе разлика крвног притиска која постоји у артеријском систему.

Иако је са становишта технике ова метода најсавршенија, она практично има и велике недостатке. Наиме, дуготрајна примена катетера може да узрокује инфекције код болесника, па и појаву тромба, што је веома опасно. Зато се убадање (пункција) артерије ради увлачења катетера не примењује увек, тим пре што се ињекционом иглом постижу чак и тачнија мерења. Њеним коришћењем разлика притиска директно се преноси на мерни систем, што са катетером није случај, јер се његовим коришћењем, због релативно великих димензија претварача, претварач не уводи директно у артерију. Катетер се онда са њим спаја цевчицом испуњеном крвљу, што говори да се детектована разлика притиска преноси претварачу преко овог крвног стуба. Овакав систем преноса података о мереној величини условљава често и грешке у мерењу, које су код ињекционе игле избегнуте, јер се са њом, димензионо мали претварачи, директно увлаче у артерију.



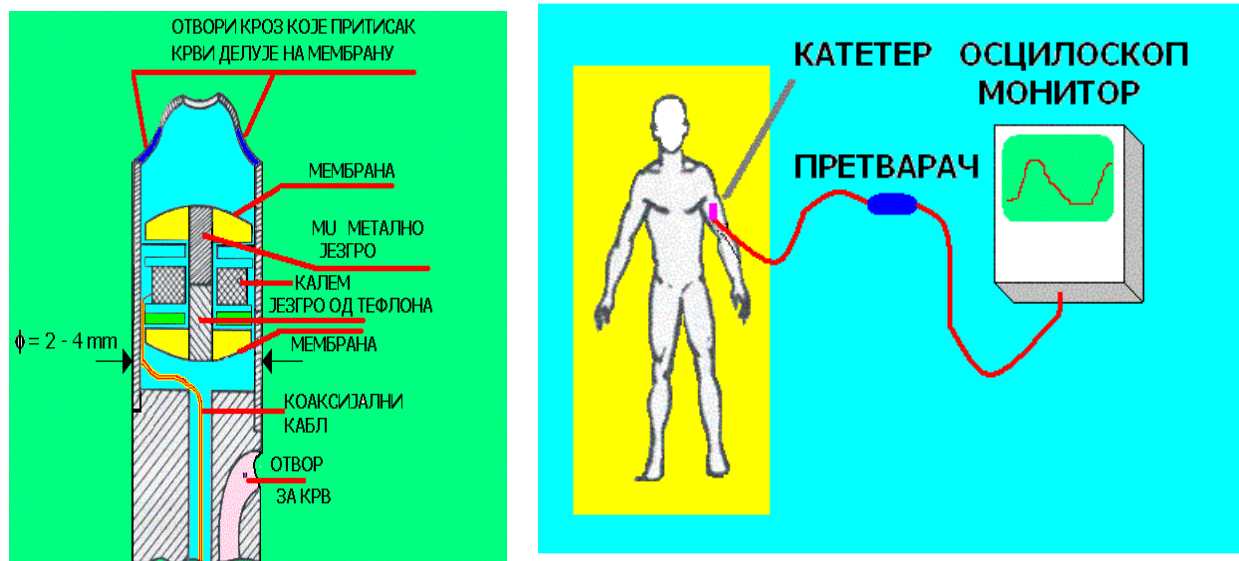
Сл. 11.8. Структурна шема мерача крвног притиска

За директна мерења крвног притиска у срцу, користе се катетери пречника од око 1mm , познати под називом “*дрифт катетери*”. Овакав катетер уводи се у срце преко венског система у смеру струјања крви, где детектује разлику потенцијала и преко крвног стуба преноси је до претварача, трансдјусера. Добијени електрични сигнал са излаза претварача води се даље појачавачком систему слабих сигнала, а затим на регистратор, где се врши трајно бележење промена притиска крви у облику једне сложено периодичне криве. Структурна шема уређаја за мерење крвног притиска представљена је сликом 1, а сликом 2. дат је облик индуктивног претварача крвног притиска, који се врло често користи са катетером за мерење ове физиолошке величине.

Трансдјусер са слике 11.9. састоји се од калема постављеном на језгру. Један крај језгра сачињен је од феромагнетског материјала, а други од немагнетског, на пример од плексигласа или тefлона. На овим крајевима постављене су две еластичне мембране, тако да језгро одржавају у стабилан, референтан положај. На предњем делу тела претварача налазе се отвори, кроз које, када се претварач увуче у крвни суд притисак крви дејствује на горњу мембрану. Она делује на крај језгра сачињен од метала и изазива промену његовог положаја. Са овом променом промениће се и индуктивност калема. Како је он саставни део осцилаторног кола осцилатора у склопу модулатора фреквенцијско модулисаних сигнала, а са њим спојен посредством коаксијалног кабла који се налази у задњем делу претварача, то ће свака промена његове индуктивности условљавати и промену фреквенције осциловања осцилатора. Овим се изазивају промене носеће фреквенције добијеног FM сигнала, чији ће облик, због овога, директно да зависи од висине крвног притиска. Идентификација раздешености осцилатора, односно издвајање модулативног сигнала који овде представља електричну слику крвног притиска, остварује се FM демодулатором, класичним FM

11. Уређаји за мерење функционисања и замену плућа и срца

дискриминатором. Детектовани сигнал са излаза дискриминатора директно се води ниско и високофреквенцијским пропусним филтрима.



а)

б)

Сл. 11.9. Директно мерење крвног притиска: а) индуктивни претварач и б) начин прикључивања

На слици 11.9б приказан је принцип директног мерења крвног притиска једноставним увлачењем катетера у надлактину артерију, где се између катетера и инструмента за регистровање налази претварач, трансдјусер.

Са развојем технике развијале су се истовремено и методе за израду катетера, па се тако данас на њиховим врховима могу да уграђују изразито мали претварачи реализовани на бази полупроводника, који се карактеришу високим степеном квалитета, високом осетљивошћу и стабилношћу. Ове особине трансдјусера допринеле су да су мерења оваквим катетерима постала веома прецизна и егзактна.

Овакав један катетер је катетер типа *BT4F*. То је, у принципу, једна уска цевчица пречника $1,27\text{mm}$ на врху које се налази полупроводнички претварач истог пречника, осетљивости $10\text{mV}/300\text{mmHg}$ стуба. Постоје и претварачи много мањих пречника, реда $10\mu\text{m}$.

Иако је принцип директног мерења крвног притиска релативно једноставан и брз, ипак је то болна метода, јер захтева пункцију артерије да би се у њу могао да увуче катетер. Такође је неопходан и продор крви у катетер. Због тога се у медицини чешће користе индиректне методе за мерења висине крвног притиска.

11.3.2. ИНДИРЕКТНО МЕРЕЊЕ КРВНОГ ПРИТИСКА

Индиректан начин мерења притиска крви за болесника је безболан и много угоднији од директног метода. Основни принцип који се при овом методу мерења висине крвног притиска користи заснива се на компензовању (уравнотежењу) артеријског притиска на

11. Уређаји за мерење функционисања и замену плућа и срца

контролисаном делу тела са спољним притиском компресора манжетне, чији се притисак и директно мери. Мерења крвног притиска на овом принципу изводе се вишемање као рутинска у свим клиникама и амбулантама мерним уређајима који се, у медицинској пракси, воде под називом: *сфигмоманометри*. Његов изглед, у моменту када се њиме уз помоћ стетоскопа (слушалице) обавља мерење висине притиска крви, представљен је сликом 4. Састоји се из обвојнице (пнеуматског јастучета, манжетне), манометра и гумене ручне пумпе на којој се налази вентил.

