

UNIVERZITET U BANJOJ LUCI
MEDICINSKI FAKULTET

ANATOMIJA I FIZIOLOGIJA PLUĆA
SEMINARSKI RAD

Mentor:

Doc. dr sc. med. Lora Novaković Lacković

Specijalizant:

dr Jovana Nikolić Blagojević

Banja Luka, jun 2026.

SADRŽAJ

1 UVOD	2
2 ANATOMIJA PLUĆA	3
2.1. Plućni režnjevi i plućni segmenti	4
2.1.1. Projekcije plućnih režnjeva	5
2.2. Lobarni bronh (bronchus lobaris)	5
2.3. Podjela segmentnog bronha (bronchus segmentalis)	6
2.3.1. Histološki sastav vazdušnih puteva	6
2.4. Krvni sudovi pluća	7
2.5. Limfni sudovi pluća	8
2.6. Nervi pluća	9
2.7. Pleura	10
3 FIZIOLOGIJA PLUĆA	10
3.1. Plućna ventilacija	11
3.1.1. Regulacija disanja	11
3.1.2. Plućni volumeni	14
3.1.3. Plućni kapaciteti	15
3.1.4. Minutni volumen disanja	15
3.2. Distribucija	16
3.3. Difuzija	16
3.4. Perfuzija	17
3.5. Uloga pluća u održavanju acido-bazne ravnoteže	18
4 NERESPIRATORNA ULOGA PLUĆA	19
5 ZAKLJUČAK	20
LITERATURA	21

1 UVOD

Pluća predstavljaju osnovni organ disajnog aparata preko kojih se obavlja razmjena gasova. Sastoje se iz dva plućna krila (pulmo dexter et pulmo sinister), sa razlikom u veličini u korist desnog plućnog krila.

Smještena su u bočnom dijelu grudne duplje (spatium pleuropulmonale), te slobodno pokretna unutar šupljine plućne maramice (cavitas pleuralis). Za organe u sredogrudu su vezana preko plućnog korijena (radix pulmonis). Površina pluća je glatka i sjajna, svijetloružičaste boje kod novorođenčadi, dok kod odraslih osoba može da bude sivkasta ili tamnija zbog taloženja ugljene prašine unutar vezivnog tkiva.¹

Pluća su podijeljena incizurama (fissurae interlobares pulmonum) na režnjeve (lobi pulmonum), desno tri režnja: gornji, srednji i donji, i lijevo dva režnja: gornji i donji.²

Dimenzije pluća zavise od faze respiracije u kojoj se mjere. Visina plućnog krila je oko 25cm, dok je poprečni prečnik oko 10-13cm desno, a oko 7-9cm lijevo, mjereno na bazi. Zbog položaja dijafragme desno, desno plućno krilo ima nešto manju visinu, dok je baza lijevog plućnog krila manje površine prvenstveno zbog položaja srca.

Težina pluća je dosta varijabilna i zavisi od količine krvi koja se u tom trenutku nalazi u plućima, tako da najčešće iznosi 1100-1500g (desno plućno krilo je teže od lijevog za oko 100-170g). Specifična težina pluća koja može da ima sudskomedicinski značaj jeste specifična težina pluća novorođenčadi, koja iznosi 0,50 po rođenju i 1,068 za pluća koje nije disalo. Konzistencija pluća je mekanoelastična, dok se pri pritisku može čuti pucketanje.¹

Funkcija pluća se može podijeliti na respiratornu, a to je ujedno i osnovna uloga u vidu oksigenacije venske krvi i izbacivanje viška ugljen-dioksida koji se stvara metaboličkim procesima, i tzv. nerespiratornu ulogu, koja se ogleda u vidu kašlja, filtracije određenih supstanci, kao i sintezu supstanci koje se mogu oslobađati u krvotok. Takođe, pluća učestvuju u regulaciji acido-baznog statusa.²

¹ Bogdanović D. Anatomija grudnog koša (Thorax). 11.izd. Beograd: Savremena administracija; 2005.

² Jovanović T, Milovanović APS. Respiratorni sistem: fiziologija i funkcionalna procena. Beograd: Naučna knjiga; 2001.

2 ANATOMIJA PLUĆA

Plućno krilo ima 2 strane: spoljašnju ili rebarnu stranu (*facies costalis*) i unutrašnju stranu (*facies mediastinalis*). Idući na gore te dvije strane se spajaju gradeći plućni vrh (*apex pulmonis*). Od plućnog vrha naprijed se spušta prednja ivica (*margo anterior*), dok je zadnja ivica zaobljena i nije uobličena. Pluća imaju i donju ivicu (*margo inferior*) koja ograničava bazu pluća (*basis pulmonis*). Spoljašnja strana (*facies costalis*) je površinom najveća, pozadi dodiruje kičmeni stub i taj dio se naziva *pars vertebralis*. Od vrha ka bazi su ispupčena, preko nje silazi kosa pukotina pluća (*fissura obliqua*) obostrano, i dijele plućno krilo na režnjeve. Prednji i gornji dio pripadaju gornjem režnju, dok zadnji i donji dio pripadaju donjem plućnom režnju. Desno plućno krilo se anatomske razlikuje od lijevog. Naime, od sredine kose pukotine na desnom plućnom krilu polazi horizontalna pukotina (*fissura horizontalis*). Taj prednje-donji dio spoljašnje strane desnog plućnog krila pripada srednjem režnju.

Unutrašnja strana (*facies mediastinalis*) je izdubljena zbog otisaka susjednih organa, u prvom redu srca i velikih krvnih sudova. Otprilike na sredini unutrašnje strane pluća nalazi se plućni hilus (*hilum s. hilus pulmonis*) koji predstavlja ulazno polje pluća. Dio ispred hilusa čini veći dio površine i pripada sredogruđu (*mediastinum*), dok je manji dio pluća iza hilusa i na njemu može da se vidi otisak kičmenog stuba. Ispred i ispod hilusa sa unutrašnje strane obostrano, ali više lijevo se nalazi otisak srca (*impressio cardiaca*). Na desnoj unutrašnjoj strani iza hilusa nalazi se žlijeb jednjaka i vene azigos (*sulcus venae azygos*), dok se na lijevom plućnom krilu nalazi žlijeb koji pripada grudnoj aorti. Žljebovi velikih krvnih sudova se nalaze obostrano, na desnom plućnom krilu naprijed je žlijeb gornje šuplje vene, dok je pozadi žlijeb brahiocefalične vene. Na lijevom plućnom krilu iznad hilusa je žlijeb zajedničke karotidne arterije i žlijeb potključne arterije.

