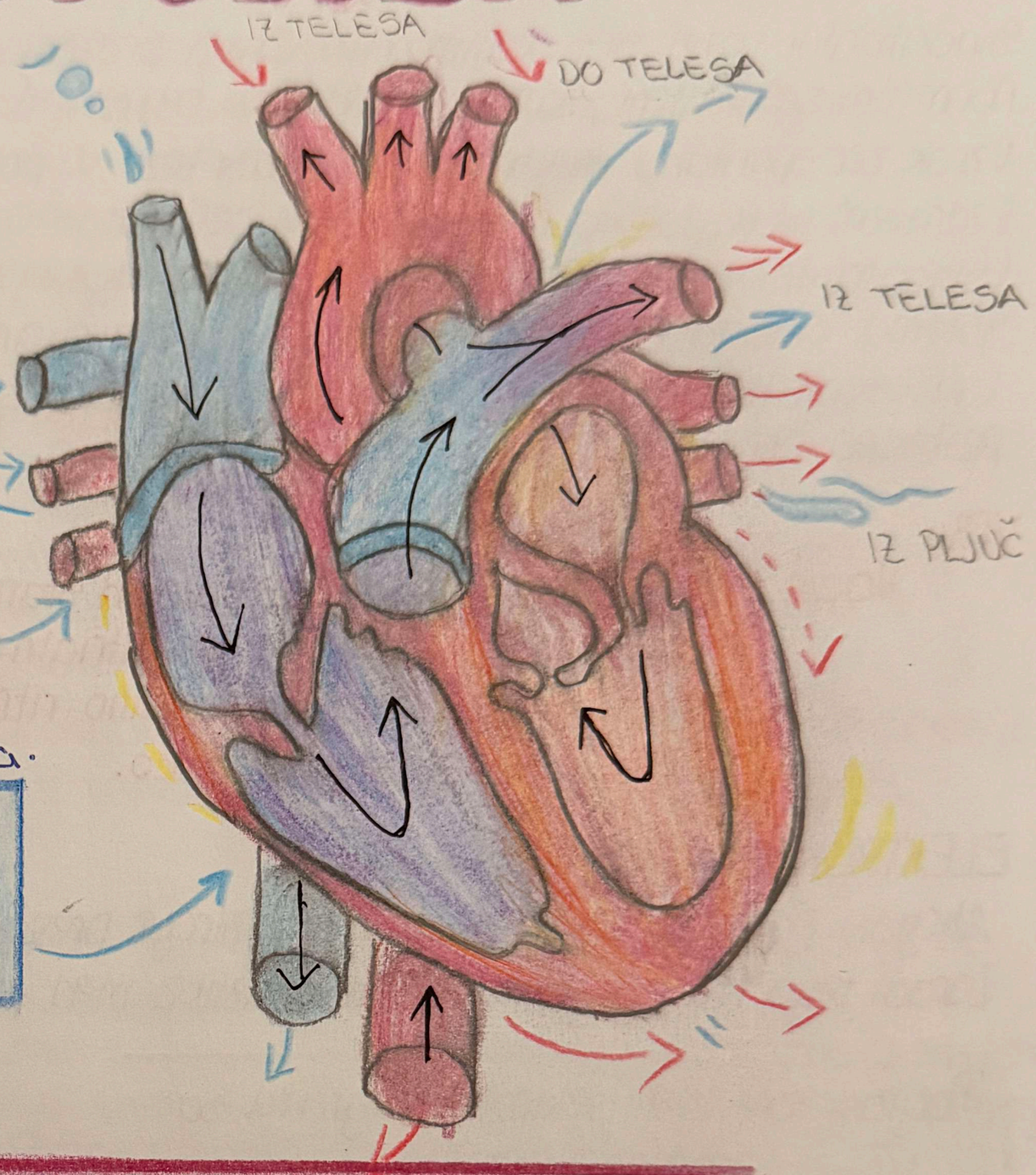
SRCE IN KRVNA OBTOČILA



GOLDEN RULE:
desna stran → deoksigenirana kri
leva stran → oksigenirana kri

V človeškem organizmu je kri, ki kroži skozi telo, prenosno sredstvo, ki zagotavlja stalen dotok hranilnih snovi in kisika ter odstranjevanje odpadnih snovi iz celičnega mikrookolja.

Izmenjava snovi med krvjo in medceličnim prostorom poteka skozi stene kapilar, najbolj številčnih in najbolj drobnih žil v telesu.

Glavni elementi krvnih obtočil so:
mišična črpalka (srce) in dva funkcionalno različna odseka žilja, sistemski in pljučni krvni obtok.

Pretok krvi skozi sistemski obtok je odvisen od predvsem delovanja levega prekata, ki iztiska kri v aorto. Kri skozi pljučni obtok poganja desni prekat, ki se polni iz desnega predvdora in iztiska kri v pljučno arterijo, od tod pa v manjše pljučne arterije, arteriole in kapilare.

SRCE (cor)

Srce je mišična črpalka, zgrajena iz dveh predvdorov in dveh prekatov. Med vsakim predvdorom in prekatom ter med prekatom in veliko arterijo (pljučno arterijo ali aorto) je zaklopka, ki preprečuje vzvratni tok krvi. Podlaga za mehanično dejavnost srca je njegova avtonomna električna aktivnost.

SRČNA MIŠICA

Pravimo tudi miokard. Je posebno prečno-progasta mišica. Zanjo velja, da električno vzdraženje povzroči krčenje mišične celice. Sosednje srčno-mišične celice se stikajo s presledkovnimi stiki. Ti zagotavljajo nemoteno električno povezavo med sosednjimi celicami in prenos akcijskih potencialov.

ELEKTRIČNE LASTNOSTI SRCA

Prevodni sistem srca sestavljajo:

- skupki specializiranih celic v steni srčnih votlin. To sta t.i. sinoatrialni in atrioventrikularni vozel
- posebne povezave med njimi in mišičnimi celicami v steni prekatov. To so Hisov snop in Purkynjeva vlakna..

Sinoatrialni vozel, ki s svojim ritmičnim prožnjem akcijskih potencialov narekuje normalni srčni ritem, zato mu pravimo ritmovnik oz. pacemaker.

Vzrok za spontano električno aktivnost leži v prevodnih lastnostih njihove membrane. V zdravem srcu določa ritem skupina celic, ki ima največjo frekvenco prožnja (sinoatrialni vozel). Urejeno hitro širjenje akcijskega potenciala po vlaknih prevodnega sistema omogoči ustrezno zakasnitev prevajanja med predsvori in prekati (atrioventrikularni vozel), da se prekata lahko napolnita. Hisov snop pa omogoči praktično hkratno skrčenje prekatnih mišic.

VPR:

Vodič ritma (pacemaker) v normalnem stanju:

- so specializirane celice v sinoatrialnem vozlu
- je tista skupina celic, s spontano, ritmično električno aktivnostjo, ki se prožiio z najvišjo frekvenco.

ELEKTROKARDIOGRAM (EKG)

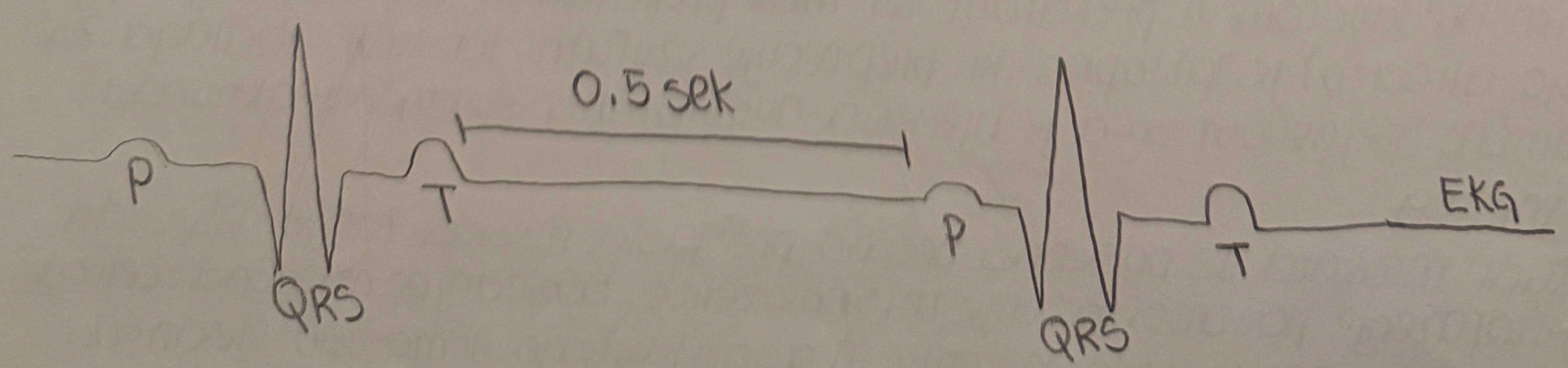
Akcijski potencial sekot val depolarizacije prevaja iz enega predela srca v drugega. Zaradi tega nastajajo napetostne razlike med posameznimi predeli v srcu.

Poglavitveni del elektrokardiografa so:

- snemalne elektrode
- pretvornik in ojačevalnik
- pisalni mehanizem

Časovni zapis napetostnih razlik v srcu imenujemo elektrokardiogram (EKG). Ekg ugotavlja motnje v delovanju srca.
Zapis pokaže tri različne vrste odklonov. (val P, val T, kompleks zobcev QRS)

- Val P predstavlja depolarizacijo predsvorov
- sledi mu kompleks zobcev QRS, ki nastane med prevajanjem vzdraženja v prekatih.
- Val T predstavlja repolarizacijo prekatov, to je faza obnovitve mirovnega membranskega potenciala v miokardu.



Iz zapisa EKG lahko ugotavljamo spremembe v delovanju srca. Lahko opazujemo frekvenco bitja srca, ritmičnost utripa, ugotovimo pa lahko zadebelitev (hipertrofijo) miokarda, spremembe prevajanja ob propadu dela miokarda zaradi srčnega infarkta.

VPR:

Električni dogodki v srcu so:
- sprožilni dejavniki za mehanične dogodke v srcu
- v normalnem srcu vedno razporejeni v določenem zaporedju, tako, da si v elektrokardiogramu sledijo: val P, kompleks QRS, val T.
- v primeru nepravilnega prevajanja vzburjenja skozi srce lahko vzrok smrtno nevarnih motenj srčnega ritma.

Katera trditev ne velja za EKG?
- kompleks QRS predstavlja repolarizacijo ventriklov.

SRČNI CIKLUS

Je sklenjeno zaporedje električnih in mehanskih dogodkov v srcu med srčnim utripom. Zato, da srce deluje kot učinkovita črpalka, se mora krčiti časovno usklajeno in s primerno frekvenco.

Kri, ki priteče v preddvore mora najprej v prekate, od tod pa v velike arterije. Zato, da kri steče iz preddvora v prekat mora tlak v preddvoru preseči vrednost tlaka v prekatu.

- Zaprtje atrioventrikularnih zaklopk povzroči turbulenten tok krvi in vibracije, ki jih na površini prsnega koša slišimo kot <u>PRVI SRČNI TON!</u>
  Ta dogodek, zaprtje atrioventrikularnih zaklopk oz. prvi srčni ton, označuje začetek prekatne sistole tj. tistega dela srčnega ciklusa, med katerim srce iztiska kri v arterije.
- Začetni del sistole, ko so zaradi krčenja prekata v njem vrednost tlaka strmo dviga, obenem pa še ni doseala vrednosti tlaka v aorti in se iztis krvi dejansko šeni pričel, imenujemo izovolumetrična kontrakcija.
- Ko se začne relaksacija prekatov, tlak v prekatu pade pod vrednost tlaka v aorti. in se zato zaprejo tudi zaklopke na velikih arterijah: aorti in pljučnem deblu. Tudi ta dogodek izzove vibracije, ki jih slišimo kot <u>DRUGI SRČNI TON!</u>
- Z drugim srčnim tonom označujemo konec sistole in pričetek diastole. Na začetku diastole se prekat po iztisu postopno relaksira, tlak v njem pade pod raven tlaka v aorti, nikrat pa je večji od tlaka v preddvoru, tako aortna kot atrioventrikularni zaklopki so zaprte. Ko tlak v prekatu pada, njihov volumen pa se ne spreminja, imenujemo izovolumetrična relaksacija.

VPR: SISTOLA je normalno KRAJŠA od DIASTOLE!

Katera trditev ne drži?
- Med srčnim ciklusom je tlak v levem prekatu vedno višji od tlaka v levem atriju.

DELOVANJE PREDDVOROV MED SRČNIM CIKLUSOM

Kri iz velikih ven med diastolo nemoteno teče v predavor in od tod v prekat. Krčenje predduvorov iztisne v prekate le še preostalih 30% polnega volumna prekatov ob koncu diastole.

Pri zdravem, ležečem človeku, spremembe tlaka v desnem predduvoru in vse tri opisane valove lahko spremljamo z opazovanjem nihanja stolpca krvi v vratnih venah, kamor se prenašajo tlačne spremembe iz predduvora.

SPREMINJANJE TLAKA V VELIKIH ARTERIJAH MED SRČNIM CIKLUSOM

Tlak vaorh zaradi prekinjajočega se iztisa krvi iz srca ni stalen, pač pa niha med največjo vrednostjo, ki jo doseže med sistolo (cca. 120 mmHg) in med najmanjšo, ki jo doseže ob koncu diastole (cca. 80 mmHg).

MINUTNI VOLUMEN SRCA (MVS)

To je volumen krvi, ki ga prekat iztisne v žilni sistem v eni minuti. Normalno iztisne levi prekat v eni minuti v. sist. krvni obtok enako količino krvi kot je iztisne desni prekat v pljučni krvni obtok.

MINUTNA VOLUMNA OBEH SRČNIH PREKATOV STA ENAKA!

MVS je odvisen od utripnega volumna (UV) in hitrosti bitja srca oz. srčne frekvence (SF). Normalno znaša cca. 5 l min^{-1}.

Formula: $MVS = UV \cdot SF$

- MVS: minutni volumen srca ($l\ min^{-1}$)
- UV: utripni volumen (ml)
- SF: srčna frekvenca (št. utripov na min^{-1})

npr.: $SF = 70$ utripov min^{-1}
$UV = 70$ ml
$MVS = ?$

$MVS = UV \cdot SF$
$MVS = 70$ utripov $min^{-1} \cdot 70$ ml $utrip^{-1}$
$MVS = 4900$ ml min^{-1}.

Pretok skozi obtocila, ki ga zagotavlja srce z MVS, mora v vsakem trenutku zadoščati za presnovne potrebe tkiv, zato je natančno uravnan. Menanizmi uravnavanja MVS so srcu lastni (intrinzični) in zunanji (ekstrinzični).

VPR:

Minutni volumen srca je:

- volumen krvi, ki ga srce izčrpa v obtok v eni minuti
- za levo in desno srce v normalnih razmerah enak
- normalno enak venskemu prilivu v srce v istem času
- količina, ki je odvisna od črpalne sposobnosti srca
- enak produktu med utripnim volumnom in srčno frekvenco [$MVS\ (ml\ min^{-1}) = UV\ (ml) \cdot SF\ (min^{-1})$].

INTRINZIČNO URAVNAVANJE MVS

Najpomembnejši intrinzični mehanizem je tisti, ki izhaja iz zgradbe srčne mišice. Popisuje ga Frank-Starlingov zakon srca.
S tem zakonom lahko razložimo dve pomembni značilnosti delovanja srca:

1. Minutni volumen srca je enak prilivu krvi iz ven v istem času
2. minutna volumna obeh prekatov sta enaka

DIASTOLIČNA RAZTEGNITEV SRCA IN VENSKI PRELIV

Diastolična raztegnitev srca in tlak v desnem predvoru pri normalnem srcu sta odvisna od tega, koliko venske krvi priteče v srce v minuti, to je od venskega priliva (VP)
VP krvi v srce je odvisen od:

- volumna krvi
- kapacitivnosti ven
- perifernega upora

V normalnih razmerah srce v časovni enoti izčrpa prav toliko krvi, kolikor se je vanj nateče, tako da sta MVS in VP enaka!