Процес мерења висине крвног притиска сфигмоманометром почиње постављањем и фиксирањем манжетне (пнеуматског јастучета) на надлактицу пацијента. Одмах по постављању око мишице руке, ручном пумпом почиње напумпавање манжетне. Ваздух јој се упумпава све до тренутка док се његовим притиском не прекине даљи проток крви кроз артерију у доњем делу руке.

После овога полако се почиње са отварањем вентила ручне пумпе, што условљава постепено истицање ваздуха из јастучета и пада ваздушног притиска у њему. У једном тренутку притисак у обвојници изједначиће се са притиском крви у крвном суду, што ће бити довољно за ново успостављање тока крви у доњем делу руке, које ће се несметано наставити и даљим снижавањем ваздушног притиска у манжетни. Као резултат протицања крви, у артерији настаје стање узбурканости, услед чега се јављају звучни ефекти, који су, у стручној медицинској литератури, познати под називом: *Короткови тонови*. Њихова појава установљава се *стетоскопом*, специјалном врстом слушалице, која се поставља изнад артерије и представља део инструментације за ову мерну методу. Вредност притиска при којој се појави први Коротков тон чита се са скале манометра, јер она представља систолни, горњи притисак.

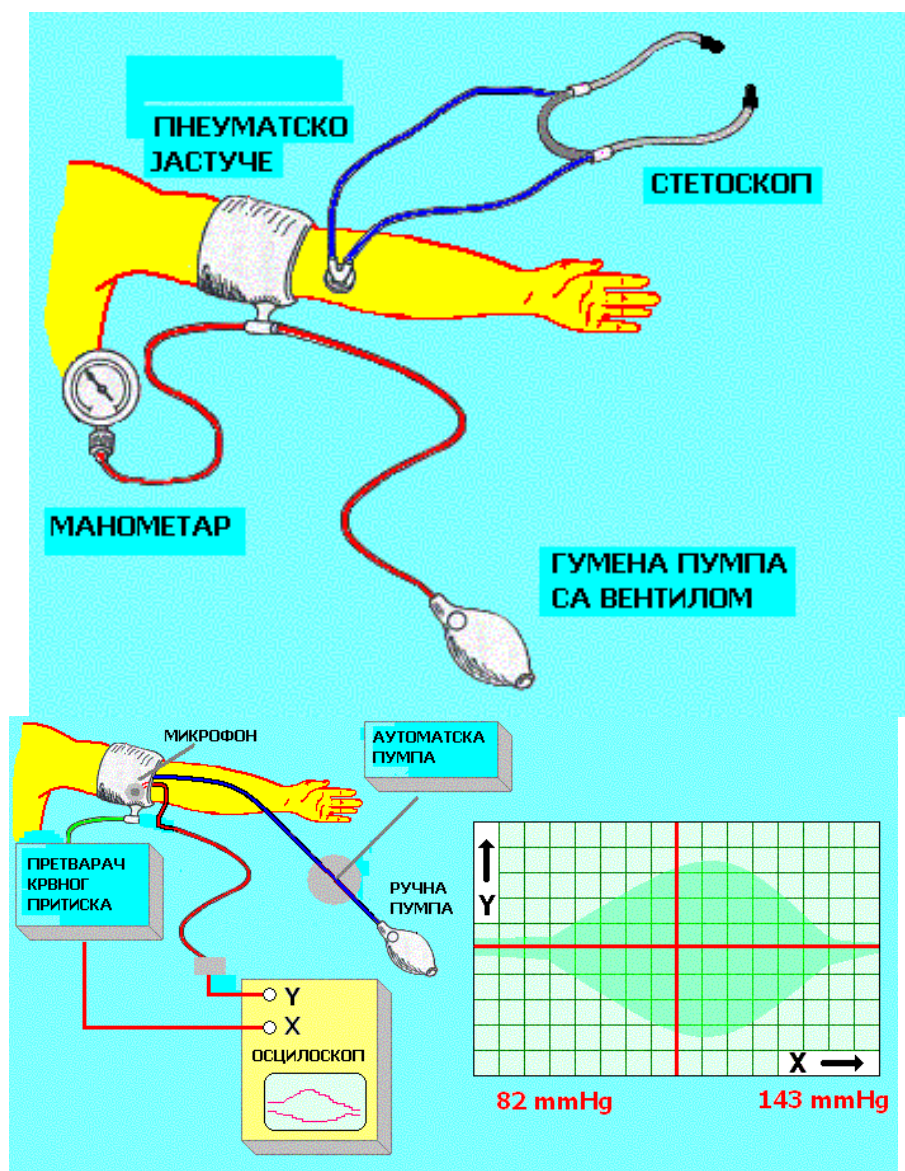
Са снижавањем ваздушног притиска у манжетни, тонови Короткова и даље се чују. Ово се продужава све док стање турбулентности (узбурканости) у артерији не ишчезне. У моменту ишчезавања, губе се и Короткови тонови. Притисак ваздуха у јастучету, који се у том моменту чита са манометра, представља доњи, дијастолни притисак крви.

Прецизност и егзактност ове мерне методе за одређивање висине крвног притиска зависе од прецизности одређивања тренутка компензовања, односно изједначавања крвног и притиска ваздуха у манжетни. Њена тачност је око: ± 10 .

Сфигмоманометарска метода мерења притиска крви може се и аутоматизовати заменом ручне аутоматском пумпом. Она је у стању да аутоматски оствари цео циклус мерења, или да га више пута понови у одређеним временским интервалима, све у циљу продужавања времена посматрања крвног притиска, ради потпуније контроле здравственог стања пацијента.

На прикључак за вертикални отклон електрона Y у осцилоскопу доводи се појачани микрофонски сигнал који потиче од детектованих Короткових тонова. Они су примани микрофоном постављеним са унутрашње стране манжетне. На прикључак за хоризонтални отклон X доводи се, после појачавања, сигнал добијен на излазу класичног претварача крвног притиска. Због истовременог дејства оба сигнала на отклонским плочама осцилоскопа, појавиће се на екрану његове катодне цеви одговарајућа слика. Њен облик импулсног је карактера, слика 5. и веома сличан облику амплитудски модулисаног сигнала. Са ње се врло лако и прецизно одређује почетак првог Коротковог тона, у ствари, систолни притисак, али и тренутак њиховог престанка, дијастолни. Ово се постиже на следећи начин.

11. Уређаји за мерење функционисања и замену плућа и срца



Сл. 11.10. Аутоматско мерење крвног притиска осцилоскопом

Систолни притисак одређује се у тренутку када се на делу екрана иза слике импулса условљеним Коротковим тоновима појави слика без њих. Ово је моменат потпуног укидања циркулације крви у доњем делу руке, па како крв не тече нема ни импулса и екран је изнад овог места без њихове слике. На слици 5. то је део екрана изнад 143 mmHg. Са ишчезавањем Короткових тонова, тј. у тренутку настајања дијастолног притиска, на екрану се исцртава слика импулса константне мале амплитуде, што представља регистровање нормалног протока крви кроз артерију, која је сада потпуно отворена. На слици 5. то се дешава испод 82 mmHg.