Plućni hilusi (*hilum pulmonis s. hilus pulmonis*) ima oblik trougla zaobljenih uglova i vrhom okrenutim dole, širine je oko 3-4cm, visine oko 5,5-6,5cm. Od njega se spušta plućna veza (*lig. pulmonale*). Anatomske, na desnom i lijevom plućnom krilu postoji razlika u prolasku pojedinih struktura kroz hilus. U desnom plućnom krilu pozadi se nalazi bronh (*bronchi lobares*), plućna arterija je ispred i dole, dok su plućne vene ispod bronha. Lijevo, plućna arterija je naprijed i gore dok su plućne vene naprijed i dole. Strukture koje se još nalaze u području hilusa su nutritivni krvni sudovi, odnosno bronhijalne grane grudne aorte (*rr. bronchiales s. aa. bronchiales*), nervni splet (*plexus pulmonalis*), kao i limfni čvorovi, uglavnom iz gornje traheobronhijalne grupe. Prelaskom pleure sa pluća na medijastinum stvaraju se nabori plućne maramice, te se ta prednja i zadnja duplikatura nabora spajaju ispod hilusa i nastavljaju kao trougla plućna veza (*lig. pulmonale*) do baze pluća, a između donjeg plućnog režnja i srčane kese. Trougla plućna veza sadrži i nekoliko limfnih čvorova (*nodi lymphatici juxtaesophageales pulmonales*).

Plućni vrh (*apex pulmonis*) prolazi kroz gornji otvor grudnog koša (*apertura thoracis superior*). S obzirom da su prvo rebro i sam otvor grudnog koša nagnuti koso, naprijed i dole, najviša tačka plućnog vrha se nalazi pozadi u predjelu vrata I rebra, bočno 3-5cm iznad njega, a naprijed takođe iznad 3,5-5cm kao i iznad ravni ključne kosti 1-3cm. U toj regiji plućni vrh se nalazi u bliskom kontaktu sa okolnim važnim strukturama vrata kao što su *a. carotis communis*, *v. jugularis int.* i *a. subclavia*, kao i *plexus brachialis*.

Baza pluća (*basis pulmonis*) odgovara svodu dijafragme. Baza desnog plućnog krila je prostranija i jače izdubljena u odnosu na lijevo plućno krilo. Zadnji i veći dio čini donji režanj, dok mali prednji dio pripada srednjem režnju. Lijevo, baza pluća je plicha, manje je površine i čini je donji plućni režanj, rijetko i dio lingularnog segmenta gornjeg režnja.¹

2.1. Plućni režnjevi i plućni segmenti

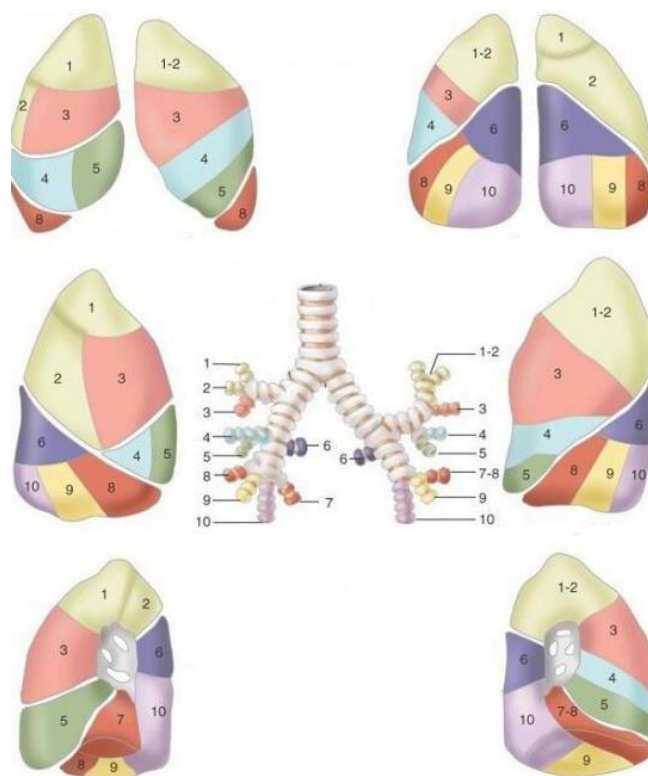
Plućna krila su podijeljena pukotinama na režnjeve (lobi pulmonum), kojih desno ima tri, a lijevo dva režnja.

Oblika su kupe, dok su njihove strane dijelovi strana plućnog krila. Osim njih svaki režanj ima i barem jednu međurežanjsku stranu (facies interlobaris). Vazdušni putevi pluća kao i krvni sudovi se granaju prateći njenu podjelu. Vazdušni putevi počevši od dušnika pa na dalje dijele se bifurkacijom, trifurkacije i podjele na četiri grane su izuzetno rijetke. Glavni bronh (bronchus principalis) ima svoj vanplućni dio koji je u sastavu plućnog korijena i kraći hilusni dio koji se dijeli na režanjski bronh (bronchi lobaris), koji se zatim završava podjelom na segmentni bronh (bronchi segmentales). Segment predstavlja bronhoarterijsku jedinicu pluća koja je anatomske i funkcionalno manja od plućnog režnja.¹ Ima oblik nepravilne piramide sa vrhom okrenutim ka hilusu režnja.³ Segmentni bronhi i plućni segmenti nose nazive prema pravcu pružanja, odnosno položaju, obilježeni su brojevima od plućnog vrha ka bazi pluća.

DESNO PLUĆNO KRILO	LIJEVO PLUĆNO KRILO
<u>Gornji lobus:</u> S I – Segmentum apicale S II - Segmentum posterius S III - Segmentum anterieus <u>Srednji lobus:</u> S IV - Segmentum laterale S V - Segmentum mediale <u>Donji lobus:</u> S VI - Segmentum superius S VII- Segmentum basale mediale S VIII - Segmetnum balase anterieus S IX - Segmentum basale laterale S X - Segmentum basale posterius	<u>Gornji lobus:</u> S I+II – Segmentum apicoposterius S III – Segmentum anterieus S IV – Segmentum lingulare superius S V – Segmentum lingulare inferius <u>Donji lobus:</u> S VI – Segmentum superius S VII – Segmentum basale mediale S VIII – Segmentum basale anterieus S IX – Segmentum basale laterale S X- Segmentum basale posterius

Tabela 1. Plućni režnjevi

³ Stanetić M, urednik. Pulmološki priručnik. 1. izd. Banja Luka: Medicinski fakultet; 2002.