VPR:

Če se venski priliv v zdravo človeško srce nenadoma poveča za 10%.

- se poveča utripni volumen srca (Frank-Starlinaov mehanizem).

SISTEMSKI KRVNI OBTOK, ARTERIJSKI TLAK

Srce s svojo črpalno dejavnostjo ustvarja razliko tlakov med aorto in desnim predvorom. Posledica nastale tlačne razlike je tok krvi iz aorte skozi arterije, arteriole, kapilare, venule in vene v desni predvor.
Največji upor toku krvi je v arteriolah sistemskega krvnega obtoka, zato je ta odsek žilja tudi mesto največjega padca tlaka.

VPR:

V sistemskem obtoku je skupni upor proti toku krvi najvišji v:

- arteriolah

ARTERIJSKI TLAK, PERIFERNI UPOR, PRETOK

Da teče tekočina po cevi, je potrebno napraviti razliko tlakov med obema koncema cevi. Potrebna razlika tlakov bo pri stalnem pretoku večja, če bo upornost cevi večja. Prav tako bo pri stalni upornosti cevi razlika tlakov večja, če bo pretok skozi cev večji. Velikost razlike tlakov med obema koncema cevi je matematični produkt pretoka skozi cev in upora cevi.
Velikost tlačne razlike je zato praktično enaka vrednosti tlaka v aorti. V normalnih razmerah bo ta enak tlaku v velikih arterijah.

PRI STALNEM PRETOKU ARTERIJSKI TLAK JE ODVISEN OD PERIFERNEGA UPORA.
Padec tlaka na določenem odseku žilja je odvisen od tega, kakšen upor proti toku krvi predstavlja določen odsek žilja.
Padec arterijskega tlaka največji na arteriolnem delu arterijskega sistema.

Upornost arteriol je odvisna od aktivnosti vegetativnega živčevja. Sprememba premera (2r) arteriol bistveno vpliva na njihovo upornost. Saj je upornost v obratnem sorazmerju s četrto potenco polmera (r), kar pomeni da se upor žile poveča za 16-krat, če se polmer zmanjša iz 2mm na 1mm.

VPR: Pri konstantnem minutnem volumnu srca določa vrednost arterijskega tlaka:
- periferni upor

Zato, da v sistemskem delu obtočil kri teče od srca skozi arterijski, kapilarni in venski del žilja nazaj v srce, je odločilna razlika tlakov:
- med aorto in desnim predvorom,

ki je v normalnih razmerah približno
- enaka arterijskemu tlaku.

URAVNAVANJE ARTERIJSKEGA TLAKA

Arterijski tlak je gonilo pretoka v sistemskem krvnem obtoku in je matematično enak zmnožku med minutnim volumnom srca in perifernim uporom.

Mehanizmi za uravnavanje arterijskega tlaka so po svojem odzivu in trajanju lahko hitri (kratkoročni), ki zagotavljajo uravnavanje arterijskega tlaka iz trenutka v trenutek, ali pa počasen (srednje in dolgoročni), ki uravnavajo arterijski tlak tekom daljšega časa.

Dolgoročno so za uravnavanje arterijskega tlaka najpomembnejše ledvice, ki uravnavajo volumen zunajcelične tekočine in s tem tudi volumen krvi ter arterijski tlak.

VPR: Za dolgoročno uravnavanje krvnega tlaka je najpomembnejši:
- vpliv ledvic na uravnavanje volumna zunajcelične tekočine.

SREDNJE IN DOLGOROČNO URAVNAVANJE ARTERIJSKEGA TLAKA

Poglavitni srednje in dolgoročni menanizem je sistem renin-angiotenzin-aldosteron (SRAA). V ledvicah je t.i. jukstaglomerularni aparat (JGA) ki je občutljiv na spremembe:
- tlaka v aferentni arterioli
- sestave urina v distalnem tubulusu.

Angiotenzin II ima številne učinke:
- povzroča skrčenje arteriol, s tem pa povečanje perifernega upora in ob nespremenjenem minutnemu volumnu tudi arterijskega tlaka.
- z učinkom na vazomotorični center povzroči še posredno dodatno skrčenje arteriol, preko hipotalamusa spodbuja vnos tekočin (žeja).
- v ledvicah zaradi neposredne arteriolokonstrikcije zmanjša pretok in s tem glomerulno filtracijo.
- stimulira izločanje aldosterona iz skorje nadledvične žleze.

VPR: Aktivacija renin-angiotenzinskega sistema:
- je lahko posledica nenadne obsežne krvavitve, zaradi katere močno pade arterijski tlak
- se pričnes sproščanjem renina jukstaglomerularnega aparata v ledvicah
- lahko povzroči vazokonstrikcijo že po nekaj minutah
- lahko povzroči izločanje aldosterona iz skorje nadledvične žleze.

URAVNAVANJE PRETOKA SKOZI ORGANE

V krvni obtok so posamezni organi (razen pljuč) povezani vzporedno. Tak način povezave organov omogoča ločeno uravnavanje krvi skozi vsak organ.
Pretok krvi skozi organe mora biti tak, da zadostuje presnovnim potrebam organa.
Pretok skozi organe je odvisen od zunanjih in lokalnih dejavnikov v organu.

VPR: Za reavlacijo pretoka skozi določeno tkivo ali organ je v normalnih razmerah najpomembnejše:
- spreminjanje lokalnega upora proti toku krvi v tkivu.

VENSKI SISTEM

Vene imajo v krvožilnem sistemu dve pomembni funkciji:
- so prevodne žile, ki vračajo kri iz sistemskega obtoka nazaj v srce
- kapacitetne žile, ki delujejo kot rezervoar krvi.

Lastnost vene je podajnost, ki matematično pomeni spremembo volumna na enoto spremembe tlaka.

Centralni venski tlak (CVT) je tlak znotraj venskih votlin v prsnem košu in je pri ležečem človeku enak tlaku v desnem preddvoru. Vrednost CVT je odvisna od ravnotežja med venskim prelivom v desni preddvor in črpalno sposobnostjo desnega prekata, ki potiska kri v pljučni obtok. Slabša črpalna sposobnost desnega prekata pa povzroči porast CVT.
Periferni venski tlak je tlak v venah, ki drenirajo kri iz telesnih organov in tkiv. Glavni dejavniki, ki vplivajo na periferni venski tlak so:
- položaj telesa
- centralni venski tlak
- venski upor
- zaklopke
- spremembe tlaka zaradi dihanja in mišičnih kontrakcij

VPR:

V normalnem pljučnem krvnem obtoku:
- je pretok enak pretoku v sistemskem krvnem obtoku
- se oksigenirana kri steka v pljučne vene in po njih v levi atrij

Ko zdrav človek vstane:
- lahko ugotovimo predhoden padec krvnega tlaka v arterijah v višini srca
- kolabirajo vratne vene
- se zaradi zmanjšanega proženja baroreceptorjev poveča aktivnost vazomotoričnega centra, zato pa poraste periferni upor in se zmanjša kapacitivnost ven.

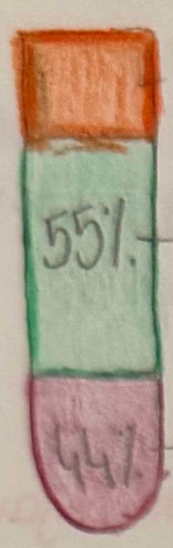
Pretok krvi skozi koronarne arterije se odvija med:
- diastolo

ker:
- srčna mišica med krčenjem stisne koronarne arterije

V sistemskem krvnem obtoku je večina krvi v:
- venulah in venah

DODATNO: HIPOTENZIJA -> nezadostna preskrba tkiv s kisikom (O_2).

KRI

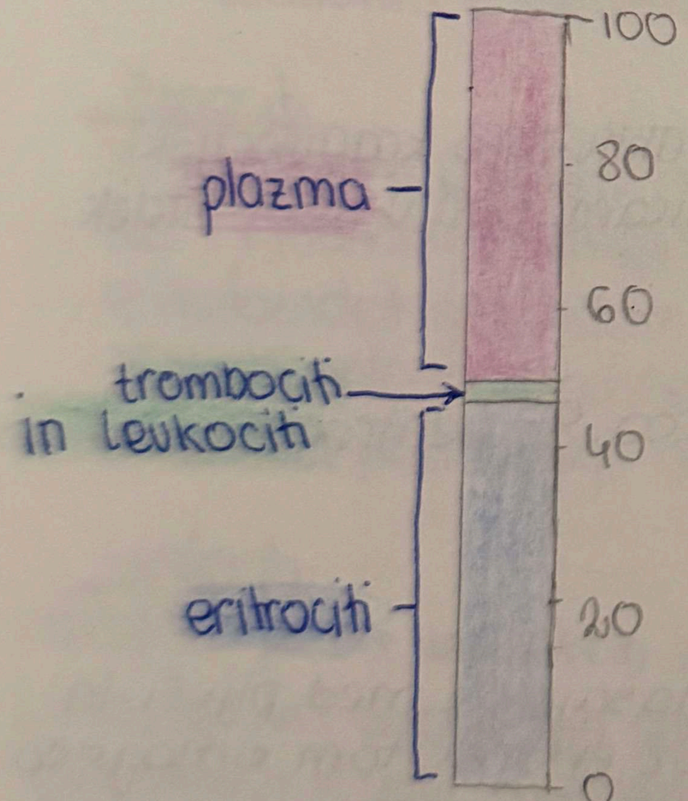


PLAZMA - voda; ioni; hormoni; proteini; hranila; odpadni produkti; plini

- albumin
- fibrinogen
- faktorji sevanja
- protitelesa
- transferin

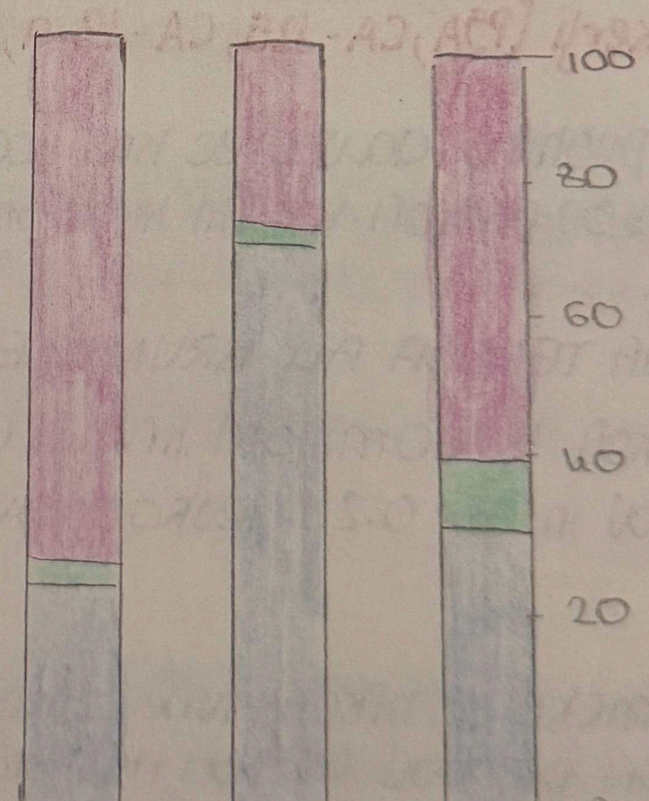
Kri je tekoče tkivo znotraj obtočil. Sestavljajo jo krvne celice in medcelična - plazma. Normalen volumen krvi pri odraslemu človeku je 70ml kg^{-1} (7% telesne mase) oz. 5l pri 70kg.
Kri omogoča prenos snovi in toplote po telesu, zaustavlja krvavitve (hemostazo) in obrambo pred patogenimi mikroorganizmi.

NORMALNO



A

BOLEZENSKO SPREMENJENO



B

C

D

B -> anemija; hematokrit se zmanjša
C -> policitemija; hematokrit se poveča
D -> levkemija; hematokrit se zmanjša, levkociti se povečajo.

Določanje hematokrita. Hematokrit je delež volumna, ki ga zavzemajo eritrociti! Normalen hematokrit je cca. 45%. (A)

SESTAVA KRVI

Kri je sestavljena iz plazme in krvnih celic, med katere uvrščamo eritrocite, trombocite in levkocite. Če v vzorec krvi dodamo sredstvo proti strjevanju krvi in ga centrifugiramo se kri zaradi razlik v gostoti med plazmo in krvnimi celicami loči v tri dele.

Pri močno povečanem hematokritu je kri zelo viskozna, zato je srce bolj obremenjeno, moten je tudi pretok krvi skozi drobne žile.

PLAZMA -> je serum v katerem cca. 90% predstavlja voda; 7% beljakovine, drugo pa so:

- plini (CO_2...)
- anorganski ioni (Na^+, K^+, Ca^{2+}, Cl^-)
- hranilne snovi (glukoza ...)
- presnovki (sečnina, kreatinin, bilirubin)
- hormoni (inzulin, adrenalin)
- druge signalne molekule (citokini)

Med beljakovine v plazmi uvrščamo globumin, različne globuline in fibrinogen. Večina beljakovin v plazmi nastane v jetrih.

VPR:
V čem se serum razlikuje od plazme?
· po tem, da ne vsebuje fibrinogena in drugih koagulacijskih dejavnikov.

- serum - nima fibrinogena
- plazma - ima fibrinogen

Za katere laboratorijske meritve lahko uporabimo vzorec seruma/plazme?

- biokemijske preiskave (glukoza, elektroliti, sečnina, kreatinin, jetrni encimi...)
- hormonske preiskave (TSH, T3, T4, kortizol, insulin, prolaktin, VitaminD...)
- imunološke in serološke preiskave (protitelesa, avtoimunski markerji, alergološki testi...)
- kardiološki markerji (troponin, CK, CK-MB, BNP/NT-proBNP...)
- tumorski markerji (PSA, CA-125, CA-19-9, CEA, AFP...)

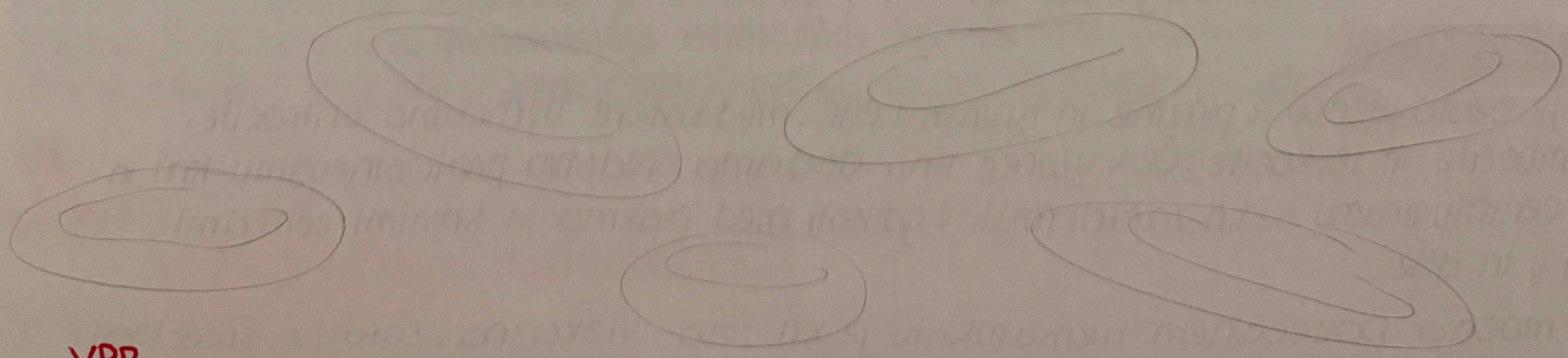
Serum dobimo, če pustimo, da vzorec krvi koagulira. Pri tem se aktivirajo koagulacijski dejavniki in fibrinogen se pretvori v fibrin, ki se skupaj s krvnimi celicami tvori v kruh strdek.