11.4. МЕРЕЊЕ ПРОТОКА КРВИ

11. Уређаји за мерење функционисања и замену плућа и срца

Проток крви кроз крвни суд дефинише се количином ове течности која у јединици времена протекне кроз одређену површину попречног пресека крвног суда. Под овом величином подразумева се још и промена запремине крви у посматраном пресеку крвног суда. Захваљујући оваквим дефиницијама једне исте величине, разрађују се и одговарајуће методе за њено мерење. Оне су засноване првенствено на методама мерења параметара који дефинишу проток крви. У зависности од начина приступа њиховом мерењу, уређаји за мерење протока крви деле се на:

12. Системе којима се ова величина мери без разарања крвног суда, и на

13. Уређаје катетерског типа. Њихови пријемни органи, који су у већини случајева класични претварачи, трансдјусери, редовно се увлаче у крвне судове.

Класичан представник прве групе уређаја за ова мерења, односно мерни систем којим се процес мерења изводи без оштећења ткива и крвног суда, је уређај за мерење протока крви који почива на електромагнетском принципу. Његове предности, уз чињеницу да не оштећује крвни суд, су и висока линеарност у процесу претварања мерене величине и одсуство узбурканости (турбуленције) у испитиваном крвном суду.

Његов принцип заснива се на Фарадејевом закону електромагнетске индукције, па се зато и назива електромагнетским принципом. Фарадејев закон говори о томе да ће се на крајевима покретног проводника дужине l , брзине кретања v , изложеног дејству магнетског поља јачине магнетске индукције B , индуковати нека електромоторна сила E , дефинисана релацијом: $E = B \cdot l \cdot v$.

Овај закон важи и за течности које имају особину да проводе електричну струју, као што је то нпр. водени раствор кухињске соли. Сличне особине показује и човечја крв, тако да се њено струјање кроз крвне судове може да третира на исти начин како се третирају и кретања проводника у магнетским пољима. Ако се у течност која тече, претходно изложеној дејству магнетског поља, уроне две електроде, између њих појавиће се напон као последица раздвајања супротно наелектрисаних јона. Како се проток течности изражава релацијом:

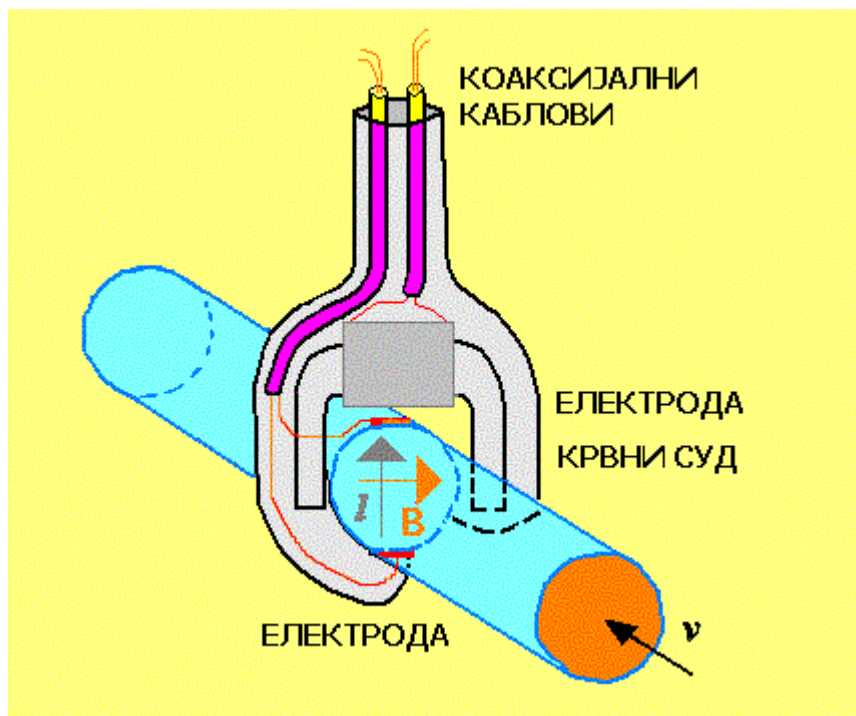
$$Q = v \cdot S = \frac{E}{B \cdot l} \cdot S = k \cdot E, \text{ где су: } v \text{ брзина течности, } S \text{ површина суда, } E \text{ и } l \text{ напон и растојање}$$

између електрода, B густина магнетске индукције и k константа, следи да ће се мерењем овог напона добити и информација о количини протокле крви кроз мерно место на посматраном крвном суду, слика 6. Назначена зависност указује и на могућност да се њоме може да мери не само средња вредност протока крви, већ и промена њене брзине која настаје у одређеним периодама срчаних активности.

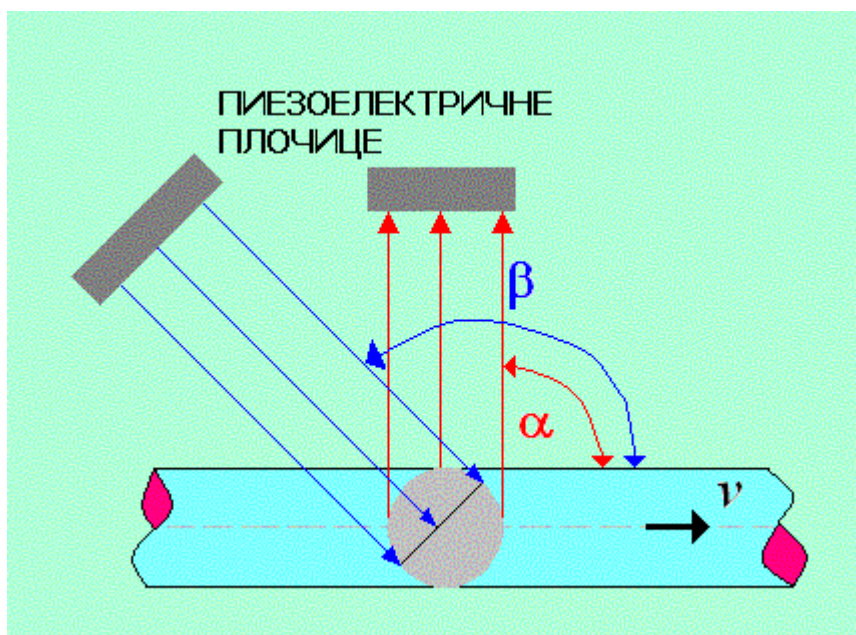
Недостаци мерног система који базира на овом принципу и код кога се магнетисање електромагнета остварује из извора једносмерне струје су: велики габарит електромагнета и дрифт напона у околини нуле, који настаје као резултат поларизације електрода и нестабилности појачавача. Отуда се за напајање користе наизменични напони синусоидалног облика. Међутим, и са њима се не добијају задовољавајући резултати, па се зато, скоро искључиво, користе правоугаони импулси, јер гарантују најпрецизнија мерења.