Slika 1. Podjela plućnih režnjeva i bronha

2.1.1. Projekcije plućnih režnjeva

Gornji plućni režanj se obostrano projektuje najvećim dijelom na prednjem zidu grudnog koša, lijevi cijelom dužinom od vrha do VI ili VII rebra, dok se desni projektuje do nivoa IV rebra, a na bočnom zidu grudnog koša se projektuje počevši od pazušnog vrha do nivoa VII rebra lijevo, a desno do IV rebra. Na zadnjem zidu grudnog koša gornji režanj se projektuje do ravni rtnog nastavka III torakalnog pršljena.

Srednji režanj se projektuje u trouglu koji grade gore IV rebro, naprijed spoljna ivica sternuma od spoja IV desne rebarne hrskavice do spoja VI desne rebarne hrskavice i dole kosa linija koja spaja presjek IV rebra i pazušne linije sa sternalnim krajem VI rebarne hrskavice na desnoj strani.

Donji režanj se obostrano projektuje pretežno na zadnjem zidu grudnog koša počevši od gornje ivice IV rebra do nivoa XI rebra. Bočno, njegova projekcija je ispod IV ili V rebra.¹

2.2. Lobarni bronh (bronchus lobaris)

Dušnik (trachea) se dijeli na dvije grane (bronchus principalis dexter et sinister), te je podjela označena kao prva generacija grananja, dok traheja predstavlja nultu generaciju.²

Podjelom glavnih bronha u plućnom hilusu ili neposredno pred njim nastaju lobarni bronhi (bronchi lobares), na desnoj strani tri, na lijevoj strani dva. Dužine su oko 0,5-1,5cm, prečnika oko 3-6mm, veličinom su obično donji veći od gornjih, dok je srednji najmanji.¹

Dalja podjela lobarnih bronha je na segmentne bronhe (bronchi segmentales), i oni predstavljaju treću generaciju račvanja.

Desno, od glavnog bronha se odvaja najprije bronh za desni gornji režanj (bronchus lobaris superior dexter), upravljen je nagore, upolje i nazad. Ostali dio nastavlja pravac glavnog bronha, te njegovom podjelom nastaje bronh za srednji režanj usmjeren naprijed i upolje (bronchus lobaris medius) i bronh za donji desni režanj (bronchus lobaris inferior dex.) čiji je pravac pružanja pozadi i nadole.

Lijevo, grane glavnog bronha se dijele na bronh gornjeg lijevog reznja (bronchus lobaris superior sinister) upravljen lučno, pozadi i upolje i bronh donjeg lijevog reznja (bronchus lobaris inferior sin.) koja je postavljena pozadi i nadole i nastavlja pravac glavnog bronha.¹

2.3. Podjela segmentnog bronha (bronchus segmentalis)

Podjele bronhijalnog stabla (arbor bronchialis) čine 2/3 do 3/4 prostora pluća od hilusa ka površini pluća. Segmentni bronh (bronchus segmentalis) se po prolazu kroz segmentni hilus dijeli dihotomno još 20-25 puta.¹

Podjelom segmentnog bronha nastaju bronhiole, koje se završavaju sa terminalnim bronhiolama (14. generacija grananja), i one predstavljaju poslednju generaciju čisto provodnog sistema.⁴

Terminalna bronhiola ulazi u sekundarni plućni reznjić – koji predstavlja anatomske i funkcionalno manji dio od bronhopulmonalnog segmenta. Obavijen je vezivnim tkivom, oblika je piramide kroz čiji vrh prolazi završna bronhiola (prečnika oko 0,3-0,5mm). Terminalna bronhiola se dalje dihotomno dijeli nekoliko puta, te daje u distalnom dijelu sekundarnog reznjića oko pedeset respiratornih bronhiola (bronchioli respiratorii). Respiratorna bronhiola potom ulazi u primarni plućni reznjić (lobulus pulmonis primarius), te se završava sa 2-10 alveolarnih kanalića (ductus alveolares). Alveolarne kanaliće gradi oko 5-6 alveolarnih vrećica (sacculi alveolares) koje obrazuju plućni mjehurići (alveoli pulmonis), te tako nastaje alveolarno stablo ili plućni acinus (acinus pulmonalis).¹

Acinusi predstavljaju najmanje funkcionalne jedinice pluća. U svakom plućnom krilu pojedinačno se nalazi oko 300-400 miliona alveolarnih jedinica plućnog tkiva.²

2.3.1. Histološki sastav vazdušnih puteva

U zidu segmentnih bronha postoji vezivni omotač, glatka mišićna vlakna rasute hrskavice, vezivna i elastična vlakna, te mukozni respiratorni epitel sa brojnim žlijezdama.

Unutar malih vazdušnih puteva ispod 1mm nema hrskavice, dok su mišićna vlakna kosa, odnosno eliptična pa i pri najvećoj kontrakciji ne dolazi do njihovog potpunog

⁴ Grippi MA, Antin-Ozerkis DE, Dela Cruz CS, Kotloff RM, Kotton CN, Pack AI, editors. Fishman's Pulmonary Diseases and Disorders. 6th ed. New York: McGraw Hill; 2022.

zatvaranja, a u submukozi nema žlijezda. Plućne alveole imaju tanak zid epitela, odnosno takozvanu respiratornu barijeru preko koje se vrši razmjena gasova.¹

Zidove alveola čine alveolarni pneumociti, epitelne ćelije na bazalnoj strani membrane. Alveolarna strana je obložena surfaktantom kojeg izlučuju pneumociti tip 2. Čini ga lipoproteinska materija koja ima cilj da smanji površinski napon tečnosti te olakša inspirijum, dok na kraju ekspirijuma sprečava kolaps alveola. Takođe, sprečava i prodiranje tečnosti u alveole.⁴

Osnovna funkcija pluća, a to je razmjena gasova između alveolarnog vazduha i kapilarne krvi, dešava se na nivou alveo-kapilarne membrane. Alveo-kapilarna membrana se sastoji iz jednoslojnog alveolarnog epitela na bazalnoj membrani, nešto intersticijuma, kapilarne bazalne membrane i endotela kapilara.²

2.4. Krvni sudovi pluća

Krvni sudovi pluća su dvojaki, funkcionalni krvni sudovi pluća su velike grane malog krvotoka, dok su nutritivni krvni sudovi pluća male grane velikog krvotoka.¹

Venska krv iz desne srčane komore prolaskom kroz plućno arterijsko stablo, potom desnu i lijevu plućnu arteriju, njihove grane i kapilare, te potom vraća oksigenisanu kroz plućne vene u lijevu srčanu pretkomoru.⁵