KRVNE CELICE (KRVNA TELESA ALI KRVNIČKE)

V 1l krvi je okoli 5.000 miljard krvnih celic od tega je cca. 95% eritrocitov, 5% trombocitov in do 0.2% levkocitov.

ERITROCITI

eritrociti ali rdeče krvničke so bikonkavne celice brez jeder. Prenašajo O_2 med pljuči in tkivi in sodelujejo pri prenosu CO_2 od tkiv do pljuč. Prenos O_2 eritrocitom omogoča hemoglobin, ki zapolnjuje velik del citoplazme eritrocita in daje krvi značilno rdečo barvo.

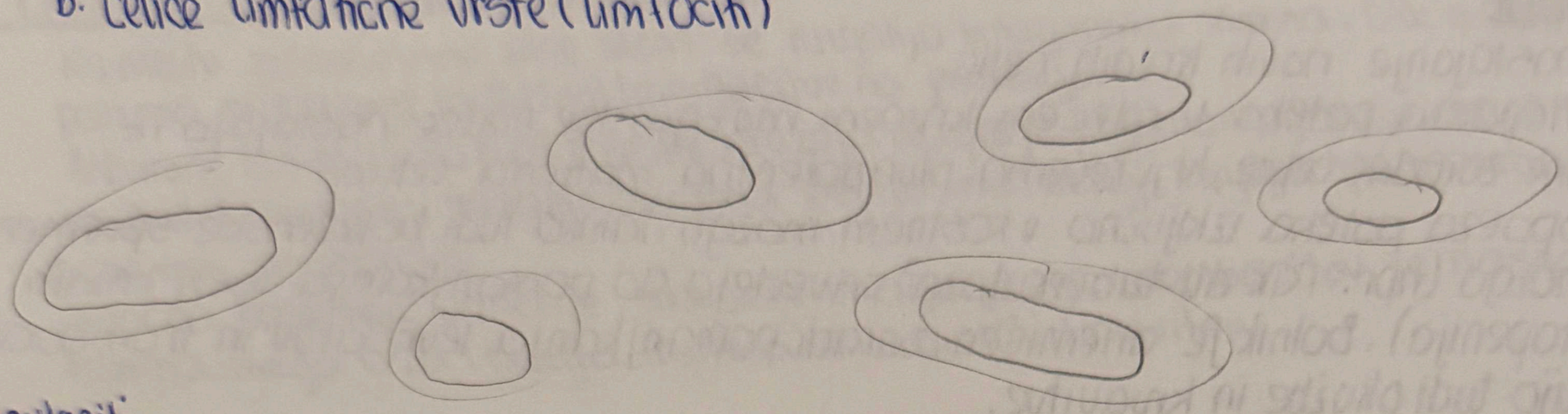


VPR: Kisik se s krvjo prenaša predvsem:
· vezan na hemoglobin v eritrocitih

LEVKOCITI

Levkociti ali bele krvničke so za razliko od eritrocitov in trombocitov prave celice z jedrom. Pomembni so za obrambo pred okužbami.

- Glede na prisotnost mikroskopskih zrnc ločimo:
  a. granulocite (imajo zelo izrazita zrnca)
  b. agranulocite (monociti in limfociti) (zrnca so manj očitna)
- Glede na način nastanka v kostnem mozgu levkocite ločimo na:
  a. celice mieloične vrste (granulociti in monociti)
  b. celice limfatične vrste (limfociti)



Granulociti

Granulocite delimo na:

- nevtrofilci - so najštevilčnejši med granulociti.
- eozinofilci
- bazofilci] vpleteni pri nastanku alergijskih reakcij.

Tako jih delimo glede na obarvanje njihovih zrnc v mikroskopskih preparatih.
Naloga: nevtrofilcev je fagocitoza bakterij.
eozinofilci pomembni za obrambo pred paraziti.

Monociti

Po sprostitvi iz kostnega mozga prehajajo v tkiva kjer iz njih nastanejo makrofagi. Ti so del t.i. mononuklearnega (makrofagnega) fagocitnega sistema, imenovanega tudi retikuloendotelijski sistem (RES).
Njihova naloga je odstranjevanje bakterij, različnih tujkov in propadlih celic.
Limfocitom predstavljajo antigene!

Limfociti

razdelimo jih na limfocite B, limfocite T in naravne celice ubijalke (celice NK)!
Limfociti B in T omogočajo prepoznavanje antigenov in nastanek imunskega spomina.
Vsak limfocit je specializiran za prepoznavanje enega samega antigena. Celice NK ne prepoznavajo antigena, so pa pomembne za uničevanje bolezensko spremenjenih celic.
Normalna koncentracija levkocitov je $4\text{-}10 \times 10^9 l^{-1}$
Največji delež levkocitov predstavljajo nevtrofilci (40-75%) in limfociti (20-50%)
Število levkocitov se poveča (levkocitoza) predvsem pri različnih okužbah.

VPR:

Za limfocite B velja:
- tvorijo protitelesa (imunoglobuline)

Za limfocite T velja:
- prepoznavajo antigene : uničujejo okužene celice

Protitelesa (imunoglobulini) nastajajo:
- v aktiviranih limfocitih B (plazmatkah)

TROMBOCITI

Niso prave celice, ampak z membrano obdani odlomki citoplazme.
Pomembni so za zaustavljanje krvavitve (hemostazo).
Normalna koncentracija trombocitov v krvi je 150-340 $\times 10^9 l^{-1}$.

VPR:

Za trombocite velja:
- spadajo med krvne celice
- sodelujejo pri nastanku krvnega čepa (tromba)

HEMATOPOEZA

to je nastajanje novih krvnih celic.
Hematopoeza poteka v rdečem krvnem mozgu. Vse celice nastajajo iz posebne zarodne celice, ki ji rečemo pluripotentna matična celica.
Ker hematopoeza poteka izključno v kostnem mozgu, lahko tudi bolezenske spremembe kostnega mozga (npr.: rak ali tuberkuloza) privedejo do pomanjkanja vseh krvnih celic (pancitopenija). Bolnik je anemičen, zaradi pomanjkanja levkocitov in trombocitov pa mu grozijo tudi okužbe in krvavitve.

FUNKCIJE KRVI

1. Prenos snovi - transport
2. Hemostaza (zaustavljanje krvi)
3. Obramba

Prenos krvi

Kri tkivom dostavlja O_2 ter hranilne snovi (glukoza). Hkrati iz tkiv odstranjuje CO_2 in presnovke, ki jih prenese do pljuč (CO_2), ledvic (sečnina, kreatinin) ali jeter (bilirubin), kjer se odstranijo iz telesa.
Za prenos O_2 so ključni eritrociti.
Ogljikov dioksid je bolje topen v plazmi in se prenaša deloma v eritrocitih in delno v plazmi.
Plazma prenaša tudi hormone in s tem omogoča prenos signalov med endokrinimi žlezami in drugimi organi.

Hemostaza (zaustavljanje krvi)

Sistem hemostaze deluje tako, da v normalnih razmerah ohranja kri v tekočem stanju, ob poškodbi žile pa sproži nastanek strdka, ki zaustavi krvavitev.
Po zaustavitvi krvavitve pa omogoča tudi ponovno vzpostavitev pretoka krvi. V sistem hemostaze so vključeni žilna stena, trombociti in koagulacijski ter drugi dejavniki v plazmi. Hemostazo delimo na primarno in sekundarno.

VPR:

Pomen hemostaze?
- ohranja kri v tekočem stanju (ob normalnih razmerah)
- ob poškodbi žile sproži nastanek strdka (zaustavitev krvavitve)

PRIMARNA HEMOSTAZA

Vanjo štejemo: vazokonstrikcijo in nastanek trombocitnega čepa (belega tromba)

a. Vazokonstrikcija:

Poškodovana žila se refleksno skrči. Vazokonstrakcijo okrepi sproščanje vazokonstraktornih snovi na mestu poškodbe. Vazokonstrikcija je pomembna ker z upočasnitvijo toka krvi zmanjša volumen izgubljene krvi in hkrati poveča učinkovitost drugih mehanizmov zaustavljanja krvi.

b. Nastanek trombocitnega čepa

Na mestu poškodovane žilne stene se razgalijo kolagenska vlakna. Stik s kolagenom povzroči prilepljanje (adhezijo) trombocitov na podlago.
Aktivirani trombociti na svoji površini izražajo receptorje, ki jim omogočajo, da se prek molekul fibrinogena, povežejo oziroma zlepijo med seboj. Zlapljanju trombocitov pravimo agregacija.
Končna posledica adhezije, aktivacije in agregacije trombocitov je nastanek trombocitnega čepa (belega tromba), ki zaustavi krvavitev.

VPR:

V primarno hemostazo spada:

- vazokonstrikcija
- nastanek trombocitnega čepa

SEKUNDARNA HEMOSTAZA

Sekundarna hemostaza potrebuje nekaj časa da se aktivira. Med sekundarno hemostazo štejemo koagulacijo in fibrinolizo. Med koagulacijo iz fibrinogena nastane fibrin, ki utrdi čep na mestu poškodbe, fibrinoliza pa omogoči razgradnjo čepa in ponovno vzpostavitev pretoka krvi.

a. Koagulacija:

V koagulacijo je vključena skupina plazemskih beljakovin, ki jim rečemo dejavniki koagulacije in so v normalnih razmerah v neaktivni obliki. Aktivirajo se lahko po intrinzični ali ekstinzrični poti, glede na to ali se koagulacija začne v žili ali s sproščanjem tkivnega faktorja zunaj žile.
Ne glede na način aktivacije koagulacije, ekstrinzična in intrinzična pot privedeta do aktivacije faktorja X, ki pretvori neaktivni protrombin v trombin. Aktivirani trombin nato cepi fibrinogen v fibrin. Fibrin se polimerizira v dolga vlakna, med katerimi nastanejo tudi prečne vezi. Tako nastala fibrinska mreža utrdi trombocitni čep. Vanjo se ujamejo tudi eritrociti, zato takšnemu trombu pravimo tudi eritrocitni ali rdeči tromb.

VPR:

Za koagulacijo velja:

- lahko se aktivira po intrinzični poti
- lahko se aktivira po ekstrinzični poti
- iz fibrinogena nastane fibrin
- nastane rdeči tromb

b. Fibrindiza

Fibrinoliza je proces razgradnje fibrina. Ključno vlogo ima plazmin, ki nastane iz neaktivnega plazminogena. Deluje tako, da omogoči nastanek fibrina na mestu poškodbe in hkrati zavre nastajanje fibrina v nepoškodovanih žilah.

Koagulacija - nastanek fibrinskih niti
Fibrinoliza - razgrajevanje fibrinskih niti

MOTNJE HEMOSTAZE

V normalnih razmerah je delovanje trombocitov, koagulacije in fibrinolize natančno uravnano. Motnje v sistemu hemostaze se pokažejo s krvavitvami ali s patološkim nastajanjem strdkov (tromboza)

motnje pri nastajanju trombocitnega čepa:

Trombocitni čep navadno nastane na mestu krvavitve. Pri boleznih kot npr.: ateroskleroza lahko pride do nastanka na nepoškodovanih arterijah. To imenujemo arterijska tromboza. Posledica je zapora toka krvi. Če se to zgodi v venčnih arterijah, ki prehranjujejo srce ali v arterijah, ki prehranjujejo možgane lahko pride do možganske kapi oz. miokardnega infarkta..

motnje koagulacije:

Med koagulacijo se sprožijo tudi nasprotni procesi, ki neposredno zavirajo delovanje različnih koagulacijskih dejavnikov in s tem nastajanje fibrina. Zaviralni mehanizmi so pomembni, ker zmanjšajo možnost neustrezne ali čezmerne aktivacije procesa koagulacije. Za preprečevanje in zdravljenje tromskih zapletov uporabljamo antikoagulacijska zdravila, kot so heparin in kumarini. Heparin deluje tako, da se veže na antitrombin, ki zavira delovanje trombina in drugih koagulacijskih dejavnikov. Kumarini delujejo kot antagonisti vitamina K in tako onemogočajo normalno delovanje koagulacijskih dejavnikov, ki potrebujejo vitamin K, da postanejo funkcionalni.

VPR:

Pri pomanjkanju vitamina K je povečano tveganje:
- za nastanek krvavitev.

ker:
- je moteno delovanje koagulacijskih dejavnikov.

Motnje primarne hemostaze:

- ateroskleroza - maščobe se nabirajo z žilami
- kajenje - snovi, ki so v dimu povzročajo vnetje
- hormonske spremembe - kontracepcijske tablete povzročajo agregacijo
- trombocitopenija - pomanjkanje trombocitov
  - > krvna bolezen
  - > sevanje
  - > kemoterapija
  - > avtoimunske bolezni
- zdravila - aspirin kri redči, preprečuje, da bi trombociti agregirali.

Motnje sekundarne hemostaze:

- trombozi
  - heparin, marevan
  - zaviralci vitamina K
- hemofilija
  - hemofilija a: faktor VIII
  - hemofilija b: faktor IX

Hemofilija → kri se ne strjuje tako hitro. Primanjkuje faktor VIII. Prizadeta je intrinzična pot.

- modrice
- spontane krvavitve
  - možgani
  - oko
  - sklepi
- transfuzije

OBRAMBNA FUNKCIJA KRVI IN IMUNSKI SISTEM

Temeljna fiziološka funkcija imunskega sistema je obramba pred okužbami, ki jih povzročajo patogene bakterije, virusi, glive in paraziti!
Pomemben del imunskega sistema so tudi levkociti in nekatere sestavine plazme.

Naravna in pridobljena imunost (odpornost)

V prepoznavanje in odstranjevanje mikroorganizmov iz telesa so upleteni različni mehanizmi. Ločimo naravno in pridobljeno imunost.

NARAVNA IMUNOST (PRIROJENA ALI NESPECIFIČNA)

Naravna imunost predstavlja nespecifičen obrambni sistem, ki se ob vsaki okužbi odziva po enakem, v naprej določenem vzorcu. Ker so obrambni mehanizmi že pripravljeni, naravna imunost omogoča takojšnjo obrambo ne glede na povzročitelja bolezni. Se ne prilagodi, nima spomina!

PRIDOBLJENA IMUNOST (ADAPTIVNA ALI SPECIFIČNA)

Pridobljena imunost se vzpostavi že ob prvem stiku z določenim mikroorganizmom in je usmerjen izključno proti mikroorganizmu, ki je sprožil njegov nastanek.

1. odziv = blag in počasen
2. odziv = buren in hiter

Najbolj so odgovorni limfociti B in T!

Prednost: zapomne si bakterijo/virus → specifična, spomin
Slabost: počasnejši odziv (prvi stik)

2 komponenti:

- celična → patogen napade našo celico, ki se vključi → izpostavi na površini telesa... virusi
- s protitelesi proti antigenu → bakterije, so precej večje in ne morejo ustopati v celico.

KRVNE SKUPINE:

Eritrociti na svoji površini izražajo več sto različnih antigenov. Prisotnost antigenov je odvisna od genskega zapisa in je torej dedna lastnost. Antigene na površini eritrocitov združujemo v več vrst /različne sisteme krvnih skupin, od katerih sta najpomembnejša sistema ABO in Rh!

ABO sistem

V ABO sistemu ločimo štiri krvne skupine (A, B, AB, O), ki jih določa izražanje antigenov A in B na membrani eritrocita. Če je na eritrocitih prisoten samo antigen A ali samo antigen B, gre za krvno skupino A oz. B. Če sta prisotna antigena A in B gre za krvno skupino AB. Če eritrociti nimajo ne antigena A, ne antigena B, gre za krvno skupino O (nič).