И мерење протока крви ултразвуком спада у методе које не разарају ткиво и крвни суд. Принцип његовог мерења ултразвуком представљен је сликом 11.12.

11. Уређаји за мерење функционисања и замену плућа и срца



Сл. 11.11. Електромагнетски претваач уређаја за мерење протока крви



Сл. 11.12. Принцип ултразвучне методе мерења протока крви

Две пиезоелектричне плочице израђене од баријумтитаната или оловоцитоната, постављају се тако да ултразвучни талас усмерен од емисионе плочице ка крвном суду, којим се еритроцити, црвена крвна зрнца, као елементи протока, крећу брзином v , пада на крвни

11. Уређаји за мерење функционисања и замену плућа и срца

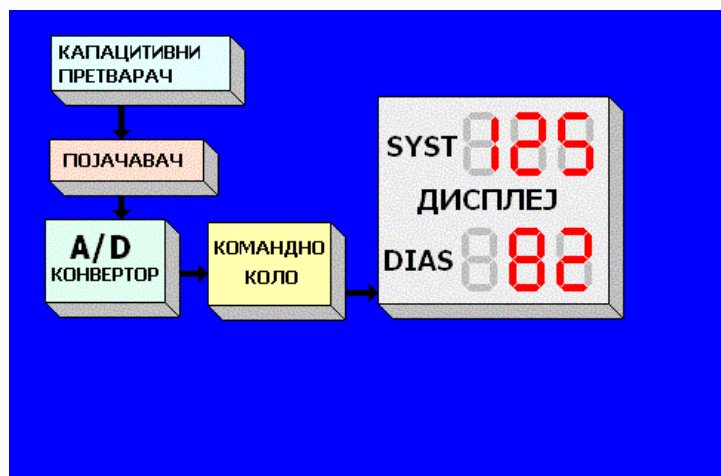
суд под углом α . Део израчене ултразвучне енергије апсорбоваће се у ткиву организма, тако да ће се мањи део рефлектовати од елемената текуће крви и са измењеним углом β вратиће се пријемној пиезоелектричној плочици.

Рефлектовани ултразвучни талас у зависности од брзине кретања елемената који су изазвали његову рефлексију промениће своју фреквенцију. Упоређивањем вредности фреквенција рефлектованог и директног ултразвучног таласа и детектовањем њихове разлике, добиће се сигнал чија фреквенција лежи у чујном опсегу. Она је пропорционална брзини кретања еритроцита, који су и узрочници рефлексије. Познавајући и попречни пресек крвног суда, а на основу од раније већ познате релације из физике: $Q = v \cdot S$, једноставно се може да дође и до податка о протоку крви кроз посматрани суд.

При постављању пиезоелектричног претварача на крвни суд треба тежити за што квалитетнијим физичким контактом између њих, јер се једино тако могу да смање губици енергије и емисионог и рефлектованог таласа. Тражени контакт остварује се стављањем слоја масти, органског или неорганског минералног уља и слично на крвни суд.

И уређаји за мерење протока крви из друге групе базирају на електромагнетском принципу. Катетер пречника (1,5 до 3) *mm* поставља се унутар артерије посредством специјалне игле која представља део уређаја. Његов врх носи електроде којима се мери индукована *EMS*. Уређај овог типа налази много мању примену у медицинској пракси, јер је метода мерења њиме веома болна.

Поједностављена блок шема овог мерача дата је сликом 15. Уочава се да се, добијени сигнал са излаза капацитивног претварача (трансдјусера), води појачавачу, у коме се појачава по амплитуди, а затим у аналогнодигиталном конвертору конвертује у дигитални сигнал. После обраде овако добијеног дигиталног еквивалента у командном колу, на дисплеју се, у облику декадних бројева, појављује информација о висини крвног притиска. У горњем реду дисплеја мерача представља се висина систолног, а у доњем дијастолног притиска крви.

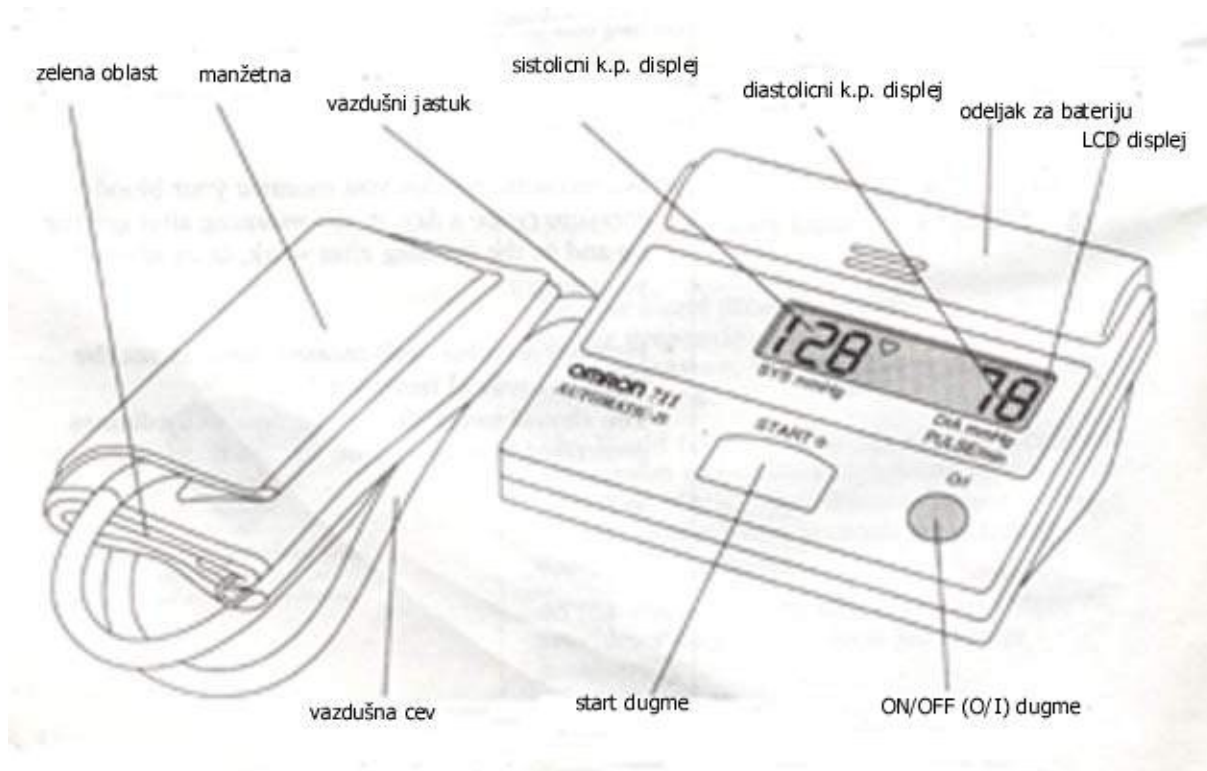


Сл. 11.13. Блок шема дигиталног уређаја за мерење крвног притиска

Добијени сигнал на излазу кондензаторског трансдјусера резултује из промена његове капацитивности. Оне су условљене променама растојања између његових облога. Промене растојања облога последица су циркулације крви кроз артерију надлактице на којој се поставља манжета за напумпавање ваздухом. Како се уочава, овде се променом

11. Уређаји за мерење функционисања и замену плућа и срца

капацитивности капацитивног сензора остварује претварање неелектричне величине притиска крви у електрични сигнал. Њиме се, после адекватне обраде извршене над њим у командном колу, обезбеђује визуелни приказ мерене висине притиска крви у декадним бројевима.