Plućna arterija, desna i lijeva se dijele u plućnom hilusu ili po prolasku kroz njega. Plućne arterije kao i njihove grane su terminalni arterijski sudovi, te daju grane za sve plućne režnjeve. Plućno arterijsko stablo predstavlja kratak i širok krvni sud. Njegova dužina je oko 4-5cm, a širina oko 3cm. Plućna arterija ide nagore i unazad, ka prednjoj strani bifurkacije dušnika. Ukršta lijevu stranu ascendentne aorte te se lako uvija oko nje i podvlači pod luk aorte. Bifurkacija plućnog arterijskog stabla nije obavijena srčanom maramicom, nalazi se ispod luka aorte i ispred bifurkacije dušnika.¹

Zidovi plućne arterije su oko dva puta deblji od vene kave, a čine tek jednu trećinu debljine zida aorte. Ta karakteristika popustljivosti zidova omogućava veliku rastegljivost i prilagođavanje prilivu krvi za oko 2/3 minutnog volumena, iz desne komore.⁵

Desna plućna arterija (a. pulmonalis dextra) je dužine oko 5-6cm, širine oko 2-2,5cm. Upravljen je ispod luka aorte, a iznad lijeve srčane pretkomore gotovo horizontalno. Nalazi se ispred desnog glavnog bronha, a iza ascendentne aorte i gornje šuplje vene. Prije ulaska u plućni hilus dijeli se na dvije grane: gornju koja je uža i upravljena je ka desnom gornjem režnju, i donja koja je šira te se dijeli u hilusu na grane za srednji i donji režanj. Završne grane plućne arterije su režanjske grane (rr.lobares). Lijeva plućna arterija (a. pulmonalis sinistra) je kraća i uža u odnosu na desnu. Početak joj je ispod luka aorte, i u sastavu plućnog korijena je postavljena ispred i iznad lijevog glavnog bronha. Kratkim ligamentom (lig. arteriosum Botallo) je povezana sa donjom stranom aortnog luka. Neposredno ispred hilusa dijeli se na dvije grane, gornju i donju režanjsku granu (rr. lobares).

⁵ Guyton AC, Hall JE. Medicinska fiziologija. 10. izd. Beograd: Savremena administracija; 2003.

Plućne vene (vv. pulmonales) nastaju spajanjem venskih sudova plućnih segmenata. Ima ih četiri. Nutritivni krvni sudovi pluća su bronhijalne grane grudne aorte (rr. bronchiales aortae thoracicae) i bronhijalne vene (vv. bronchiales). U 97% slučajeva se radi o direktnim granama grudne aorte. Rjeđe nastaju iz karotidne arterije, potključne arterije ili unutrašnje grudne arterije.¹

Krv iz bronhijalnih arterija je oksigenisana, za razliku krvi iz plućnih arterija koja je djelimično deoksigenisana. Uloga nutritivnih krvnih sudova je da snabdiju krvlju potporna plućna tkiva (vezivno tkivo, pregrade, bronhe). Nakon prolaska kroz potporna tkiva, krv se vraća venskim krvotokom (plućnim venama) u lijevu pretkomoru. Iz tog razloga je priliv krvi u lijevu pretkomoru, kao i minutni volumen lijeve komore veći za 1-2% u odnosu na desnu komoru.⁵

Nutritivni i funkcionalni krvni sudovi pluća su povezani bronhopulmonalnim prekapilarnim anastomozama. Bronhijalne vene (vv. bronchiales) odvođe krv iz posljednje generacije segmentnih i većih bronha, kao i susjednih limfatika. Krv iz bronhiola i režnjića odlazi plućnim venama. Bronhijalne vene desno završavaju u luku vene azigos, dok na lijevoj strani završavaju u pomoćnoj veni azigos (v. hemiazygos accessoria).¹

2.5. Limfni sudovi pluća

Limfne sudove pluća dijelimo na površne i duboke, međusobno su povezani te konvergiraju ka hilusu. Površni limfni sudovi prate površinu pluća te se završavaju u limfnim čvorovima plućnog hilusa. U njima se zadržavaju čestice prašine i uglja te su zbog toga karakteristične boje i daju karakterističan crtež na površini pluća. Duboki limfni sudovi prate vazdušne puteve i krvne sudove pluća do hilusa. Tu se završavaju u bronhopulmonalnim i/ili medijastinalnim limfnim čvorovima.¹

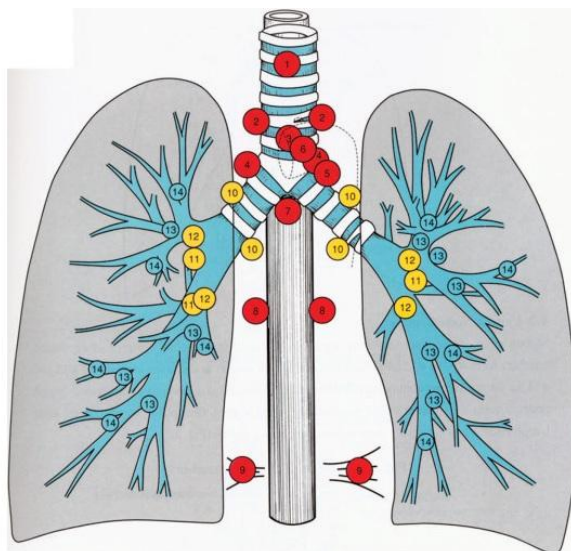
Najveći dio limfe se uliva u ductus lymphaticus dexter, dok se limfa iz lijevog gornjeg reznja uliva u ductus thoracicus.⁶

Prema Međunarodnom udruženju za proučavanje karcinoma pluća (IASLC) razlikujemo sljedećih 14 regija limfatika grupišući ih u 7 zona, koje se hirurški i radiološki dijele na 3 nivoa:

1. Supraklavikularna zona – ovi limfni čvorovi se nalaze na prelazu između vrata i grudnog koša, tu spadaju donji vratni, supraklavikularni, i limfni čvorovi sternalne jame - 1.
2. Gornja zona (gornji medijastinalni limfni čvorovi) – smješteni su iznad luka aorte, u gornjem dijelu središnjeg dijela grudnog koša. Tu spadaju gornji paratrahealni čvorovi (2R i 2L – desni i lijevi). Smješteni su visoko uz dušnik. 3A su prevaskularni, dok su 3P retrotrahealni limfni čvorovi. Donji paratrahealni čvorovi su označeni kao 4R i 4L, nalaze se uz dušnik, tik iznad njegovog račvanja.
3. AP zona – ova zona se nalazi oko velikih krvnih sudova, sa lijeve strane grudnog koša. U nju spadaju subaortni čvorovi - 5 (AP prozor – prostor između aorte i plućne arterije) i paraaortni čvorovi – 6 (smješteni su ispred i sa strane ascendentne aorte i luka aorte).