Rh sistem

Najpomembnejši antigen v Rh sistemu je antigen D. Osebe z antigenom D so Rh pozitivne, osebe brez antigena D so Rh negativne.

Protitelesa nastajajo ob stiku Rh- z Rh+

Tabela: krvne skupine iz sistema ABO.

Antigen	Krvna skupina	Protitelesa v plazmi
A	A	anti-B
B	B	anti-A
A in B	AB	ne anti-A, ne anti-B
ne A, ne B	0	anti-A in anti-B

VPR:

Pri osebi s krvno skupino AB v plazmi najdemo:
- niti anti-A, niti anti-B

Pri osebi s krvno skupino 0 je na površini eritrocitov:
- antigen-A in antigen-B

LEDVICE IN NASTAJANJE SEČA

Ledvice so organ mokril, sečil, vendar je na izločanje treba gledati kot del širše funkcije: vzdrževanja stalnosti notranjega okolja (homeostaze). Ledvice vzdržujejo homeostazo volumna in sestave telesnih tekočin ter acidobazno ravnovesje in pH telesnih tekočin, sodelujejo pa tudi pri dolgoročnem in srednjeročnem uravnavanju arterijskega tlaka.

Funkcije ledvic, ki so pomembne za vzdrževanje volumna in sestave telesnih tekočin ter acidobaznega ravnovesja in pH telesnih tekočin so:

- izločanje vode
- izločanje organskih končnih produktov presnove, ki so nastali v telesu
- izločanje neorganskih topljencev, ki so prišli v telo s hrano
- izločanje H^+ in HCO_3^- za uravnavanje acidobaznega ravnovesja (pH) telesnih tekočin.

Izločanje v ledvicah je selektivno, kar pomeni, da ledvice in organizem uravnavajo izločevalno funkcijo glede na potrebe homeostaze.

VPR:

Človek izloča tekočino s/z:

- odvajanjem seča
- odvajanjem blata
- potenjem
- izhlapevanjem vode skozi kožo
- izhlapevanjem vode skozi dihala

PRETOK KRVI SKOZI LEDVICE

Kri, ki teče skozi iprek eferentne arteriole večinoma (90%) obliva proksimalne in distalne tubuluse v ledvični skorji. Le majhen del krvi, ki se prebi skozi ledvice, pa dospe v ledvično sredico, kjer prek vasa recta obliva Henlejevo zanko.

MEHANIZEM NASTAJANJA SEČA

GLOMERULNA FILTRACIJA

Nastajanje primarnega seča je podobno neto filtraciji tekočine na membrani tkivnih kapilar. Glomerulna filtracija je odvisna od filtracijskega tlaka in prepustnosti glomerulnega sita, ki ga sestavljata: stena glomerulne kapilare in visceralni list Bowmanove ovojnice. Prepustnost glomerulnega sita za posamezne sestavine krvi je odvisna od premera rež in površinskega el. naboja tega „sita".

$$FT = (P_k - P_{bp}) - \pi_k = (45\,mmHg - 10\,mmHg)$$

- FT: filtracijski tlak (mmHg)
- P_k: hidrostatski tlak v glomerulnih kapilarah (mmHg)
- P_{bp}: hidrostatski tlak v Bowmanovem prostoru (mmHg)
- π_k: onkotski tlak v glomerulnih kapilarah (mmHg)

V ledvicah se filtrira le tekoči del krvi - plazma. Glomerulno sito (sestavljajo ga mikroskopske pore) normalno namreč ni propustno za celice in večje plazemske beljakovine. Glede na to, da je normalna vrednost hematokrita 45% in da je pretok krvi skozi ledvice okoli 1200 ml krvi min^{-1}, lahko izračunamo, da znaša pretok plazme skozi ledvice 660 ml min^{-1}. Od tega se v ledvicah filtrira 120 ml min^{-1}.

VPR:

Voda se:
- filtrira v glomerulih
- pasivno resorbira vzdolž zbiralc odvisno od ADH

Ledvično glomerulno sito:
- zadržuje v plazmi snov z molekulsko maso nad 70000
- zadrži krvne celice, da se ne izločajo v urin

Velika večina vode, ki se filtrira v glomerulih, se reabsorbira v ledvičnih tubulusih in zbiralcih:
- z difuzijo zaradi osmoznega učinka reasorbiranih osmotsko aktivnih snovi.

Na nastajanje primarnega urina v glomerulih normalno vplivajo naslednji tlaki:
- hidrostatski tlak v kapilarah glomerula
- hidrostatski tlak v Bowmanovi kapsuli
- koloidnoosmotski (onkotski) tlak v kapilarah glomerula

TUBULUSNA REABSORPCIJA

Na dan nastane v Malpighijevih telescih 180 l primarnega seča, izloči pa se navadno samo 1.5 l seča. To pomeni, da se je velika večina tekočine reabsorbirala iz nefrona v kri.

VPR:

Za glomerulno filtracijo velja:
- normalna količina glomerulnega filtrata pri odraslem človeku je okrog 180 l dan^{-1}
- normalno se filtrira 20% plazme, ki teče skozi glomerule.

Neka snov se lahko popolnoma izloči iz krvi, ki teče skozi ledvice, če se:
- filtrira v glomerulih in secernira v tubulusih.

DISTALNI TUBULUS IN ZBIRALCE

Antidiureza. -> pomeni varčevanje z vodo, izloča se majhen volumen hipertoničnega seča. To se zgodi, kadar je osmolarnost telesnih tekočin zvečana. ADH zveča prepustnost distalnih tubulusov (v skorji) in zbiralc (v sredici) z vodo. V skorji (distalni tubulusi) je področje normalne osmolarnosti okrog 290 mosm l^{-1}.

VPR:

Urin se koncentrira nad 300 mosm /l v:
- zbiralcih

VZDRŽEVANJE KONCENTRACIJE ELEKTROLITOV IN VOLUMNA TELESNIH TEKOČIN

Ta dejavnost ledvic je izredno pomembna za preživetje organizma. Uravnavanje volumna telesnih tekočin in elektrolitov z ledvicami sledi načelu, da mora biti vnos vode in elektrolitov v telo enak izločanju iz telesa. Ledvice uravnavajo volumen in sestavo telesnih tekočin s spreminjanjem količine s sečem izločene tekočine in koncentracije v seču.

Za izločanje produktov presnove je potreben vsaj minimalni obvezni volumen seča, ki znaša vsaj 500 ml dan^{-1}.

Volumen telesnih tekočin in koncentracija elektrolitov se uravnavata z mehanizmi, ki spreminjajo količino in sestavo seča izločenega skozi ledvice:

- z antidiuretičnim hormonom (ADH)
- z aktivacijo sistem renin-angiotenzin-aldosteron
- s spreminjanjem filtracijskega deleža v ledvicah

VPR:

Za uravnavanje tekočine v telesu v normalnih razmerah velja, da:

- je najmanjša možna količina s sečem izločene tekočine okoli 500 ml dan^{-1}.
- se vnos in izločanje tekočine spreminjata glede na spremembe osmolarnosti zunajcelične tekočine
- se vnos in izločanje tekočine spreminjata glede na spremembe volumna zunajcelične tekočine.
- je hipotalamus pomemben za uravnavanje vnosa in izločanja tekočine

URAVNAVANJE IZLOČANJA ADH

Povečanje osmolarnosti zunajcelične tekočine poveča sintezo ADH v supraoptičnih in paraventrikularnih jedrih hipotalamusa in posledično poveča njegovo izločanje v krvni obtok nevrohipofize. V ADH v ledvicah poveča prepustnost distalnih tubulusov in zbiralc za vodo, kar olajša reabsorpcijo vode in zmanjša volumen seča.

VPR:

Koncentracija topljenceu v urinu se bo zvečala, če:

- ne pijemo vode
- zvečamo porabo kuhinjske soli
- se zveča izločanje ADH
- se izloča obligatorni volumen urina.

DELOVANJE SISTEMA RENIN-ANGIOTENZIN-ALDOSTERON

Proces uravnava hormon aldosteron, ki ga izloča skorja nadledvične žleze. S svojim delovanjem na bilanco Na^+, in stem na količino Na^+ v telesu je aldosteron pomemben regulator volumna zunajcelične tekočine. Aldosteron se izloča predvsem, kadar je v telesu premalo Na^+ in kadar je premajhen pretok krvi skozi ledvice, te izločajo encim renin, ki katalizira nastajanje angiotenzina I iz posebne plazemske beljakovine.

VPR:

Aldosteron se izloča iz skorje nadledvične žleze, kadar je:

- zmanjšan pretok krvi skozi ledvice
- pomanjkljaj natrijevih ionov v organizmu
- zvečana sekrecija renina iz ledvic
- zvečana koncentracija angiotenzina v krvi.

IZLOČANJE KISLIN

Najnižji pH seča je okoli 4, kar ni dovolj za izločanje vseh nastalin kislin, zato morajo biti za izločanje kisline v seču vnovi, ki vežejo H^+. Tubulusne celice izločajo H^+ v zamenjavo za Na^+ iz tubulusne tekočine.
Akceptorji H^+ v tubulusni tekočini so: HCO_3^-, HPO_4^{2-} in amoniak (NH_3). Da bi se izločila kislina, se H^+ najprej veže na HCO_3^- v primarnem seču, nato se H^+ veže na HPO_4^{2-} in NH_3. Amoniak izločajo tubulusne celice z delovanjem encima glutaminaze na aminokislino glutamin.

DIHANJE

DIHANJE

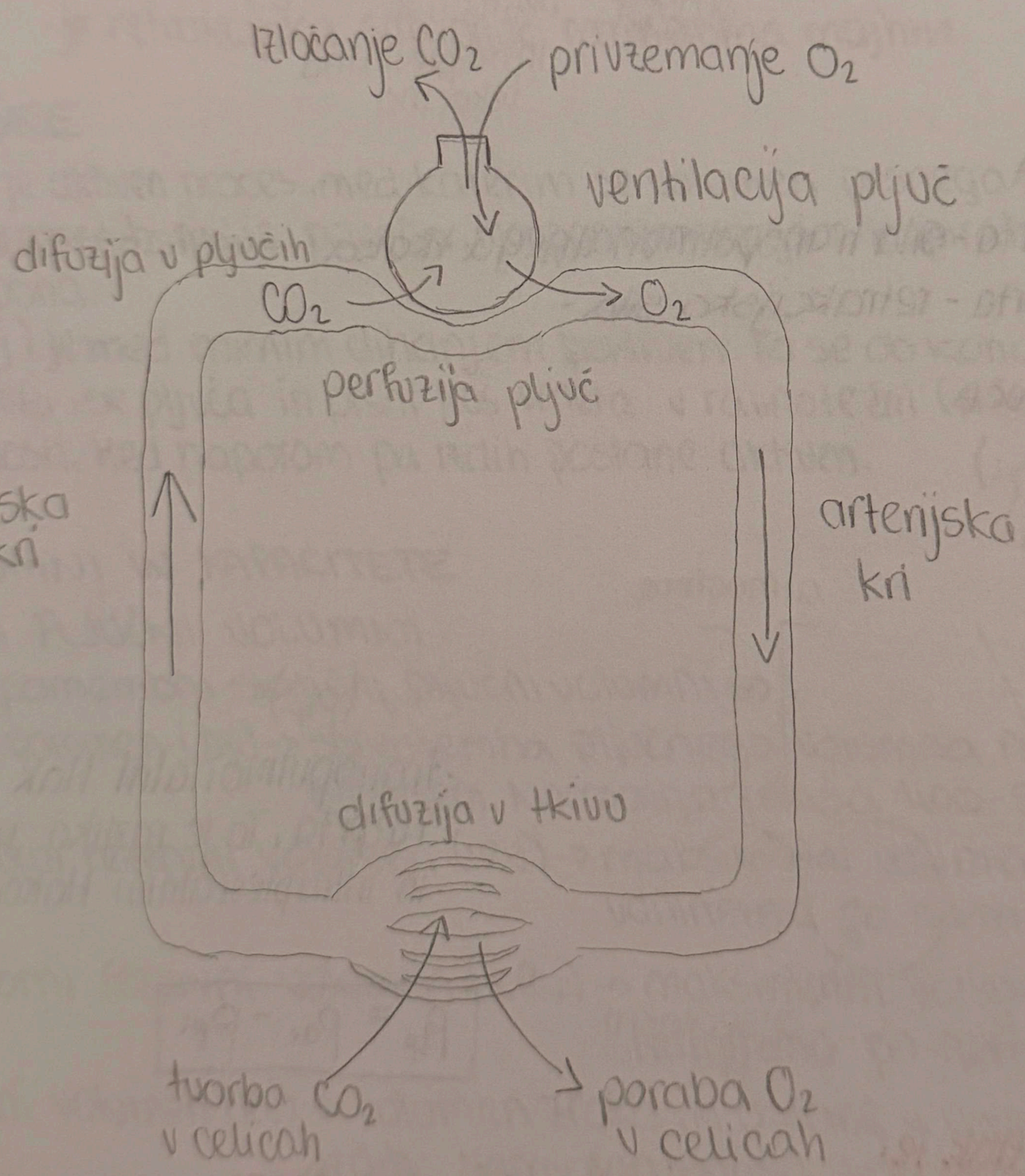
Kaj je temeljna funkcija dihanja?: - izmenjava plinov, kisika (O_2) in ogljikovega dioksida (CO_2), med atmosfero in krvjo in tako vzdrževanje njihovih ustreznih koncentracij v oragnizmu.

TEMELJNI PROCESI, KI ZAGOTAVLJAJO DIHALNO FUNKCIJO:

Normalno dihalno funkcijo zagotavljajo 3 temeljni procesi

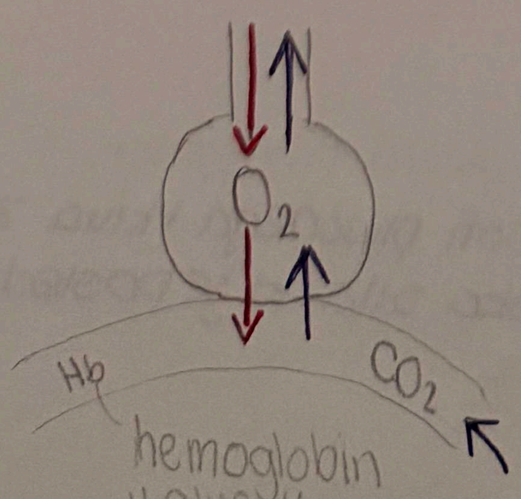
- izmenjava zraka med atmosfero in alveoli (pljučna ventilacija).
- izmenjava plinov med alveoli in krvjo (difuzija).
- prekrvavljenost pljuč (perfuzija).