Сл. 11.14. Пример дигиталног уређаја за мерење крвног притиска

11. Уређаји за мерење функционисања и замену плућа и срца

11.4. Машина срце – плућа

Машина срце – плућа је сложен систем са пумпом за крв и оксигенатором за вантелесну, екстракорпоралну циркулацију крви који у току хирушких интервенција врши функцију срца и плућа. Овај уређај је први пут примењен у Америци за привремену замену функције срца и плућа за време операције срца. У Немачкој се овом машином почетком овог века обави преко 10000 операција годишње.

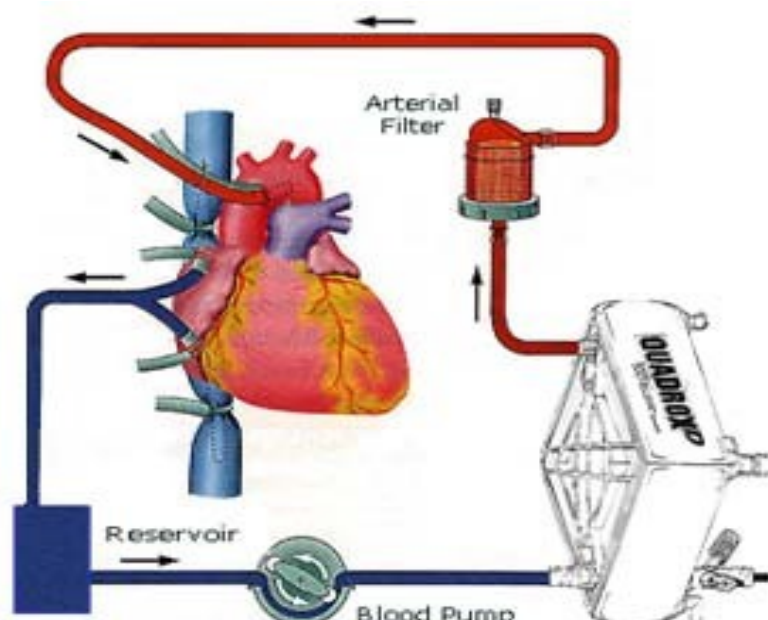
Оксигенација крви врши се помоћу више метода:

- пропуштањем мехурића кисеоника кроз венску крв, а затим одстрањивање тих мехурића пре него што се крв врати у артерију,
- накапањем крви уз помоћ кисеоника на велику површину пластичне плоче,
- преливањем крви преко округле плоче која се врти, и
- протицањем крви између танких мембрана или кроз танке цеви које пропусају кисеоник и угљен-диоксид.

При примени различитих оксигенатора сусрећу се многе тешкоће као што су хемолиза крви, стварање малих угрушака крви, могућност да у артерије болесника уђу мали мехурићи кисеоника или мали емболуси средстава за смањење пенушања, потреба за великом количином крви да би се напунио читав систем, немогућност измене довољне количине крви, те неопходност употребе хепарина да би се спречило грушање крви. Међутим, хепарин спречава адекватну хемостазу за време хирушког захвата.

Иако постоје тешкоће и одређен степен ризика болесници се могу држати прикључени на апарат срце-плућа више сати док се врши операција срца.

За одржавање циркулације крви користе се различите пумпе а основни захтев је да не узрокује хемолизу крви.



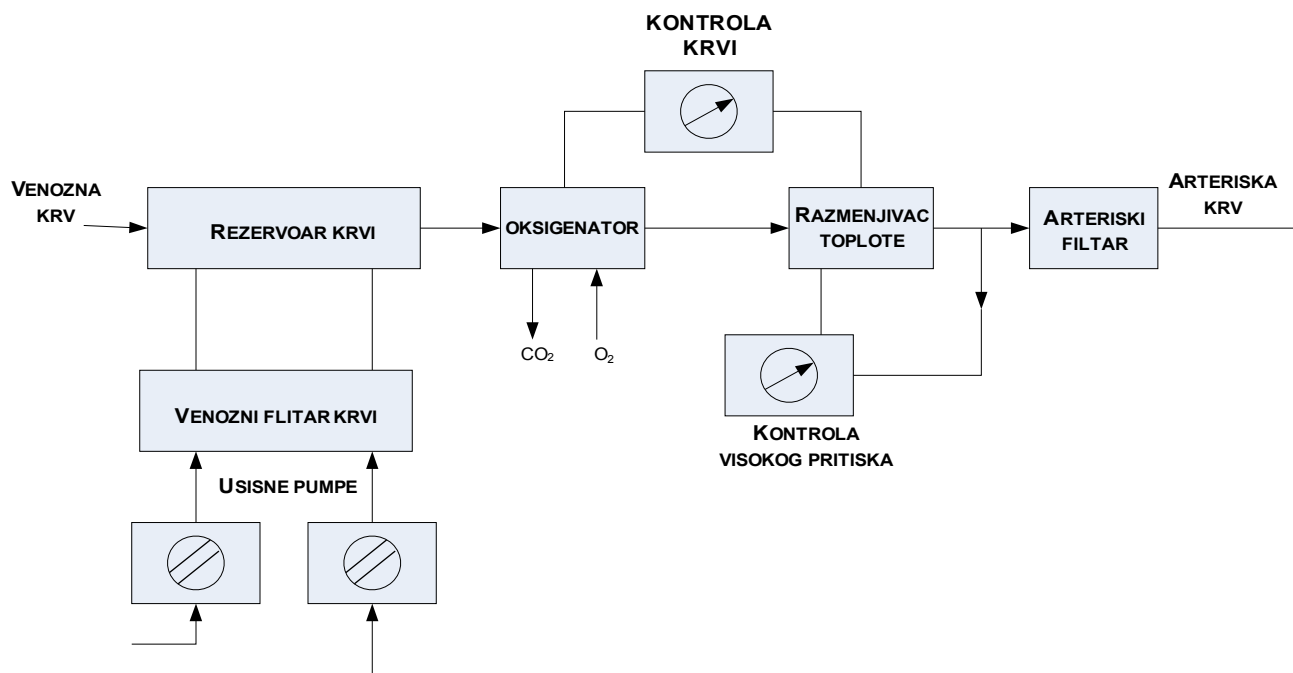
Сл. 11.15. Екстракорпорална циркулација крви

11. Уређаји за мерење функционисања и замену плућа и срца

На слици 11.15. приказан је систем за вантелесну, екстракорпоралну циркулацију крви. Венска крв се прикључује на резервоар из кога пумпа усисава крв потискујући је даље кроз оксигенатор и филтар. Пречишћена крв из оксигенатора се преко филтра враћа у артерију.

11.14. 1. Општа блок шема функционисања машине срца – плућа

Општа блок шема функционисања машине срца – плућа приказана је на слици 11.16.