⁶ Popovac D. Bolesti pluća. 5. izd. Beograd: Data Status; 1999.

4. Subkarinalna zona – ispod račve dušnika -7.
5. Donja zona – paraezofagealni - 8 dio ispod karine, i u plućnom ligamentu - 9.
6. Hilarna/interlobarna zona – hilarni limfatici – 10, se nalaze u samom korijenu pluća tj. plućnom hilusu, u području gdje glavni bronh i veliki krvni sudovi ulaze u pluća. Interlobarni limfatici - 11 su smješteni dublje u plućima, u području gdje se glavni bronh dijeli na grane za pojedinačne režnjeve pluća.
7. Periferna zona se nalazi najdublje u plućima i limfni čvorovi prate manje disajne puteve (lobarne - 12, segmentne - 13 i subsegmentne nivoe - 14).⁷



Slika 3. Limfni sistem toraksa

2.6. Nervi pluća

Pluća oživčava plućni nervni splet (plexus pulmonalis), čine ga grane n. vagusa i grane grudnog simpatičkog stabla (truncus sympathicus pars thoracica) koje se spajaju u plućnom korijenu.

Grane vagusa čine eferentna konstriktorna parasimpatička vlakna za bronhijalnu muskulaturu, kao i sekretorna vlakna za žlijezde bronhalne sluznice. Takođe, aferentna nervna vlakna vagusa su vezana za refleks kašlja i prenos bola.¹ Ona prenose impulse iz receptora za istezanje koja se nalaze u glatkim mišićima disajnih puteva (Hering-Breuer-ov refleks), iritantnih receptora u velikim disajnim putevima. Njihovi nadražaji prouzrokuju kašalj ili bronhokostrikciju. „J“ receptori, odnosno jukstakapilarni receptori se nalaze u alveolarnom zidu, te se impulsi takođe prenose vagusnim granama do centra za disanje, aktivirajući se i izazivajući tahipneju i dispneju. Obično se aktiviraju kod povećanja

⁷ Asamura H, Rusch VW, Crowley J, et al. The International Association for the Study of Lung Cancer staging Project: A Proposal for a New International Lymph Node Map in the Forthcoming Seventh Edition of TNM Classification for Lung Cancer. J Thorac Oncol. 2009; 4(5):568-577

volumena ili pritiska u plućnom intersticijumu (kod edema pluća, srčane insuficijencije, PTE i sl.).⁶

Grane simpatikusa sadrže inhibitorna vlakna za žlijezde u bronhijalnoj sluznici kao i za bronhijalnu muskulaturu.¹ Receptori za bol su smješteni u traheji i parijetalnoj pleuri.⁶

2.7. Pleura

Pleura je dvolisna serozna opna koja obavija plućna krila, tanka je, bjeličasta, prozračna, glatke i vlažne površine. Parna je i nalazi se u bočnom dijelu grudne duplje (spatium pleuropulmonale). Sastavljena je od dva lista, spoljašnjeg (pleura parietalis) koja oblaže zidove bočnog dijela toraksa, i unutrašnjeg (pleura visceralis) koja naliže na plućno tkivo. Listovi pleure u predjelu hilusa prave nabor, pokrivaju plućni korijen te prelaze jedan u drugi. Prostor koji nastaje između dva lista pleure je kapilarna pukotina nazvana pleuralna duplja (cavitas pleuralis). Pleuralna duplja je bezvazdušni prostor u kojem je pritisak manji od atmosferskog (-0,5kPa ili 4mmHg). Listovi pleure klize jedan preko drugog, na taj način je trenje prilikom disajnih pokreta minimalno.² Takođe, u pleuralnom prostoru se fiziološki nalazi oko 20ml tečnosti koja ima ulogu da smanji trenje prilikom pokreta grudnog koša.⁶

3 FIZIOLOGIJA PLUĆA

Osnovna uloga pluća je razmjena gasova, odnosno obezbjeđivanje dovoljne oksigenacije krvi te eliminacije ugljen-dioksida koji nastaje u metaboličkim procesima.²

Takođe, pluća imaju i metaboličku funkciju, unutar njih se stvara surfaktant koji je neophodan za smanjenje površinske napetosti alveola i sprečavanje njihovog kolapsa. Pored surfaktanta, u plućima se još vrši sinteza leukotriena, prostaglandina, histamina, te konverzija angiotenzin-konvertaze I u angiotenzin-konvertazu II.⁵

Plućna funkcija se može raščlaniti na nekoliko faza koje su neodvojive i usko povezane:

1. Plućna ventilacija,
2. Distribucija,
3. Difuzija,
4. Perfuzija.

3.1. Plućna ventilacija

Plućna ventilacija podrazumijeva strujanje vazduha između atmosfere i plućnih alveola u oba pravca²

Za adekvatnu plućnu ventilaciju neophodno je da bude zadovoljena funkcija sljedećih faktora:

1. Normalna funkcija centra za disanje,
2. Adekvatan i neometan prenos impulsa od centra za disanje ka plućima i u suprotnom pravcu,
3. Adekvatna pokretljivost zidova grudnog koša,
4. Adekvatna funkcija respiratornih mišića, u prvom redu dijafragme,
5. Dovoljna elastičnost i rastegljivost pluća,
6. Normalna prohodnost disajnih puteva.³

3.1.1. Regulacija disanja

Centri za disanje su smješteni produženoj moždini i ponsu, i tu pripadaju dorzalna i ventralna grupa neurona, pneumotaksički centar i apneustički centar. Njima je pridodato i područje centralnih hemoreceptora, odnosno hemosenzitivno područje koje predstavlja osnovu hemijske kontrole disanja. Ovo područje je smješteno u produženoj moždini, bilateralno.⁸

⁸ Stevanović P, Krivokapić B, Bašić M, Laušević Vuk Lj, Ranković V, Kolak R, et al. Mehanička ventilacija pluća. Beograd: Društvo anesteziologa Srbije; 2004.

S obzirom da je hematoencefalna barijera gotovo u potpunosti nepropustljiva za jone vodonika, a propustljiva za jone ugljen dioksida, on prolazi barijeru, te sa vodom gradi ugljenu kiselinu.