zunanji zrak
↓
telo
↓
alveoli



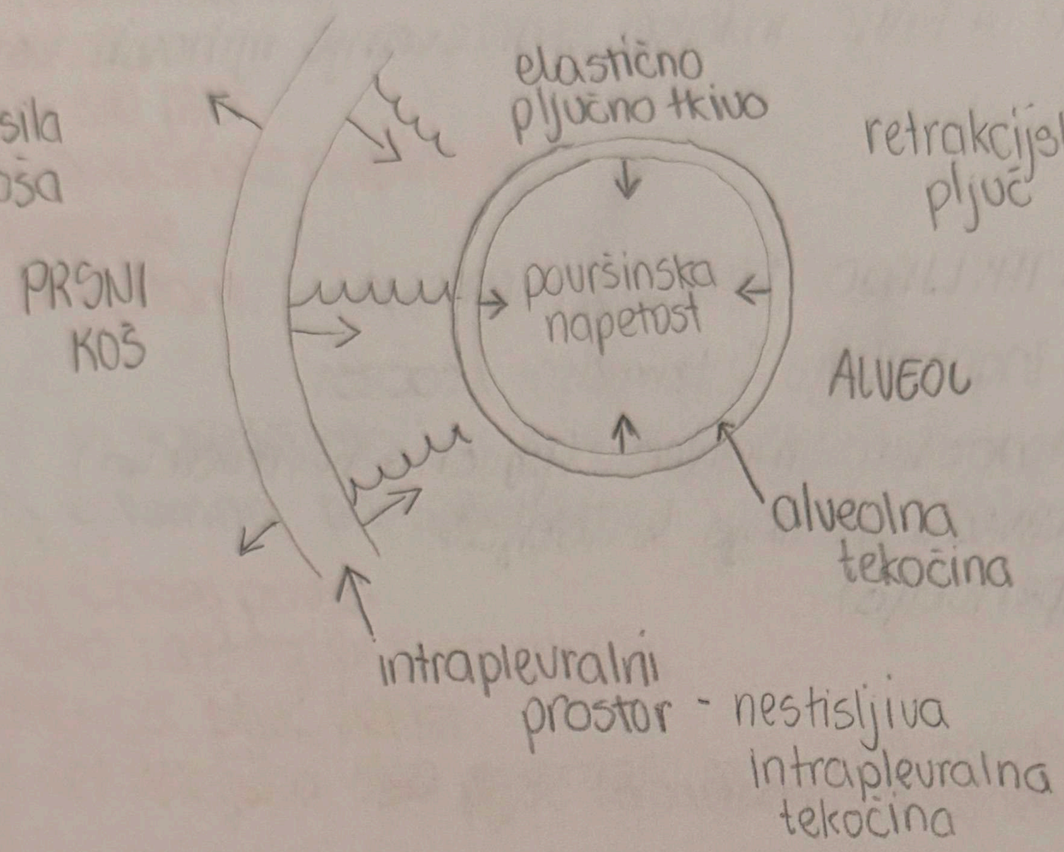
SKICA: difuzija

zunanji zrak
↓
alveole
↓
kapilare



PLJUČNA VENTILACIJA: omogoča izmenjavo zraka med atmosfero in alveoli

- razlika v tlakih (zaradi ritmičnega krčenja in sproščanja dihalnih mišic).
  - → mehansko premikanje prsnega koša (zunanje medrebrne mišice)
  - → delovanje prepone (n. phrenicus ; C3 - C5)

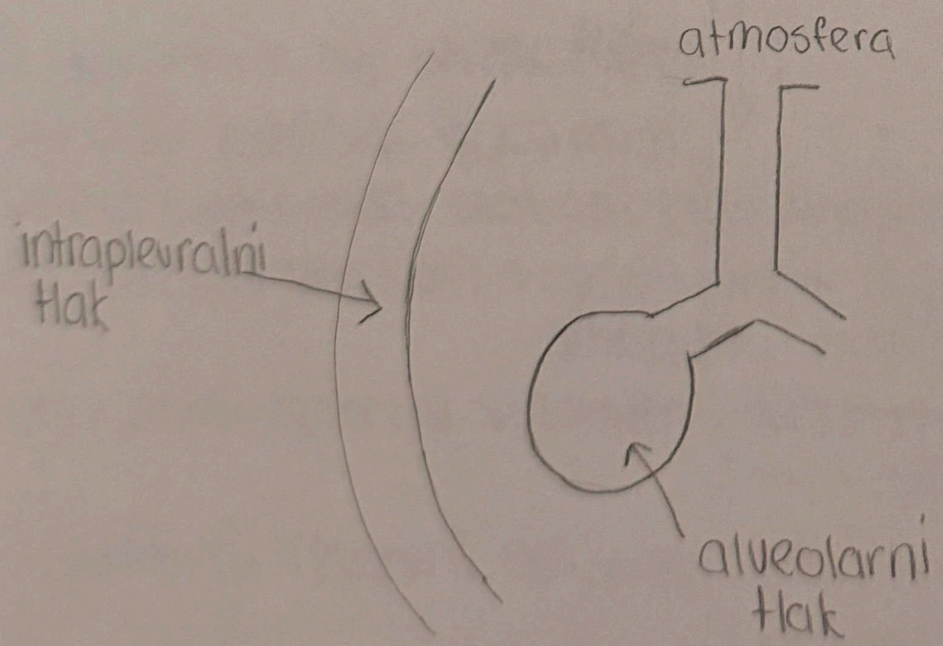


SILE, KI DELUJEJO NA PLJUČA

- sila, ki drži pljuča odprta - sila transpulmunalnega tlaka - elastična sila
- sila, ki drži pljuča zaprta - retrakcijska sila -

TLAKI, KI DELUJEJO NA PLJUČA

- intrapleuralni tlak (p_{pl})
- alveolarni tlak (p_{av})



(p_{tp})

- transpulmonalni tlak - drži pljuča razprta. To je razlika med alveolarnim in intrapleuralnim tlakom.

$$p_{tp} = p_{av} - p_{pl}$$

VPR:

Transpulmonalni tlak je:
- razlika med tlakom v alveolih in plevralnem prostoru

Njegova funkcija je:
- razpenja pljuča

RETRAKCIJSKA SILA PLJUČ, VODI PLJUČA H KOLAPSU

↳ upira se raztezanju pljuč & vleče visceralno plevro navznoter.

Sestavljata jo dve sili: sila, ki je posledica elastičnosti pljučnega tkiva zaradi elastičnih in kolagenskih vlaken v njem, in površinska sila, ki je posledica površinske napetosti tekočine na površini alveolov.

Celice v alveolarni sistem izločajo snov, ki zmanjša površinsko napetost alveolarne tekočine in posledično retrakcijsko silo pljuč. V pljučih nedonošenčkov je nastajanje surfaktanta pogosto zmanjšano in posledično retrakcijska sila pljuč je povečana.

VPR:
Povečana površinska napetost tekočine na steni alveolov bi
- povečala
retrakcijsko silo pljuč.
Povečanje površinske napetosti
- preprečuje
pljučni surfaktant.

PODAJNOST PLJUČ

V fiziologiji to opredelimo kot raztegljivost votlega organa. Enaka je spremembi volumna pri spremembi transmuralnega tlaka za eno enoto.

VPR: Podajnost pljuč nam pove:
- kako raztegljiva so pljuča
Če je komplianca pljuč velika:
- je retrakcijska sila pljuč razmeroma majhna.

DIHALNE MIŠICE

Vdih (inspirij) je aktiven proces, med katerim se volumen prsnega koša in pljuč zaradi krčenja inspiratornih mišic poveča. Najpomembnejša inspiratorna mišica je trebušna prepona.
Izdih (ekspirij) je med mirnim dihanjem pasiven. Ko se ob koncu vdiha inspiratorne mišice sprostilo, se pljuča in prsni koš vrneta v ravnotežni (mirovni) položaj zaradi svoje elastičnosti. Med naporom pa izdih postane aktiven.

PLJUČNI VOLUMNI IN KAPACITETE

1. STATIČNI PLJUČNI VOLUMNI

Funkcionalno pomembni statični pljučni volumni so:
- dihalni volumen (DV) -> sprememba pljučnega volumna med normalnim dihanjem. Normalno znaša 400-500 ml.
- inspiratorni rezervni volumen (IRV) -> maksimalni volumen zraka, ki ga lahko vdihnemo po normalnem vdihu
- ekspiratorni rezervni volumen (ERV) -> maksimalni volumen zraka, ki ga lahko izdihnemo po normalnem izdihu
- rezidualni volumen (RV) -> volumen zraka, ki ostane v pljučih tudi po maksimalnem izdihu. Normalno znaša 1-2 l in s starostjo narašča.

STATIČNE PLJUČNE KAPACITETE

Pljučne kapacitete so funkcionalno pomembne vsote posameznih statičnih pljučnih volumnov:

- totalna pljučna kapaciteta (TPK) -> vsota vseh pljučnih volumnov, vključno z rezidualnim volumnom
- vitalna kapaciteta (VK) -> volumen zraka, ki ga lahko izdihnemo po maksimalnem vdihu
- funkcionalna rezidualna kapaciteta (FRK) -> volumen zraka, ki ostane v pljučih po normalnem izdihu. Je vsota ekspiratornega rezervnega volumna in rezidualnega volumna ter navadno znaša 2-3 l.
- inspiratorna kapaciteta predstavlja vsoto dihalnega volumna in inspiratornega rezervnega volumna in pove, koliko zraka lahko vdihnemo po normalnem mirnem izdihu.

VPR:

Funkcionalna rezidualna kapaciteta [FRK] je:

- volumen zraka, ki ostane v pljučih po normalnem izdihu
- vsota ekspiratornega rezervnega volumna (ERV) in rezidualnega volumna (RV)

MINUTNI VOLUMEN DIHANJA

Pljučna ventilacija ali minutni volumen dihanja (MVD) je volumen zraka, ki ga vdihnemo ali izdihnemo vsako minuto.
Normalno je dihalni volumen okrog 500 ml, frekvenca dihanja pa 12 min^{-1}, zato je minutni volumen dihanja okrog 6 l min^{-1}.

$$MVD = DV \cdot Fr$$

MVD: minutni volumen dihanja; DV: dihalni volumen; Fr: frekvenca

MRTVI PROSTOR

Med ventilacijo pljuč del vdihanega zraka ostane v dihalnih poteh in ne pride v alveole, kjer poteka izmenjava plinov med zrakom in krvjo.

ALVEOLARNA VENTILACIJA

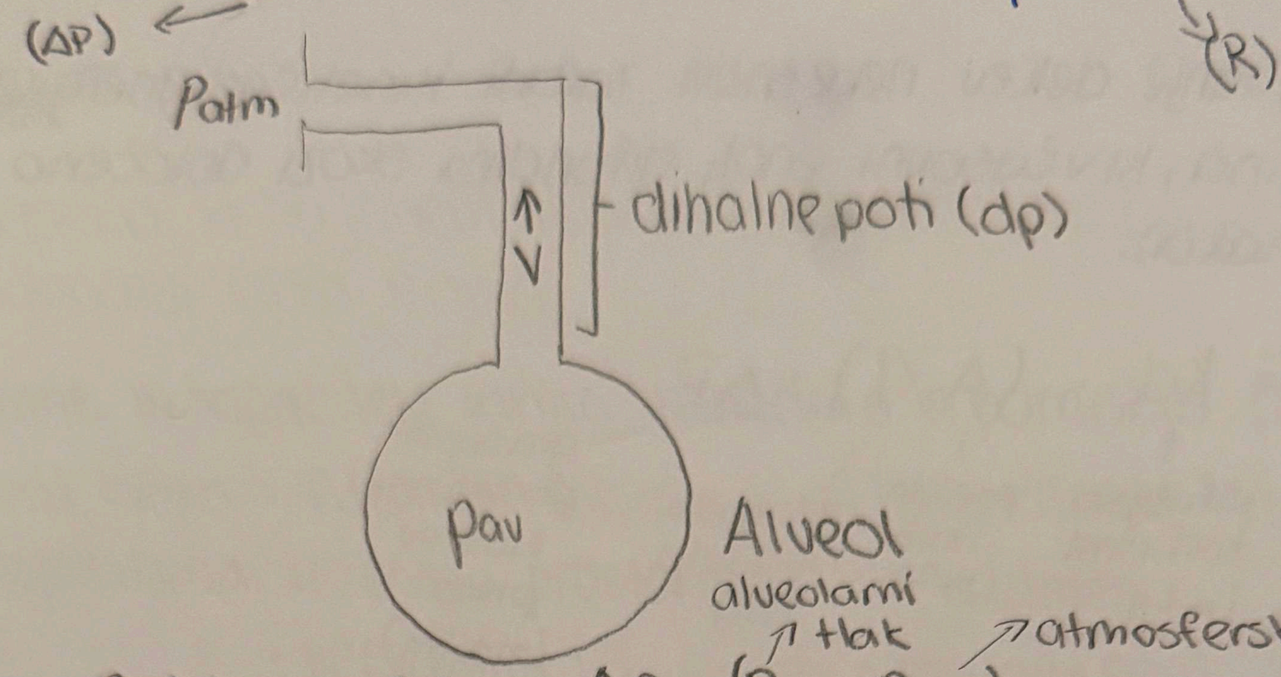
Je del pljučne ventilacije, ki uravnava koncentracijo alveolarnih plinov in tako neposredno vpliva na izmenjavo plinov med alveolo in krvjo.
Enaka je volumnu zraka, ki pride v eni minuti v funkcionalne alveole.

$$AV = (DV - VMP) \cdot Fr$$

AV: alveolarna ventilacija ($l\,min^{-1}$); DV: dihalni volumen (ml); VMP: volumen mrtvega prostora (ml); Fr: frekvenca dihanja (min^{-1})

PRETOK ZRAKA MED OKOLJEM IN ALVEOLI

Dihalne poti so cevi, po katerih teče zrak iz atmosfere v alveole in obratno. Pretok zraka (V) je premosorazmeren razliki med alveolarnim in atmosferskim tlakom (Δp) in obratno sorazmeren z uporom (R) dihalnih poti.



alveolarni tlak → p_{av}; atmosferski tlak → p_{atm}

$$\text{Pretok zraka}(V) = \frac{\Delta p}{R} = \frac{(p_{av} - p_{atm})}{R}$$

R dp -> upor

Normalno je upor dihalnih poti majhen, zato je za pretok zraka med dihanjem potrebna majhna razlika tlakov (1-2 cm H_2O).

VPR:

Glavno mesto izmenjave plinov med zrakom in krvjo v pljučih so:
- alveoli

Ob koncu normalnega izdiha je ob odprtem glotisu tlak v alveolih:
- enak atmosferskemu tlaku.

Difuzija plina med zrakom in krvjo v pljučih je premosorazmerna
- gradientu parcialnih tlakov plina
- difuzijski površini

DOLOČANJE STOPNJE ZOŽITVE (OBSTRUKCIJE) DIHALNIH POTI

Pri obstrukcijskih boleznih pljuč je zaradi povečanega uporav dihalnih poteh maksimalni pretok zraka skozi dihalne poti zmanjšan. Volumen zraka, ki ga izdihnemo med forsiranim izdihom v prvi sekundi, imenujemo forsirani ekspiratorni volumen v prvi sekundi (FEV_1). Določa ga maksimalni pretok skozi dihalne poti med izdihom in je zmanjšan pri obstrukcijskih motnjah dihanja. To razmerje je pri bolnikih z obstrukcijsko motnjo dihanja znižano pod 70%.

VPR:

Forsiran ekspiracijski volumen [FEV_1] je volumen zraka, ki ga po maksimalnem vdihu
- izdihamo z vso močjo v prvi sekundi.

FEV_1 je pri zdravih ljudeh
- več kot 80% vitalne kapacitete

IZMENJAVA PLINOV V PLJUČIH IN V TKIVU

V alveolih, krvi in tkivih je prisotnih več plinov. Posamezni plini se med alveoli in krvjo prenašajo z difozijo.

DIFUZIJA

Je naključno gibanje delcev neke snovi zaradi kinetične energije. Neto količino določenega plina, ki v časovni enoti difundira skozi določeno plast tkiva opisuje Fickov zakon:

$$Q \cong Kd \cdot (A/l) \cdot \Delta P$$

- Q: neto količina difundiranega plina ($ml\ min^{-1}$)
- Kd: difuzijski koeficient ($m^2 s^{-1}$)
- A: površina tkiva (m^2)
- l: difuzijska razdalja (m)
- ΔP: gradient parcialnih tlakov plina (mmHg)

Parcialni tlak plina je tlak, ki bi ga določen plin v mešanici plinov imel, če bi volumen, ki je na voljo za celotno mešanico zasedel sam.

VPR: Smer neto difuzije plina skozi alveolarno membrano v pljučih je odvisna od:
- parcialnih tlakov plina v alveolih in v kapilarni krvi.

ALVEOLARNI PLINI

Zrak, ki ga navadno vdihavamo - atmosferski zrak - je mešanica O_2 in N_2 ter majhen odstotek CO_2.