Сл. 11.16. Општа блок шема функционисања машине срца – плућа

Један *савремен систем машине срца – плућа* приказан је на слици 11.17. Систем машина срце – плућа садржи:

- пумпе за транспорт крви,
- оксигенатор за размену крви и гаса односно одводјење угљен-диоксида и доводјење кисеоника,
- топлотни размењивач за подешавање жељене температуре крви,
- филтер за пречишћавање крви,
- резервоар за крв,
- систем црева за везу измедју делова који воде крв, и
- системе за управљање и индикацију.

11. Уређаји за мерење функционисања и замену плућа и срца

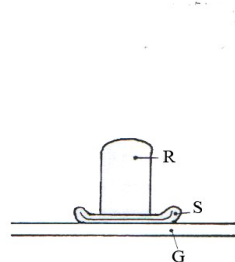
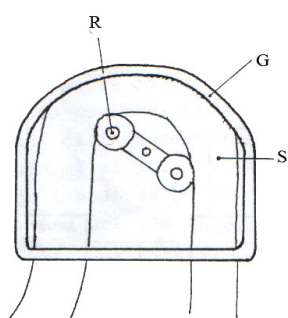


Сл. 11.17. Савремени систем срце – плућа: 1. сензорски мост, 2. управљачка јединица, 3. систем стубова, 4. мултимедијалних систем, 5. комадна табла за пумпе, 6. алуминијумски држачи, 7. држачи стубова и пумпи, 8. клизачи са системом стубова, 9. систем за напајање, 10. табла са прекидачима, 11. носећа шипка, и 12. пумпа за крв.

11. Уређаји за мерење функционисања и замену плућа и срца

11.4.2. Пумпа за крв за вантелесни крвоток код машине срце - плућа

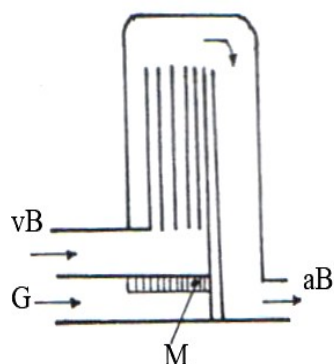
Пумпа за крв за вантелесни крвоток код машине срце - плућа је пумпа са ваљцима за којим се потискује крв у флексибилном цреву из вене кроз вантелесну циркулацију у артерију и усисава крв из операционог поља. Модел пумпе који се примењује у систему са лике 11.17 приказан је на слици 11.18. Ваљци су на освини која се окреће у кућишту са вођицом у које се убацује црево испуњено крвљу. На обухваћено црево налажу ваљци који ротирају и притискајући обухваћено црево стварајући контракциони талас и на тај начин потискују крв која се у њему налази у правцу окретања. Рад пумпи је аутоматизован и помоћу управљачке јединице регулише се брзина мотора који покреће ваљке. Број обртаја у оба смерасе регулише у опсегу од 0 до 250 обр/мин, независно од варијација мрежног напона и промене оптерећења. Могућа је и синхронизација са електрокардиографом.



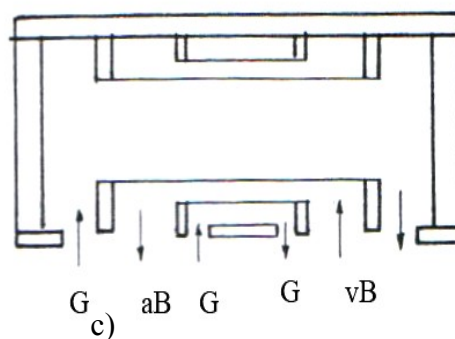
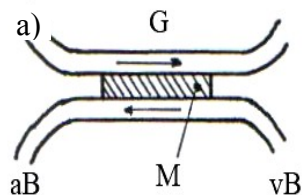
a)

b)

Sl. 11.18. Пумпа за крв: а) цртеж: R-котур, G-кућиште, S-црево, и b) конструкција



b)



c)

Сл. 11.19. Конструктивни облици оксигенатора: а)мехурасти, б)мембрански, ц)дуплокапиларни; аВ-артеријска крв, vВ-венска крв, G-струја гаса, М-мембрана

11. Уређаји за мерење функционисања и замену плућа и срца

Црево је од силиконског каучука или полиуретанаи због ограничене еластичности и хабања мења предвиђена је промена после одређеног времена употребе. У приказаном сисрему једна, главна пумпа у пулсирајућем ритму враћа крв у аорту, а остале пумпе се користе за извлачење крви из операционог поља.

11. 3. Оксигенатор

Оксигенатор је уређај који за време вантелесне циркулације преузима функцију плућа, што значи одстрањује из крви одређену количину угљен-диоксида и истовремено је обогаћује са кисеоником. Размена гаса се у таквим “вештачким” плућима остварује обезбеђивањем што је могућа већа контакта површина између венозне крви, која струји брзином максималном 6 l/min, и гаса у одредјеном контактном времену.

Оксигенације се остварује расподелом гаса у цреву за крв код дисперзионих према слици 11.5а или мехурастих оксигенатора према за време протока до 3 часа. Драги начин је кроз дифузију гасова кроз полупропустљиву мембрану која је постављена између судова за гас и крв код мембранских оксигенатора за дуготрајније мешање према слици 11.5б.

Код мехурастог оксигенатора интензивно се машају фини гасни мехурићи од 97% кисеоника и 3 % угљен-диоксида у више комора кроз које пролази крв. Директни контакт између крви и кисеоника у сваком случају изазива постепено оштећење, трауматизовање крви. Нарочито се денатуризују плазма протеина, тромбоцити, еритроцити и ензими и разарају се, а мења се и фацтор коагулације.

Код мембранског оксигенатора гасно пропустљива мембрана дебљине од око 100 микрометара се састоји од полипропилена силикинског каучука или целолузног нитрата са пречником пора од 0,1 микрометара. Мембранска површина износи око 100 cm².



Сл. 11.20. Размењивач топлоте: а) уређај, и б) дисплеј

11. Уређаји за мерење функционисања и замену плућа и срца

Посебна форма мембранског оксигенатора је двоструко капиларни оксигенатор према слици 11.5ц, код кога се цилиндрично струјање крви омета наизменично гасом са спољне и унутрашње стране. Кисеоник дифундује кроз капиларе зидова у крв а угљен-диоксид из крви у капиларе. Оксигенатор садржи већи број таквих капилара који су дупли.

11.4. Размењивач топлоте

Размењивач топлоте приказан на слици 11.20 у машини срце-плућа крв загрева или разхладљује помоћу циркулације дестиловане воде, хипотермија. Овај размењивач топлоте има две коморе, за хладну и топлу воду. Комора за топлу воду има два грејача и регулатор температуре. Комора за хладну воду има уређај за хлађење и регулатор температуре. Код расхладјивања крви, односно тела, помоћу ћебета на коме пацијент лежи, размена материја и потрошња кисеоника пацијента се јако редуцира. Организам на 30°C троши 50% мање кисеоника. Један управљачки уређај за размењивање топлоте омогућава континуални избор жељене температуре. Једна јединица за надзор, мониторинг спречава повећање температуре воде изнад 41,5°C. Остале јединице за надзор мере температуре воде и крви у размењивању топлоте, минутни волумен и притисак у артеријским доводима, што се приказује на индикаторима. Цеви кроз које пролази вода могу се загрејати до 90°C што је више него довољно да се дезинфикује вода.