Ugljena kiselina se brzo razlaže na jone vodonika i bikarbonata, te na taj način vodonik djeluje snažno na hemosenzitivno područje i vrši stimulaciju respiratornog centra.⁹

Osim centra za disanje, CO₂ ima nadražujući efekat i na CNS, tako da su pacijenti često razdražljivi i uznemireni, tahikardni, povišenih vrijednosti krvnog pritiska, preznojeni. Veoma visoko povećanje ugljen dioksida može da dovede do depresije centra za disanje i prestanka disanja.³

Drugi, pomoćni sistem kontrole disanja je periferni hemoreceptorski sistem. Najveći od njih se nalazi u karotidnim tijelima, dok se manji dio nalazi u luku aorte. Iako mogu da detektuju i promjene u koncentraciji pCO₂ i vodonikovih jona, više su osjetljivi na promjene koncentracije kiseonika, pO₂. (8) Aferentna vlakna idu preko n. glossopharingeusa i n. vagusa (za receptore iz luka aorte) i dolaze u dorzalnu grupu neurona, te aktiviraju respiratorni centar.⁹

Osim toga, promjene pritiska, temperature, te promjena brzine strujanja vazduha u velikim disajnim putevima i impulsi iz mehanoreceptora mogu takođe uticati indirektno na centar za disanje. Pluća se mogu širiti i skupljati na dva načina:

1.) radom dijafragme, odnosno spuštanjem i podizanjem što dovodi do produženja ili skraćanja grudne duplje i

2.) podizanjem i spuštanjem rebara, što utiče na AP promjer grudne duplje.

U mirnom disanju gotovo u potpunosti disanje se obavlja pokretima dijafragme. U inspirijumu dijafragma se kontrahuje i povlači pluća naniže, dok u ekspirijumu se dijafragma relaksira te elastična retraktilnost pluća, grudnog koša i abdominalnih struktura komprimuje pluća. Pri pojačanom disanju sile elastičnosti nisu dovoljne da bi izazvale brzu ekspiraciju, tako da se dodatna sila uglavnom stvara kontrakcijom trbušnih mišića.

Širenje pluća podizanjem i spuštanjem rebara se obavlja preko inspiratornih mišića i ekspiratornih mišića. Najvažniji inspiratorni mišići koji podižu grudni koš su: 1.) mm sternocleidomastoidei koji podižu sternum, 2.) mm. serrati anteriores koji podižu veći broj rebara, potom 3.) mm. scaleni koji podižu prva dva rebara.

Mišići koji imaju svoju ulogu u ekspirijumu, odnosno koji vuku grudni koš nadole su: 1.) mm. recti abdominis, koji djeluju tako što povlače donja rebra nadole i istovremeno potiskuju trbušni sadržaj naviše ka dijafragmi zajedno sa drugim abdominalnim mišićima, i 2.) mm. intercostales interni.⁵

U pleuralnom prostoru na kraju mirnog ekspirijuma vlada pritisak nešto niži od atmosferskog, i nastaje kao rezultat retrakcionih sila plućnog parenhima koje imaju za cilj da smanje zapreminu pluća, i sila koštanih struktura grudnog koša koje djeluju suprotno, nastojeći da prošire grudni koš. Na kraju mirnog ekspirijuma, one su u ravnoteži, te je pleuralni pritisak lako negativan, dok je alveolarni pritisak jednak atmosferskom pritisku.

⁹ Kovačević P. Mehanizmi održavanja acido-bazne ravnoteže kod kritično oboljelog. Banja Luka: Medicinski fakultet; 2020.

Faktori koji se suprotstavljaju strujanju vazduha između okoline i unutrašnjosti pluća čine plućni otpor. Glavni otpori u plućima su:

- Raw (airway resistance) – otpor disajnih puteva,
- Rcw (chest wall resistance) – otpor grudnog koša,
- Rti (tissue resistance) – otpor plućnog tkiva.

Otpor strujanju vazduha direktno zavisi od prečnika lumena disajnog puta i brzine kretanja vazduha. Traheja i glavni bronhi su mjesta gdje se stvara najveći dio otpora. Čak i male promjene u njihovom lumenu mogu dovesti do povećanja endobronhalnog otpora, dok kod velikih poremećaja u funkciji malih disajnih puteva dolazi takođe do povećanja otpora. Takođe, ako je veća brzina strujanja, minimalne promjene prečnika mogu da izazovu velike promjene u otporu.

Otpor zavisi od onih faktora koji utiču na lumen disajnih puteva, a to su:

- Tonus glatke muskulature bronha (koji je pod kontrolom autonomnog nervnog sistema – parasimpatikus povećava tonus glatke muskulature i tako sužava lumen bronha);
- Intraluminalni sekret (hiperkrinija, odnosno povećano lučenje sluzi i diskriminacija, odnosno promijenjen kvalitet sluzi utiču takođe na prohodnost u disajnim putevima). Bronhalna sluznica je normalno prekrivena sa sluzi debljine 5 mikrona, dok kod oboljelih ta debljina može da dosegne i do 500 mikrona.
- Debljina bronhalne sluznice usljed edema može takođe uticati na lumen.
- Zapremina pluća (volumen pluća i otpor su obrnuto proporcionalni), što znači da je otpor veći u „malim“ plućima. Za vrijeme ekspirijuma otpor u plućima se povećava, kao i kod gravidnih žena i gojaznih osoba.
- Nestabilnost bronhijalnih zidova (trakcijom elastičnih elemenata okolnog plućnog parenhima se održava se održava širina lumena manjih disajnih puteva).

U slučaju patološkog stanja i smanjenja elastične plućne retraktilnosti uz povećanu propustljivost, u forsiranom ekspirijumu može da dođe do suženja i kolapsa disajnih puteva. U ovom slučaju dinamička kompresija dovodi do suženja disajnih puteva i tako utiče na povećanje otpora.³

Inspirijum predstavlja aktivni dio ventilacionog ciklusa koji nastaje kontrakcijom respiratorne muskulature. Pleuralni pritisak tada postaje niži, odnosno negativniji od atmosferskog. Ta negativnost djeluje kao „vakum“ koji širi pluća. Rastezanjem pluća i širenjem alveola pritisak u alveolama postaje negativan, tako da se vazduh kreće iz okoline u prostor alveola. Nakon inspirijuma, respiratorna muskulatura se relaksira, te se respiratorne strukture vraćaju u položaj ravnoteže zahvaljujući elastičnoj retraktilnosti pluća. Koštana građa grudnog koša se odupire silama retraktilnosti. Dvije osnovne sile koje učestvuju u plućnoj retraktilnosti su:

- Sila elastičnih vlakana plućnog parenhima. Nju stvaraju istegnute elastične niti tokom inspirijuma.
- Sila površinskog napona. Ona se javlja na granici vazduha i tečnosti u alveolama i direktno zavisi od debljine surfaktanta. U inspirijumu molekule surfaktanta nisu međusobno zbijene tako da je sila površinskog napona veća, za razliku od ekspirijuma gdje se molekule surfaktanta zbijaju te na kraju ekspirijuma smanjuju silu površinskog napona na nulu. Sila površinskog napona se na ovaj način odupire i prekomjernom širenju i skupljanju alveola.