DIFUZIJA V PLJUČIH

Merilo za sposobnost pljuč, da omogočijo ustrezno difozijo določenega plina, je difuzijska kapaciteta pljuč, ki nam pove, koliko tega plina bi difundiralo skozi alveolo kapilarno membrano v minuti, če bi bila razlika njegovih parcialnih tlakov 1 mmHg.

VPR: Respiracijski količnik je razmerje med:
- minutnima volumnoma izdihanega CO_2 in vdihanega O_2

normalno je:
- malo manjši kot 1

PRENOS PLINOV PO KRVI - PRENOS KISIKA

Večina kisika v krvi je vezanega na hemoglobin (Hb) v eritrocitih, le nekaj malega ga je raztopljenega v plazmi. Hemoglobinska molekula je sestavljena iz štirih polipeptidnih verig. Na eno molekulo Hb so lahko vezane 4 molekule O_2. Hemoglobin z vezanim O_2 imenujemo oksihemoglobin (HbO_2)

VPR: Na vsako molekulo hemoglobina se lahko vežejo:
- štiri

molekule kisika.

Spojini, ki pri tem nastane, pravimo:
- oksihemoglobin

TEORETIČNA IZHODIŠČA:

1. Kaj je spirometer? naprava, ki bo izmeril količino (volumen) vpihanega zraka v določenih časih izdiha.

2. Katere pljučne volumne in kapacitete lahko izmerimo s pomočjo spirometrije in katerih ne? Izmerimo lahko: • VT (plimni volumen); IRV (inspiratorna rezervna prostornina); ERV (ekspiratorna rezervna prostornina) → volumni.
• VC (vitalna kapaciteta ~ VT+IRV+ERV); IC (inspiratorna kapaciteta ~ VT+IRV); EC (ekspiratorna kapaciteta ~ VT+ERV) → kapacitete
Izmeriti NE moremo: • RV (residualni volumen) → volumen
• FRC (funkcionalna rezidualna kapaciteta ~ ERV+RV);
TLC (totalna pljučna kapaciteta ~ VC+RV) → kapacitete

3. Kaj sta dihalni volumen in funkcionalna rezidualna kapaciteta?
- dihalni volumen (DV) = sprememba volumna pljuč med normalnim dihanjem. Normalno je 400-500 ml.
- funkcionalna rezidualna kapaciteta (FRK) = volumen zraka, ki ostane v pljučih po normalnem izdihu. Je vsota ekspiratornega rezervnega volumna in rezidualnega volumna je običajno 2-3 litre.

4. Katera ravnotežje sil določi funkcionalno rezidualno kapaciteto pri zdravem človeku? V čem je pomen te kapacitete?
FRK nastane zaradi ravnotežja med dvema nasprotnima silama:
- Elastičnim upiranjem pljuč - zaradi svoje elastičnosti želijo skrčiti navznoter.
- Elastičnim raztezanjem prsnega koša - želi razširiti navzven.

FRK je točka, kjer se notranja sila pljuč = zunanji sili prsnega koša, v miru ni pretoka zraka! Je pomembna ker: preprečuje kolaps alveolov; omogoča stalno izmenjavo plinov; stabilizira pljučno mehaniko; ...

5. Kaj je rezidualni volumen? (RV)
je volumen zraka, ki ostane v pljučih tudi po maksimalnem izdihu. Normalno znaša 1-2 l in s starostjo narašča.

6. Kaj nam pove vitalna kapaciteta? Od česa je odvisna? (VK)
To je volumen zraka, ki ga lahko izdihnemo po maksimalnem vdihu (ne vsebuje rezidualnega volumna). Odvisna je od telesne konstitucije, spola, starosti in telesne konclicije.

7. Kaj so obstruktivne in kaj restruktivne pljučne bolezni?

- Obstruktivne pljučne bolezni → ovira v dihalnih poteh → zrak težje iz pljuč izstopi. Dihalne poti so zožene, vnete ali napolnjene s sluzjo.
  Primeri: Astma; KOPB (kronična obstruktivna pljučna bolezen - emfizem in kronični bronhitis); bronhiektazije; cistična fibroza
- Restriktivne pljučne bolezni → pljuča se težje razširijo → zmanjša se volumen zraka, ki ga lahko vdihnemo.
  Primeri: - pljučni (notranji) vzroki: pljučna fibroza; sarkoidoza; pljučnice...
  - zunajpljučni (ekstrinzični) vzroki: deformacija prsnega koša (kifoza, skolioza); debelost; mišične bolezni (mišična distrofija); nevrološke bolezni (ALS, poškodbe hrbtenjače)...

8. Kaj je alveolarna ventilacija (AV)?

Je del pljučne ventilacije, ki uravnava koncentracijo alveolarnih plinov in tako neposredno vpliva na izmenjavo plinov med alveoli in krvjo. Enaka je volumnu zraka, ki pride v eni minuti v funkcionalne alveole. Izračunamo po formuli:

$$AV = (DV - VMP) \cdot Fr$$

DV — dihalni volumen; VMP — volumen mrtvega prostora; Fr — frekvenca dihanja

9. Kaj je minutni volumen dihanja (MVD)?

Je volumen zraka, ki ga vdihamo ali izdihamo vsako minuto. Izračunamo ga po formuli:

$$MVD = DV \cdot Fr$$

DV — dihalni volumen; Fr — frekvenca dihanja

10. Kako spreminjanje alveolarne ventilacije vpliva na parcialne tlake O_2 in CO_2 v alveolih?

Spreminjanje AV neposredno vpliva na parcialne tlake kisika (PAO_2) in ogljikovega dioksida ($PACO_2$) v alveolih.

☐ Če alveolarna ventilacija naraste (hiperventilacija)
dihamo hitreje ali globje, zato se več svežega zraka izmenja v alveolih.
- PAO_2 → naraste
- $PACO_2$ → pade

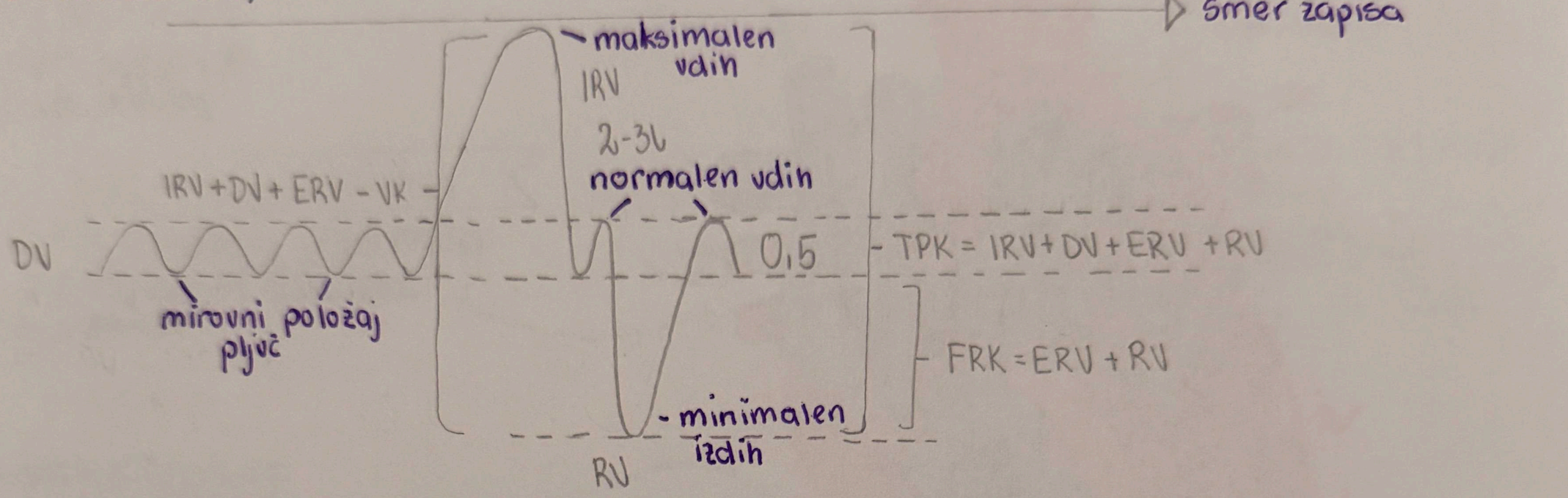
☐ Če alveolarna ventilacija pade (hipoventilacija)
dihamo plitvo ali premalo, zato se svež zrak ne izmenja učinkovito
- PAO_2 → pade
- $PACO_2$ → naraste

11. Kaj se zgodi z dihanjem, če se mrtvi prostor poveča in zakaj?

Ko se mrtvi prostor poveča se spremeni razmerje med zrakom, ki ga vdihnemo in zrakom, ki dejansko pride do alveolov in sodeluje pri izmenjavi plinov.

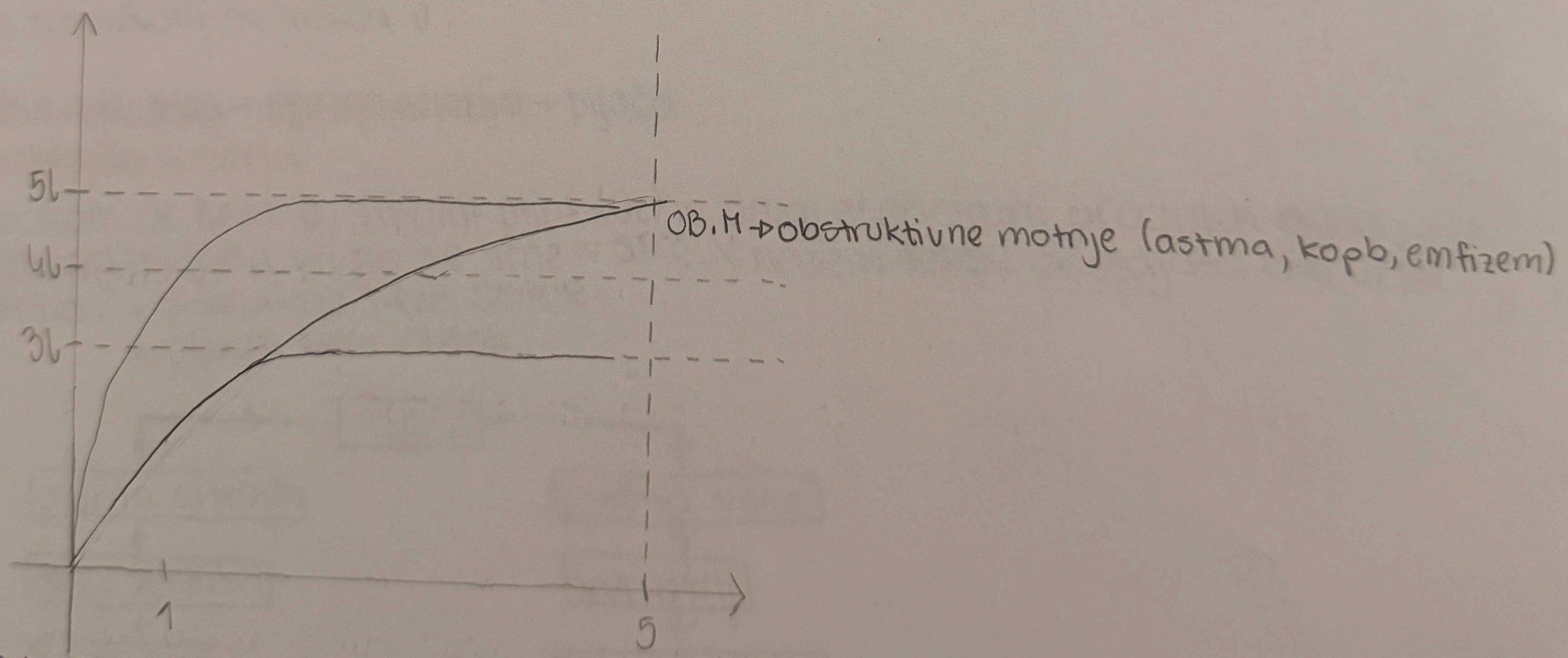
1. Učinkovita alveolarna ventilacija pade
2. CO_2 narašča -> $PACO_2$ se dvigne ~ ker iz alveolov izpiramo manj CO_2, se ta začne kopičiti, vodi v hiperkapnijo.
3. O_2 pada -> PAO_2 se zmanjša ~ manj svežega zraka pride do alveolov, vodi v hipoksemijo
4. Telo kompenzira -> dihanje se pospeši in poglobi ~ da ohrani zadostno alveolarno ventilacijo

DIHALNI VOLUMEN (DV)

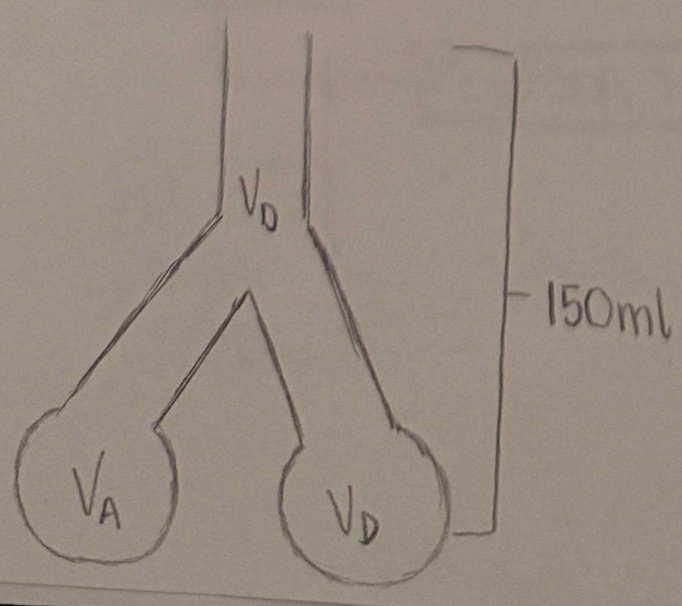


DV = dihalni volumen; IRV = inspiratorni rezervni volumen; ERV = ekspiratorni rezervni volumen; VK = vitalna kapaciteta; TPK = totalna pljučna kapaciteta; FRK - funkcionalna rezidualna kapaciteta, RV - rezidualni volumen.