За повећање ефикасности хлађења користи се и лед. Лед акумулира почетни ефекат хлађења скоро три пута више од класичних система за загревање / хлађење, што резултира краћим временом снижавања температуре пацијента. Овај метод такође омогућава да се апаратом управља у највећем броју случаја без покретања компресора, чиме се елиминише бука која призилази из компресора и фена. Лед се може лако додати за врло брзо хлађење у ванредним ситуацијама.

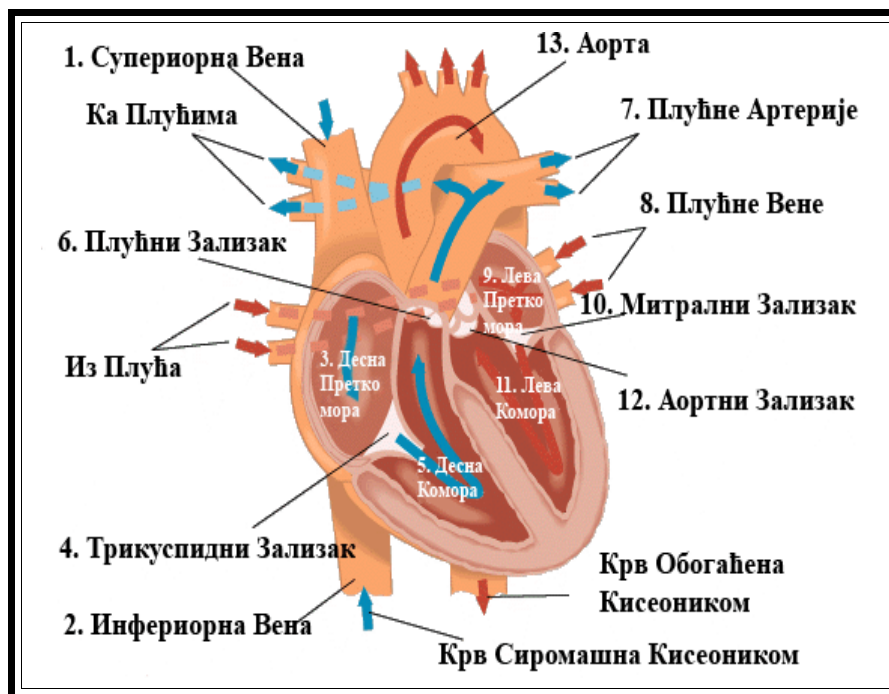
11.5. Вештачко срце

Срце је мишићна пумпа која одржава циркулацију крви – крвоток кроз плућа и тело и на тај начин омогућава размену хранљивих материја и кисеоника свих органа у телу.

Срце се налази у грудном кошу између плућа и грудне кости. Две трећине срца се налазе на левој страни тела, једна на десној. Димензије срца су отприлике 12 x 9 x 6 cm, мало веће од просечне песнице. Маса женског срца је око 255g, док је мушко срце теже, око 300g. Запремина му је око 300ml, а сваким откуцајем (контракцијом) испумпа око 70ml крви. Просечно срце испумпа 5 литара крви у минути, што значи да на дневном нивоу ова цифра достиже 7 200 l, чак 2 628 000 l на годишњем. Просечан животни век је 70 год. За то време срце испумпа 184 086 000 литара! Да ли има раније и поузданије пумпе која има запремину само 300ml.

Срце има четири извода на себи који се спајају са инфериорном веном кроз коју долази крв из свих органа доње половине тела у срце, супериорном веном кроз коју долази крв из свих органа горње половине тела у срце, плућном артеријом која доводи крв из плућа богату кисеоником и аортом која је главна артерија у телу.

11. Уређаји за мерење функционисања и замену плућа и срца



Сл. 11.21. Унутрашња грађа срца

Срце има четири шупљине: леву и десну преткомору, и леву и десна комору. На слици 11.3. приказан је пресек срца и циркулација венске и артеријске крви. Лева страна срца је ојачана додатним мишићем да би савладала притисак и потиснула крв у тело.

Иако је срце савршен и поуздан орган оно због изузетне оптерећености ипак отказује. Отказ рада срца има фаталан исход због његове животно важне функције дотура кисеоника и исхране мозга. Мозак без циркулације крви не може да преживи дуже од неколико минута. Смртност узрокована отказом срца и кардиоваскуларног система је на првом месту.

Проблем велике смртности због болесног срца лекари су покушали да реше проблем пресађивањем срца унесрећених људи. У Америци живи два до три милиона људи са проблемима на срцу, са тенденцијом повећања од по 400 000 годишње. Већина болесних неће преживети наредних пет година, Једина нада су трансплантација и вештачко срце. У Америци због болести срца годишње умре више од 40000 људи.

Иако се само у Америци уради више од 2000 трансплантација годишње пресађивање срца није право решење. Хиљаде људи годишње умре чекајући на срце од донатора за трансплантацију. Доктори ће и даље охрабривати људе да постану донатори органа, али вештачко срце би могло спасити многе који не могу да добију природно срце.

Удружени тимови медицинских и инжењерских експерата раде на констукцији вештачког срца. Урађени су примерци спремни за уградњу.

У Јевиш болници у Лојсвилу другог јула 2001.године извршена је прва трансплантација вештачког срца под називом АбиоКор Имплантабил Реплејсмент Харт. То је прво комплетно самостално вештачко срце.

11. Уређаји за мерење функционисања и замену плућа и срца

11.4.1. Конструкција вештачког срца

Вештачко срце је уређај за интракорпоралну циркулацију крви који се састоји од *пумпе за крв, погонског система, енергетског напајања и управљачког система*. Овај уређај који представља техничку замену срца које не функционише, треба да што је могуће више одговара замењеном органу по функцији, динамичком понашењу, резерви снаге, биомогућностима, величини, облику и технички.



Сл. 11.22.. Пример конструкције вештачког срца

Пример конструкције вештачког срца приказан је на слици 11.22 а на слици 11.23 пример уградње вештачког срца.

Пумпа вештачког срца је хидраулична и слична пумпама које се користе у великим машинама. Пумпа има пропусни вентил који врши функцију срчаних зализака. Овај вентил се отвара и затвара да би контролисао проток крви са једне стране срца на другу. Када се ваљак помери на десно крв се упумпа у плућа кроз вештачку комору. Када се ваљак помери на лево крв се упумпава у остатак тела.