REZULTAT SPIROMETRIJE - koliko zraka greš iz naših pljuč



MRTVI PROSTOR IN ALVEOLNA VENTILACIJA



MUD = DV · Fr
AV = (DV - VMP) · Fr
Alveolna ventilacija : Funkcionalni alveoli

POT KRVNEGA PRETOKA

GOLDEN RULE: desna stran = deoksigenirana kri
desna stran = deoksigenirana kri ; leva stran = oksigenirana kri

1 Telo → srce

Deoksigenirana kri iz telesa vstopi v desno stran skozi:
→ vena cava superior
→ vena cava inferior

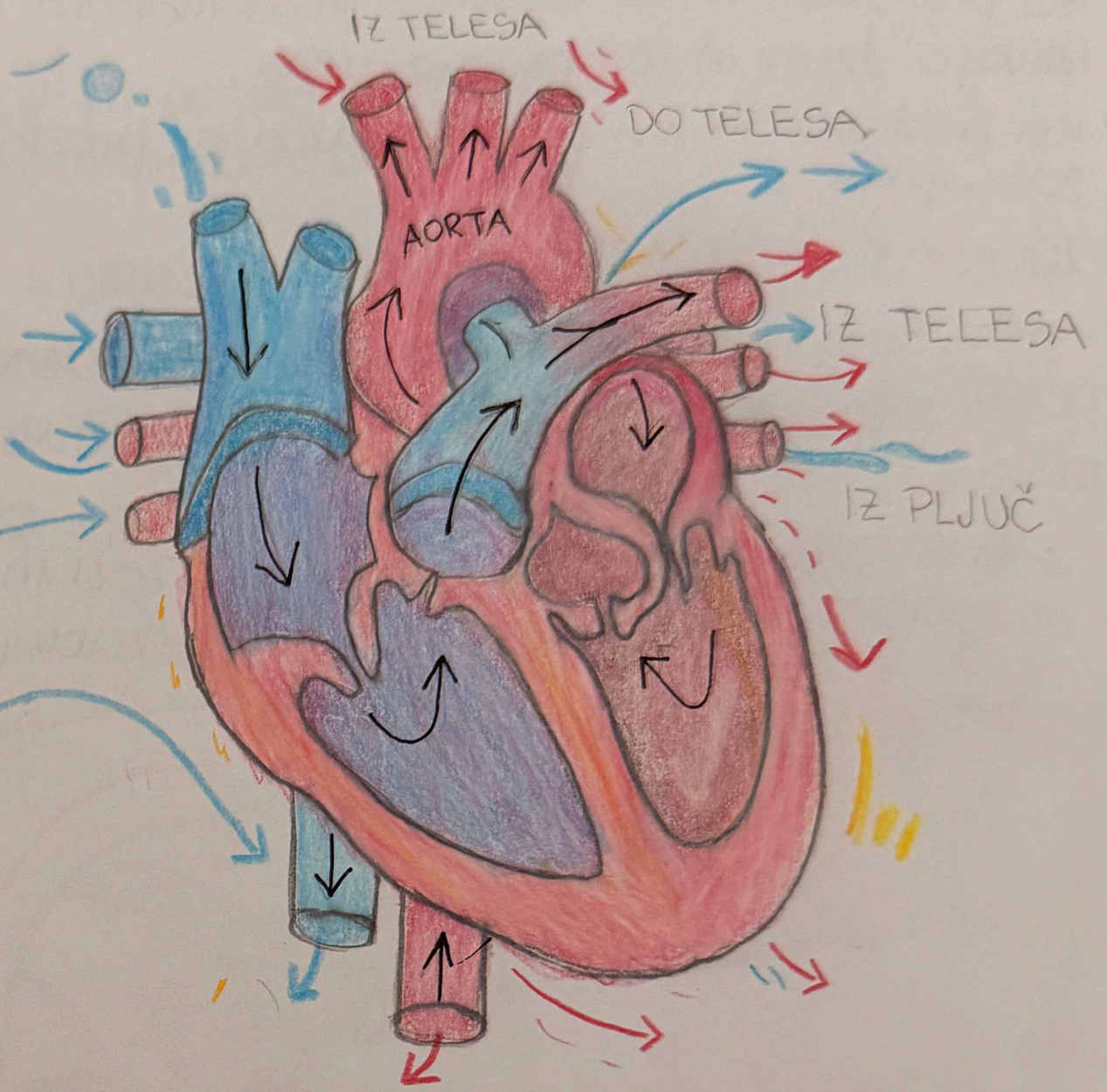
2 Desni atrij → desni ventrikel

kri teče iz desnega predvora
→ skozi trikuspidalno zaklopko
→ v desni ventrikel

3 Srce → pljuča

Desni ventrikel črpa kri
→ skozi pljučno zaklopko
→ v pljučno arterijo

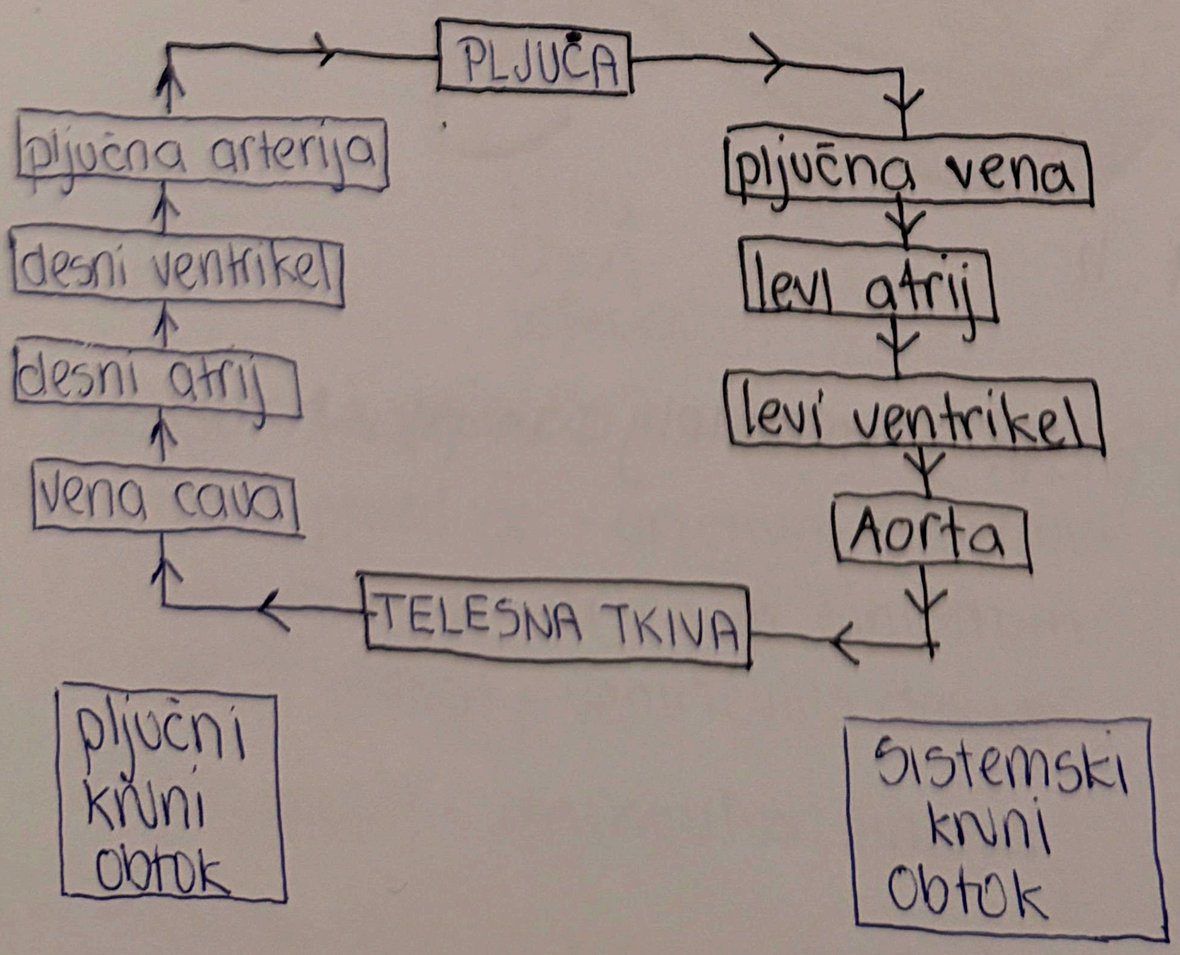
POMEMBNO: Pljučne arterije prenašajo deoksigenirano kri!



4 Pljuča → srce

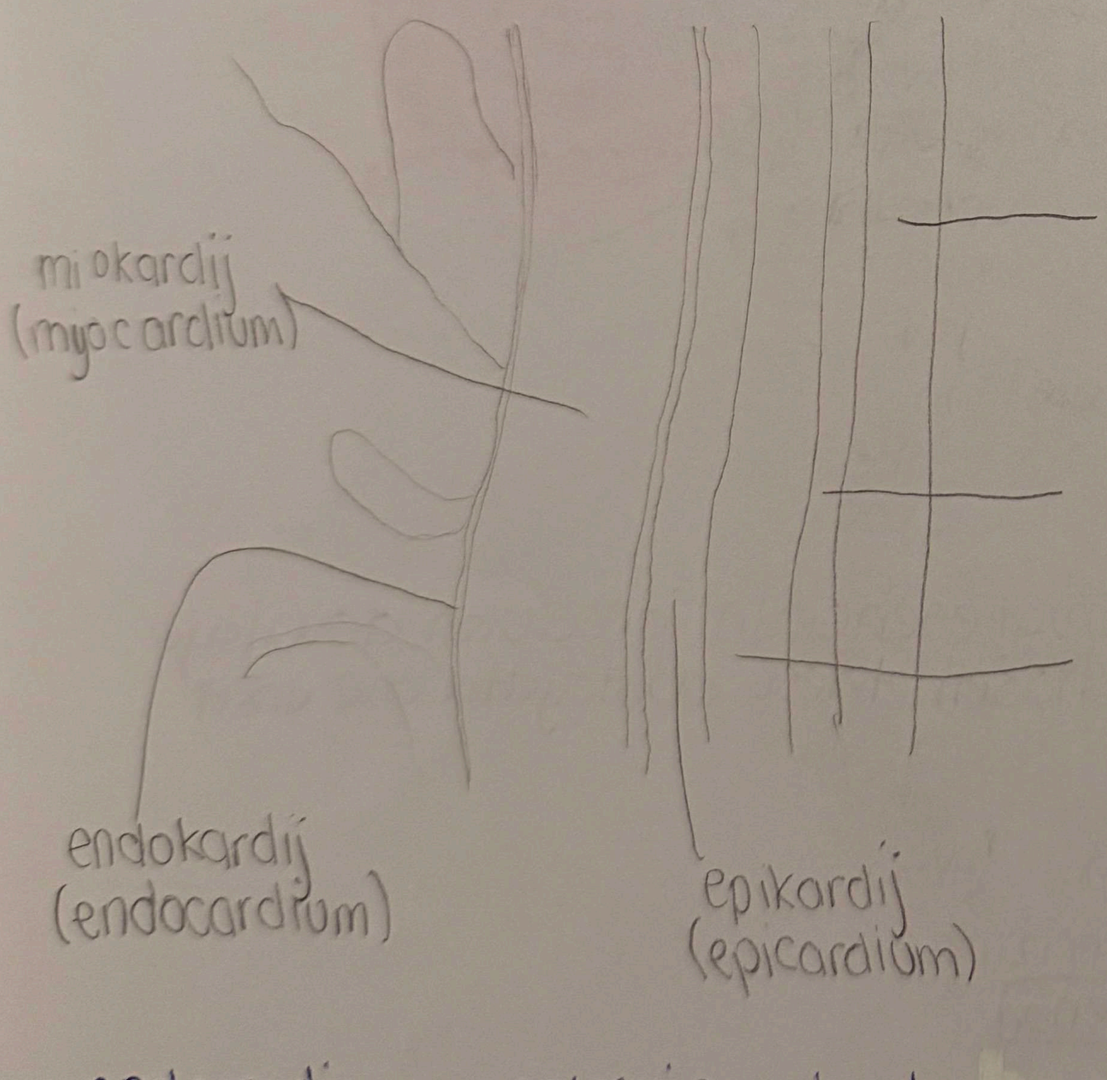
kri bogata s kisikom, se vrača v:
→ levi atrij
→ trikuspidalno zaklopko → pljučno arterijo → pljuča
→ mitralna zaklopka → aorta

S krvnim obtokom se hranila, dihalni plini (O_2) in drugi esencialni produkti dovajajo po telesu, deoksigenirana kri pa se vrne v srce. V našem telesu obstajata dve vrsti krvnega obtoka. 1. sistemski krvni obtok
2. pljučni krvni obtok.



- baza loputk je pritrjena na vezivni obroč srčnega skeleta
- na proste robove se naraščajo papilarne mišice prekatov s tankimi vezivnimi nitmi - chordae tendineae.
- votlina desnega prekata se navzgor zoži in prehaja v pljučno deblo - truncus pulmonalis
- pljučna zaklopka leži za levim robom prsnice.
- stena desnega prekata je debelejša od stene predvora, vendar tanjša od stene levega prekata.
- levi predvor leži za desnim predvorom in je del srčne baze. Vanj se izlivajo desne in leve pljučne vene.
- levi predvor in levi prekat povezuje predvorno-prekatna (mitralna) zaklopka
- zapiranje mitralne zaklopke poslušamo v višini srčnega vrha
- stena levega prekata je navadno trikrat debelejša od stene desnega prekata in je gosto prepletena z mišičnimi prevezki (trabekulami) ter ima dve papilarni mišici.
- votlina levega prekata se zgoraj zoži in prehaja v aortni predvor - vestibulum aortae, kjer leži aortna zaklopka

ZGRADBA SRČNE STENE



endocardium → notranja plast.
myocardium
epicardium → zunanja serozna plast iz mezotelija in plasti veziva.

SYSTEMA CARDIOVASCULARE

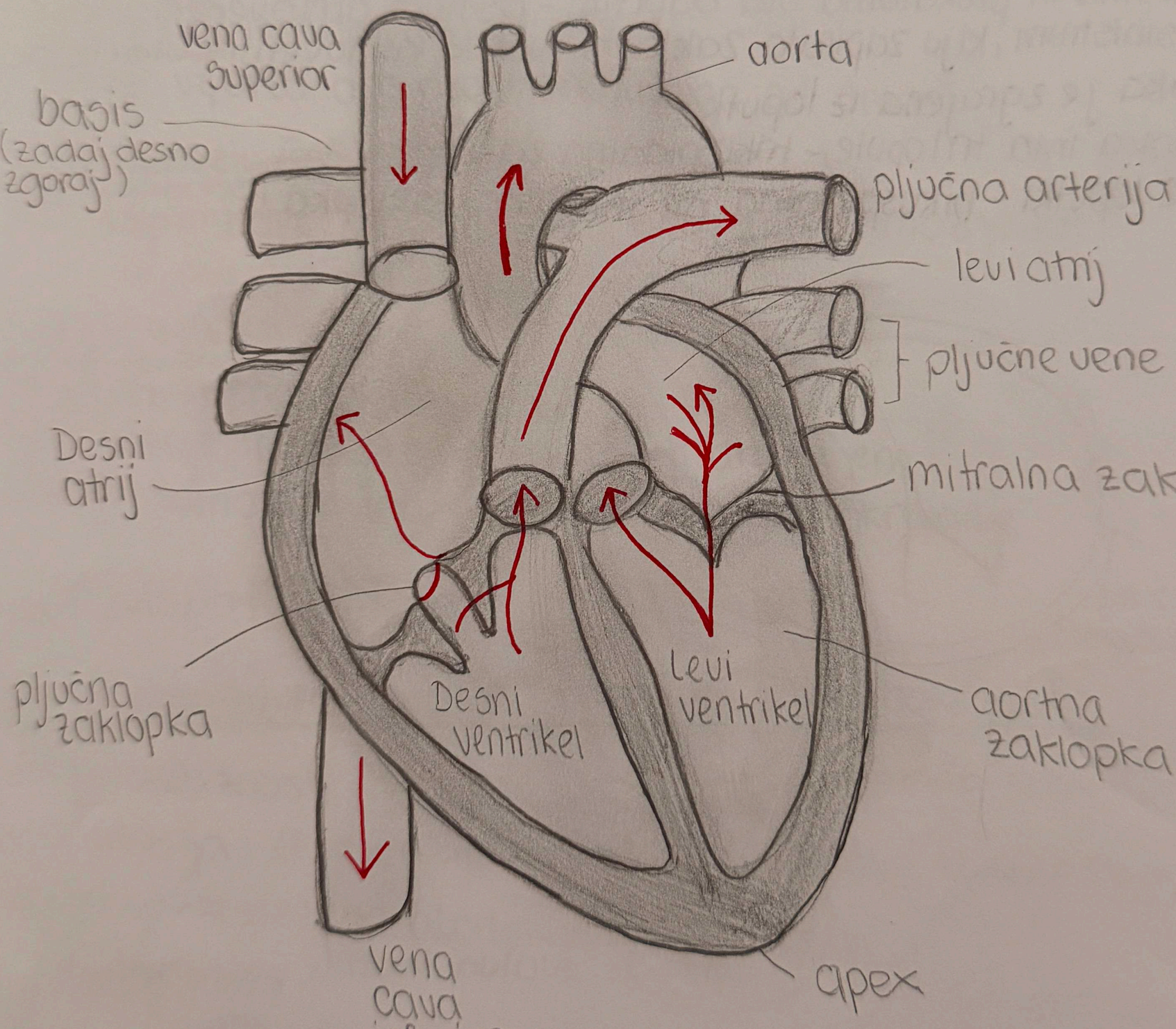
- beseda cardiovasculare je sestavljena iz dveh besed
  - cardio - srce
  - vasculare - krvne žile
- človeški kardiovaskularni sistem je sistem, ki obsega organe ki vključujejo srce, krvne žile in kri

cor — vasa sanguinea — sanguis

- srce črpa kri v krvne žile, te pa cirkulirajo kri po celotnem telesu
- systema cardiovasculare + systema lymphaticum → angiologia