Енергетски део код вештачког срца садржи систем за бежични пренос енергије, трансформаторског типа са спољашњим примарним намотајем и унутрашњим секундарним. Енергија се помоћу магнетног поља из спољњег извора енергије преноси индуктивно кроз

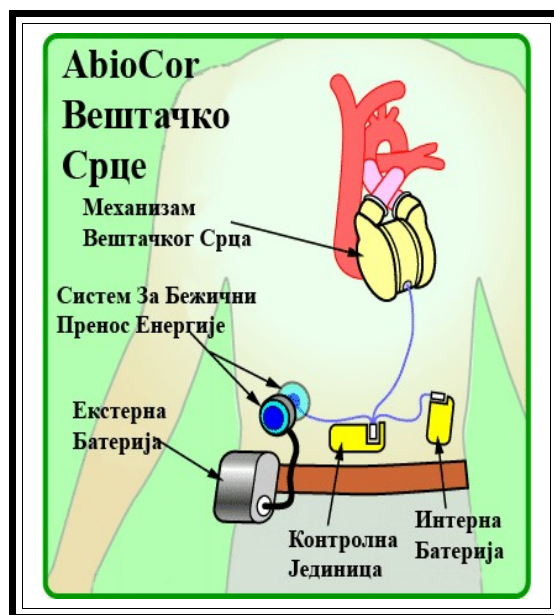
11. Уређаји за мерење функционисања и замену плућа и срца

кожу пацијента. Интерни секундарни намотај прима енергију и с њом снабдева унутрашњу батерију и контролни уређај.

Једна пуњива батерија се уграђује пацијенту у абдомен. Она служи да омогући неке активности које захтевају одвојеност од спољне батерије, као што је на пример туширање. Она може да пружи независан рад од 30 до 40 минута без спољне батерије.

Спољна батерија се носи на каишу који је око пацијентовог струка. И ова батерија је пуњива, па је добро да пацијент има више комада, јер свака омогућава 4-5 часова несметаног рада.

Управљачки систем је микроконтролер који се уграђује у пацијентов трбушни зид. Он служи да регулише рад и управља свим деловима система.



Сл. 11.23. Пример уградње вештачког срца - АбиоКор систем

Пума за крв вештачког срца састоји се из две одвојене пумпне коморе које су израђене од специјалне пластике. Ове коморе преузимају улогу леве и десне срчане коморе. Све унутрашње површине, које долазе у додир са крвљу покривене су влакнастим дакроном, што је корисно за држање фибрина и ћелија. Овако се ствара биолошка површина, која мање штети крви него други материјали. Свака од ових коморних пумпи је дијафрагмом одвојена од погонске коморе, у којој погонски флуид, у ритму жељене срчане учестаности, ствара притисак односно потпритисак.

Помоћу тога се пумпна комора периодично повећава и смањује. Пумпна комора има два отвора за улаз и излаз крви. Ови отвори су повезани са вентилима који имају улогу срчаних зализака.

Погонски систем вештачког срца треба да у аорти производи притисак и ток крви, који одговара природном крвотоку и да при том струја крви има средњу хидрауличку снагу од 1 W до 3 W. Њега чине електро-механички енергетски претварач, који се састоји од једне хидрауличне Крајслерове пумпе и једног електронски комутираног једносмерног мотора.

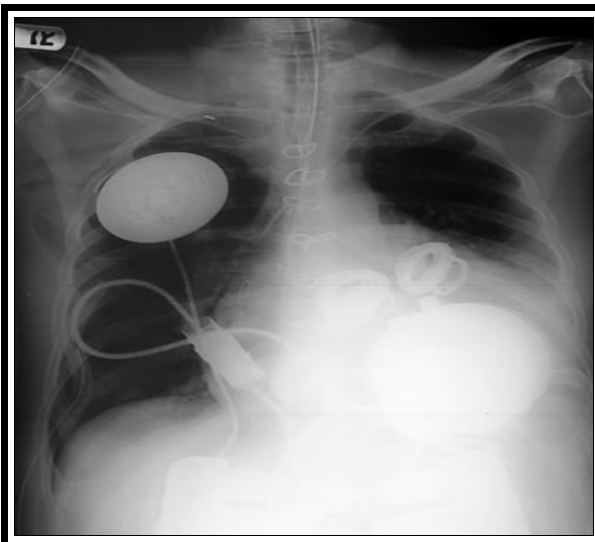
Управљачки систем регулише рад погонског система да би произведени проток крви и притисак у аорти одговарали природним односима. Цео систем се базира на

11. Уређаји за мерење функционисања и замену плућа и срца

микроконтролеру и у најкраћем се своди на поређење тренутног облика и вредности сигнала са сензора, који се налазе на срцу, са неком задатом вредношћу и реаговањем ако нешто није у реду.

Енергетско напајање вештачког срца садржи два извора: унутрашњи и спољашњи. Потрошња вештачког срца релативно велика. Још увек не постоје енергетске ћелије са огромним капацитетом, Напајање вештачког срца мора да буде спољашње. Енергија се заправо преноси електромагнетном индукцијом, тако што се прави примитивни трансформатор. Секундар овог трансформатора се уграђује у пацијентово тело, тик уз површину коже, а примар трансформатора се ставља са спољне стране коже пацијента. Овакав трансформатор има мали степен искоришћења 60 %, док је растојање примара од секундра око 10mm. Снага која се преноси је близу 100W, а цео процес се одвија на учестаности од 1KHz због мањих димензија трансформатора. Највећа мана овог преноса енергије су велики губици и због тог се ради на развоју алтернативних извора енергије. У циљу добијања потпуно интегрисаног вештачког срца у тело пацијента све се више размишља о такозваним био-хемијским изворима енергије. Најзанимљивија од свих је замисао да се буквално тело пацијента користи као извор енергије тако што ће се са на једној електроди издвајати глукоза, а на другој кисеоник. Овако би се енергија помоћу тела пацијента добијала практично из хране коју пацијент поједе. Највећа препрека ове идеје је простор који је потребан за производњу одговарајуће снаге (око 0,3l).

Вештачко срце је израђено од титанијума и специјалне пластике, тежи око 900 грама, Операције уградње вештачког срца је веома компликована и ради ју уверљив тим специјалиста. Операција која је извршена 2. јула 2001. године, прва те врсте у свету, бројала је тим од два главна хирурга, 14 сестара, перфусионисте, анестезиологе и остало особље.



Сл. 11.24. Имплантација вештачког - АбиоКор срца и рентгенски снимак пацијента

11. Уређаји за мерење функционисања и замену плућа и срца

На слици 11.24 приказана је прва операција вештачког срца и рентгенски снимак пацијента са уграђеним вештачким срцем. Вештачко срце кошта 70 000 до 100 000 \$ иако сви проблеми функционисања нису решени и нр продужавају значајно живот пацијента. предвиђа се да удвостручи очекивано време смрти.

Кандидати за уградњу вештачког срца су у задњој фази болести срца, очекују смрт за мање од 30 дана, нису не може да им се уради трансплантација природног срца и не постоји други начин лечења

1. Шта представљају, из чега се састоје и како функционишу *плућа*?
2. Чиме и како се мере параметри функционисања плућа.
3. Шта представља, из чега се састоји и како функционише *срце*?
4. Чиме и како се мери *крвни притисак*?
5. Шта представља *машина срце-плућа*?
6. Како се остварује *екстракорпорална циркулација крви*?
7. Како изгледа општа *блок шема функционисања машине срца – плућа*?
8. Шта све садржи *савремен систем машина срце – плућа*?
9. Како функционишу *пумпе за транспорт крви машине срца - плућа*?
10. Како функционише *оксигенатор машине срца - плућа*?
11. Како функционише *размењивач топлоте машине срца - плућа*?
12. Из чега се састоји *вештачко срце*?