COR

- srce je votli mišični organ, ki črpa kri po krvnih žilah po vsem telesu
- gre za majhno strukturo, približno velikosti stisnjene pesti

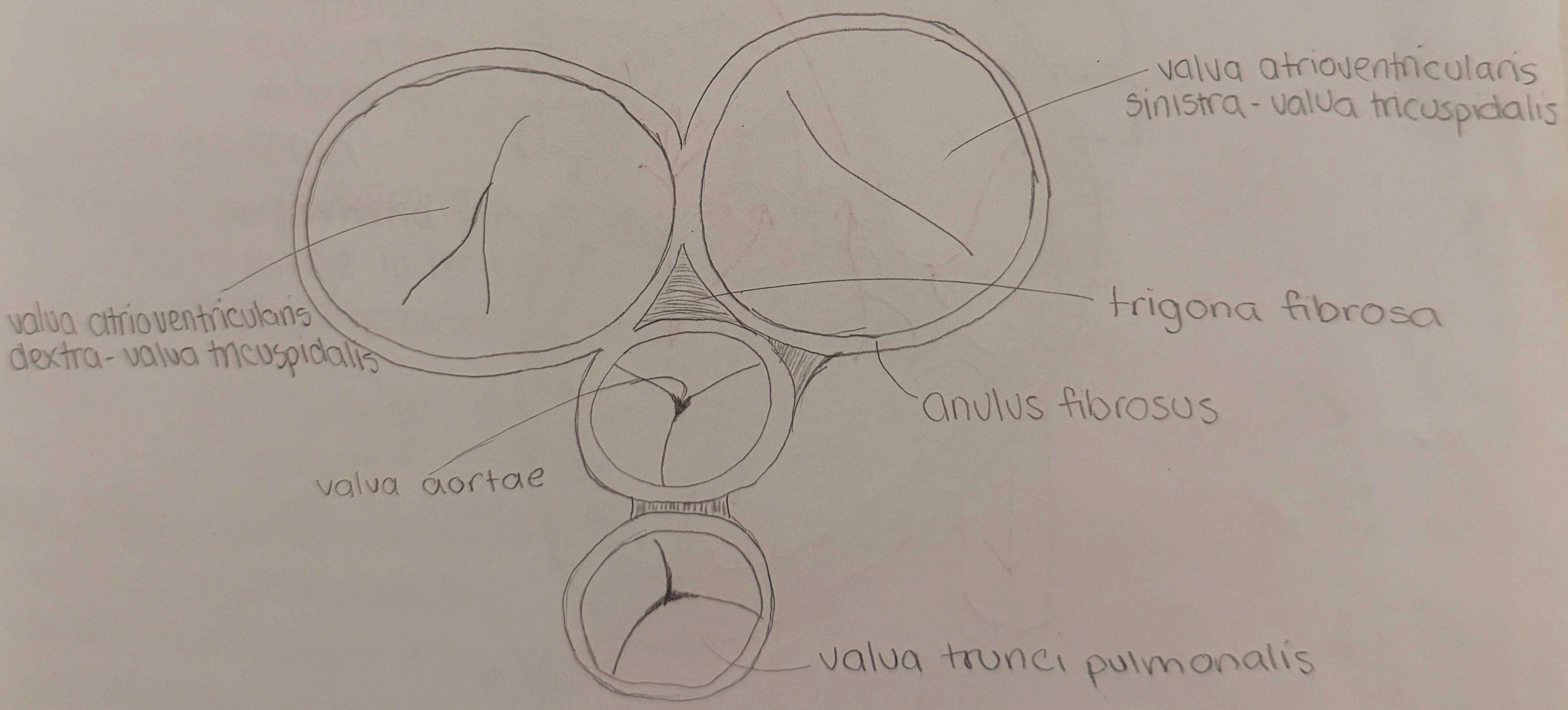


- leži v osrčniku tik za prsnico in zavzema sprednji, spodnji del medpljučja.
- ima 4 votline:
  - desni predvor - arterium dextrum
  - levi predvor - arterium sinistrum
  - desni prekat - ventriculus dexter
  - levi prekat - ventriculus sinister
- predvore in prekate loči na zunanji površini žleb - sulcus coronarius, po njem pa poteka desna in leva koronarna arterija ter sinus coronarius.

- od koronarnega žleba potekata proti srčni konici spredaj in zadaj plitva žlebova, ki nakazujeta lego srčnega pretina med desnim in levim prekatom - septum interventriculare.
- v desni predduor se izlivata zgornja in spodnja votla vena - vena cava superior et. interior.
- v levi predduor se izlivajo štiri pljučne vene
- iz desnega prekata navzgor poteka pljučno deblo - truncus pulmonalis
- iz levega prekata navzgor poteka ascendentna aorta - aorta ascendens
- udarec srčne konice imenujemo ictus cordis.
- srce ima tri ploskve: · prsničnorebrno - sternokostalno
  · preponsko - diafragmalno
  · zadajšnjo - posteriorno

NOTRANJI OPIS SRCA

- med predduoroma in prekatoma sta odprtini - ostium atrioventriculare dextrum et. sinistrum, kiju zapirata zaklopki - valva atrioventricularis dex. et. sin.
- vsaka zaklopka je zgrajena iz loputk.
- desna zaklopka ima trilopute - trikuspidalna zaklopka - leži v srednji ravnini, za spodnjim delom prsnice
- leva ima dve loputki - bikuspidalna ali mitralna zaklopka.



- srčni pretin delimo na dva dela: · septum interatriale (ločuje predvora)
  · septum interventriculare (ločuje prekata)
- žilni zaklopki imata po 3 žepke (semilunare valvule)
- žilni zaklopki ločujeta desni prekat od pulmonalne zaklopke ter levi prekat od aortne zaklopke.
- <u>potrkvi</u>: v desni predduor iz zgornje in spodnje votle vene, iz koronarnega sinusa ter iz ven miokarda. Iz desnega predduora teče kri v desni prekat prek trikuspidalne zaklopke.

BOLEČINA

Kaj je bolečina?

Je neprijetna čutna in čustvena izkušnja, povezana z dejansko ali potencialno okvaro tkiva, ki jo opisujemo z izrazi, ki popisujejo okvaro tkiva.

→ primer: bolečine, ko je prisotna bolečina a tkivo ni okvarjeno: „maček" po alkoholu

→ primer: bolečine, ko je tkivo okvarjeno a bolečina ni prisotna: tumorji, sladkorna bolezen.

Izkušnja bolečine

ima tri razsežnosti:

- senzorno - zaznavno
- čustveno - motivacijsko
- kognitivno - vrednotenjsko

ki se procesirajo vzporedno, a neodvisno. (druga od druge)

Anemija = pomanjkanje krvi

možganska kap = strdek začne zapirati neko žilo v možganih
↳ „okvarjen del možganov"

FIZIOLOŠKA BOLEČINA

je ključna preživetvena strategija, ki:

- olajša učenje in izogibanje nevarnim dražljajem
- spodbuja samozaščitno vedenje, ki omogoči okrevanje

mutacija v genu za receptor → „ne čutimo bolečine sploh!"

Kako deluje sistem za zaznavanje in odzivanje na bolečino?

- visok prag vzdražnosti
- slaba adaptacija - AP se v nosiceptorju prožijo toliko časa kolikor traja dražljaj
- senzitizacija - posledica so alodinija & hiperalgezija.

hiperalgezija - „bou preveč"
alodinija

nociceptija ni isto kot bolečina! → nista sopomenki.

↓ lahko zmerimo pri človeku

↓ je ne moremo meriti

mielin - funkcionira podobno kot izolir trak.
↳ izolira prevodno membrano

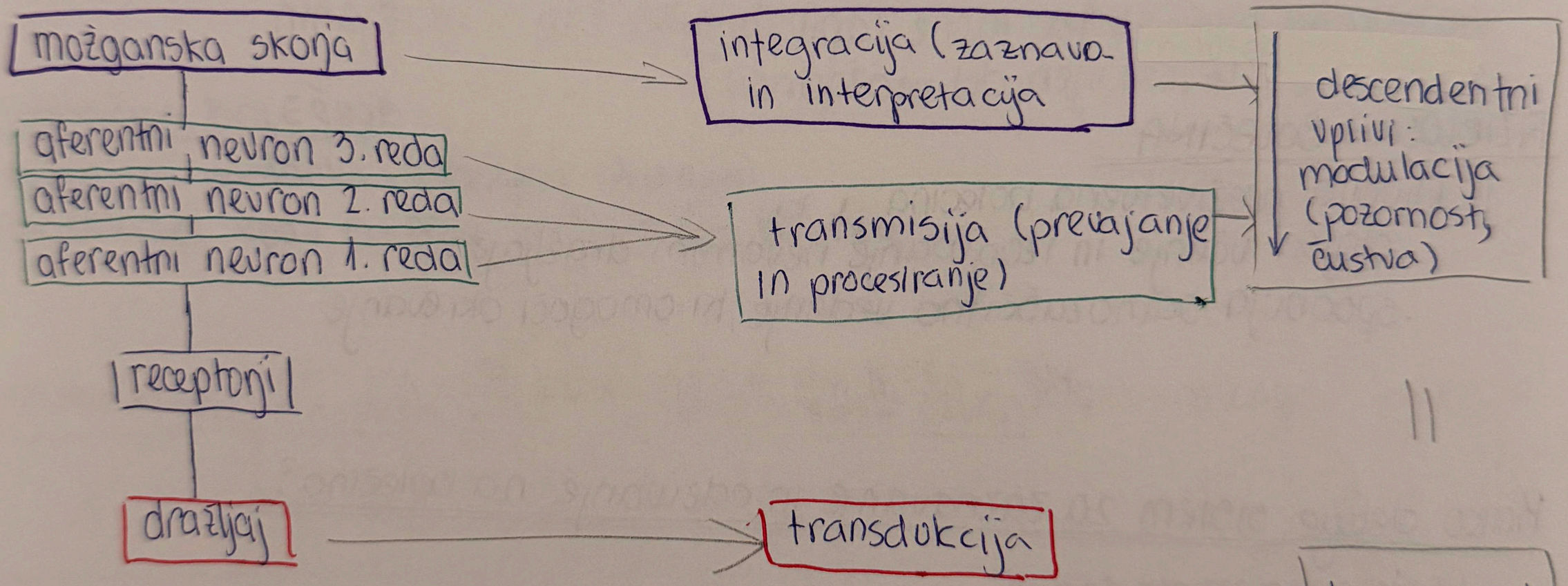
nociceptivni receptorji → Aβ → a bela
bolečinska vlakna → Aδ → a delta

- površje telesa oživčeno z Aδ!
- notranji organi oživčeni z vlakni tipa C!

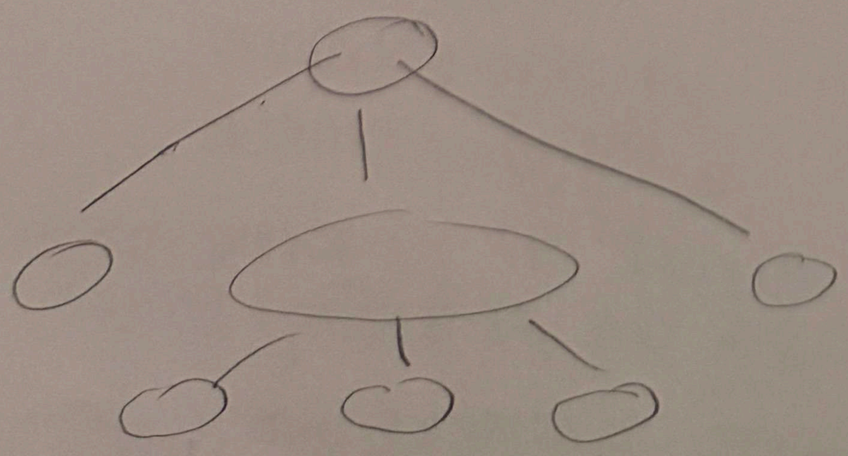
Katere teorije za razlago bolečine poznamo? Katera = najboljša?
- teorija specifičnih modalnosti: (imamo receptorje za bolečinske dražljaje...)
- teorija vzorcev: zaznava bolečine odvisna od časovno prostorsko obdelovanja bolečine
- teorija vrat:

Najboljša teorija =

akupunktura = iglice (tanke) ustavijo v kožo, obremzajo bolečinski dražljaj.
tens → na prizadeto mesto telesa damo elektrode in spustimo šibek električni tok, ki deluje na to mesto.



Konvergenca nociceptivnih poti ima dve pomembni posledici:
- večanje receptivnih polj => potencirajo bolečino
- stekanje visceralnih in somatskih prelivov k istim centralnim nevronom => preneseno bolečino



POVEZAVE

- povezave s somatskimi motoričnimi nevroni: refleks umika
- povezave z eferentnimi potmi avtonomnega živčevja: spremembe tonusa SŽM & PSŽM
- povezave z retikularno formacijo: budnost, usmerjena pozornost
- povezave s periakveduktalno sivino in limbičnim sistemom: čustven odziv

- povezave z možgansko skorjo: lokalizacija, diskriminacija med aražljaji in čustveni odnos do bolečine.

Prepustnost aferentnih poti za bolečinske informacije je modulirana (inhibitorni internevroni v hrbtenjači in njihove povezave z debelimi vlakni aferentnimi vlakni iz kože in descendentnimi vlakni in periakveduktalne in periventrikularne sivine.

Descendentne poti so prijemališča za delovanje endogenih opioidov in večine centralno-delujočih protibolečinskih zdravil (morfij, antidepresivi....)

Vloga okvare modulacije v patološki bolečini.

ISHEMIČNA BOLEČINA

- mehanizmi nastanka: endogeni algogeni
- modulacija: vpliv na prag za toleranco bolečine

preiskovanec	čas do prekinitve s prevezo (min)	čas do prekinitve brez preveze (min)
1	48	36
2	51	32

Zakaj mišica boli med ishemijo? Zakaj boli po njej?

nima O2. ne dobi dovolj kisika; zaradi razgradnje glukoze; dobimo manj ATP-ja.

- anaerobna presnova (↑H+ (laktat, fosfat); ↓ATP, ... ↑adenozin)
- mikrotravme (prestop K+, ATP v ZCP)
- vnetje (histamin, bradikinin, prostaglandini, citokini, rastni dejavniki)

Klinično relevantna ishemična bolečina: angina pectoris

Kaj je patološka bolečina in v čem se razlikuje od fiziološke?

PB je bolezensko stanje, ki:
- presega izvorni vzrok bolečine po obsegu in trajanju
-
-

Kronična bolečina = patološka bolečina

Kronična bolecina se lahko razvije zaradi okvare tkiva in je lahko
- periferna
- centralna

k njenemu nastanku pa prispevajo tudi motnje v modulaciji.

OKVARA TKIVA

Nociceptivno draženje
Spremembe delovanja živčevja:
- periferna senzitizacija
- spremenjeno izražanje genov
- večja gostota Na^+ kanalov
- pojav receptorjev za kateholamine
- spontano (in ektopično) proženje

Spremembe delovanja OŽ:
- centralna senzitizacija
- navijanje / dolgoročna ojačitev sinaps
- nevrogeno vnetje
- odmiranje nevronov
- spremembe povezav in topografskih map

Spremembe strukture živcevja: maladaptivna plastičnost