Ekspirijum je faza respiracije koja predstavlja pasivan proces bez aktivacije respiratorne muskulature, izuzev prilikom forsiranog ekspirijuma, kašlja ili kada je ekspirijum otežan. Tokom ekspirijuma pleuralni pritisak postaje manje negativan, odnosno približava se nuli, a pritisak u alveolama obratno, odnosno postaje veći od atmosferskog, i struji u suprotnom pravcu, iz alveola ka okolini. Visina alveolarnog pritiska je određena sa dvije sile, a to su sila retraktilnosti i pleuralnog pritiska.

Komplijansa je mjera rastegljivosti plućnog tkiva i predstavlja odnos između volumena i pritiska. Pri većoj raširenosti pluća je neophodno da djeluje veći pritisak da bi došlo do promjene u volumenu. Drugim riječima, plućna komplijansa je veća pri manjim i umjerenim volumenima, odnosno, pluća se najlakše šire u opsegu normalnog disanja.³

3.1.2. Plućni volumeni

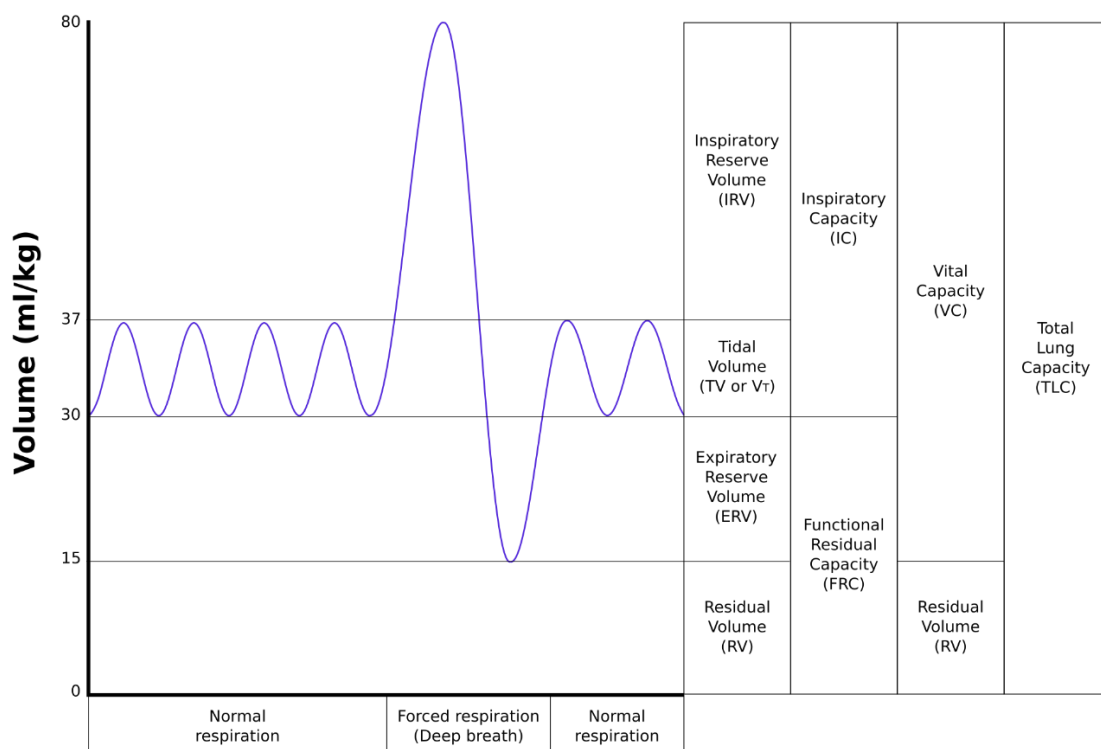
Osnovni način za ispitivanje plućne ventilacije je mjerenje volumena vazduha pri kretanju vazduha u pluća i van njih, odnosno u inspirijumu i ekspirijumu.

Disajni volumen (Tidal volumen – TV) predstavlja volumen vazduha koji se udahne ili izdahne tokom normalne respiracije, iznosi oko 500ml.

Inspiratorni rezervni volumen (IRV) predstavlja maksimalan, dodatni volumen vazduha koji se može udahnuti maksimalnim inspirijem nakon normalnog udaha, iznosi oko 3000ml.

Ekspiratorni rezervni volumen predstavlja maksimalan dodatni volumen vazduha koji se posle normalnog ekspirijuma može izdahnuti forsiranom ekspiracijom, on iznosi oko 1100ml.

Rezidualni volumen je volumen vazduha koji ostaje u plućima i posle maksimalnog ekspirijuma i iznosi oko 1200ml.⁵



Slika 4. Plućni volumeni i kapaciteti

3.1.3. Plućni kapaciteti

Inspiratorni kapacitet je jednak količini vazduha od mirnog ekspirijuma do maksimalnog inspirijuma i iznosi oko 3500ml (TV+IRV)

Funkcionalni rezidualni kapacitet predstavlja količinu vazduha koja ostaje u plućima nakon normalnog ekspirijuma i iznosi oko 2300ml (ERV+RV).

Vitalni kapacitet pluća predstavlja maksimalnu količinu vazduha koju čovjek može izdahnuti nakon maksimalnog udaha, iznosi oko 4600ml (IRV+TV+ERV).

Totalni plućni kapacitet predstavlja maksimalni plućni volumen sa kojim se pluća mogu rastegnuti maksimalnim inspirijumom i iznosi oko 5800ml (VC+RV).⁵

3.1.4. Minutni volumen disanja

Minutni volumen disanja predstavlja ukupnu količinu vazduha koja dopiše u disajne puteve tokom jednog minuta, odgovara proizvodu disajnog volumena i frekvence disanja. Ukupan minutni volumen prosječno iznosi oko 6L, odnosno normalan disajni volumen je oko 500ml, dok je normalna disajna frekvencija je 12 respiracija u minuti. Područja u kojima se obavlja razmjena gasova u procesu plućne ventilacije su alveole, alveolarni sakulusi, duktusi i respiratorne bronchiole.⁵

3.2. Distribucija

Distribucija podrazumijeva raspodjelu udahnutog vazduha u plućima. Čak i kod zdravih osoba, distribucija udahnutog vazduha u plućima nije ravnomjerna. Uzrok tome leži u nejednakosti intrapleuralnog pritiska, koji je u plućnim vrhovima najnegativniji, dok je na bazi pluća najmanje negativan zbog dejstva gravitacione sile i težine plućnog tkiva.² S tim u vezi, alveole u vrhovima pluća su rastegnutije od bazalnih alveola, što utiče na distribuciju vazduha. U plućima razlikujemo tri zone vazdušnog prostora, a to su:

- Provodna zona, koja obuhvata disajne puteve do terminalnih bronhiola. Do ovog nivoa nema razmjene gasova.
- Prelazna zona, koju čine tri generacije grananja respiratornih bronhiola. Na ovom nivou disajnih puteva pored provođenja postoji i respiratorna uloga.
- Respiratorna zona, koju čine alveolarni duktusi i sakulusi sa alveolama.⁸

U distribuciji udahnutog vazduha razlikujemo dvije faze:

1. Fazu protoka, koje prodradumijeva raspoređivanje vazduha unutar traheobronhalnog stabla, i
2. Fazu gasne difuzije, odnosno molekulsko kretanje koje se obavlja od mjesta prestanka zone protoka do alveolarnih zidova, a obavlja se na osnovu razlike u koncentraciji

gasova. Na taj način se molekule kiseonika kreću ka alveolama, a molekule ugljen dioksida u suprotnom pravcu.³

3.3. Difuzija

Difuzija gasova se obavlja kroz alveo-kapilarnu membranu. Da bi kiseonik difundovao u krv on mora procesom difuzije da prodje kroz sloj tečnosti i surfaktanta koji oblaže alveolu, alveolarni epitel, bazalnu membranu epitela, uzak intersticijski prostor između alveolarnog epitela i kapilarne membrane, bazalnu membranu kapilara, endotel kapilara, plazmu, membranu eritrocita te da se veže za hemoglobin.⁵

Na isti način obavlja se i difuzija ugljen-dioksida, u suprotnom pravcu. Površina koja je na raspolaganju za difuziju gasova iznosi oko 80m². Na difuziju može da utiče debljina alveo-kapilarne membrane, razlika parcijalnih pritisaka gasova u krvi i alveolama, vremena u kojem su u kontaktu krv i vazduh, te aktivne površine alveola koja je raspoloživa za difuziju i rastvorljivosti gasova.³

Ugljen-dioksid je gas koji je oko 20 puta rastvorljiviji od kiseonika, te isto toliko puta brže difunduje kroz alveo-kapilarnu membranu.⁵

Odnos ventilacije i perfuzije (V_a/Q) normalno iznosi oko 0,8, a ne 1 koliko bi trebalo u teoriji da iznosi kada bi se u potpunosti ventilacija i perfuzija podudarale. To znači da je fiziološki taj odnos neravnomjeran, i zavisi i od položaja tijela. U bazalnim dijelovima pluća su pritisci u krvnim sudovima veći od alveolarnog, na taj način je omogućena stalna perfuzija. S druge strane, u vrhovima pluća je alveolarni pritisak veći od kapilarnog, stoga kompromituje cirkulaciju.⁶

3.4. Perfuzija

Protok krvi u plućima čine dva krvotoka, funkcionalni i nutritivni. Iako su im uloge različite, ova dva sistema su povezana anastomozama, tako da se i funkcionalno dopunjavaju međusobno. Anastomoze koje grade mogu biti prisutne na kapilarnom nivou, kao i na nivou većih krvnih sudova.²

Na krvne sudove u plućnom krvotoku vazokonstriktorno djeluju: noradrenalin, angiotenzin II, serotonin, prostaglandini F2-alfa, D3, leukotrieni, histamin, TNF, IL-2, endotelin 1. S druge strane, na vazodilataciju utiču: beta adrenergički agonisti, prostaciklini, bradikinin, azot-monoksid, faktor aktivacije trombocita, prostaglandini E1, E2 i adenzin.³

Na alveolarnom nivou, prekapilarni krvni sudovi se granaju u gustu mrežu kapilarnih sudova prečnika oko 7 mikrometara. Oko 97% kiseonika se transportuje od pluća do tkiva u obliku oksihemoglobina, dok manji dio, oko 3% se transportuje rastvoren u plazmi. S druge strane, ugljen-dioksid se transportuje rastvoren u citoplazmi eritrocita, u obliku disocirane ugljene kiseline, i sjedinjen sa hemoglobinom.⁵

S obzirom da su u uspravnom položaju tijela vrhovi pluća iznad hilusa, odnosno mjesta ulaska plućne arterije oko 15cm, a baze pluća isto toliko ispod hilusa, srednji arterijski pritisak u plućima se kreće oko 0-4 kPa. Protok krvi u vrhovima pluća je sporiji, sa dužim vremenom prolaska eritrocita u odnosu na baze pluća. Taj odnos alveo-kapilarnog pritiska u vrhovima pluća ima za posljedicu smanjenje protoka kroz određene kapilare u miru, i sa tim ne obavljanje razmjene gasova. Vazduh se izdiše neizmijenjen, što smanjuje ukupnu efikasnost ventilacije, iako su alveole adekvatno ventilisane. S druge strane, u uslovima fizičkog napora, rastom plućnog arterijskog pritiska povećava se i perfuzija u vrhovima pluća, te na taj način dolazi do povećanja i razmjene gasova na nivou alveo-kapilarne membrane za dva do tri puta.²

3.5. Uloga pluća u održavanju acido-bazne ravnoteže

Kao što je prethodno naglašeno, alveolarna ventilacija je kontrolisana hemoreceptorskim sistemom (centralnim i perifernim) koji reaguju na promjene pH i $p\text{CO}_2$. Hemoreceptori reaguju na sniženje cerebralnog intersticijskog pH, te povećavaju ventilaciju i na taj način vraćaju vrijednosti $p\text{CO}_2$.⁴

U slučaju razvoja metaboličke acidoze, na isti način će doći do povećanja ventilacije usljed snižavanja cerebralnog intersticijskog pH, ali odgovor može biti sporiji. Razlog tome je što su promjene koje su nastale dejstvom nevolatilnih kiselina i promjene HCO_3^- relativno izolovane zbog krvno-moždane barijere. Naime, kod akutnih promjena jona bikarbonata u plazmi sporiji efekat nastaje na cerebralni pH, kao i na stimulaciju centralnih hemoreceptora. Povećanje ventilacije može započeti nakon 1 do 2 sata, ali maksimalni odgovor može dostiže za 12 do 24 časa, te i u maksimalnoj ventilaciji obično ne snižava pH u potpunosti na normalne vrijednosti, njegova moć kompenzacije je oko 50-70%.

Najveći razlog tome je što aktivacijom centra za disanje dolazi do hiperpneje ili Kusmaulovog disanja, te posljedično dolazi do pada $p\text{CO}_2$ i vodonikovih jona, te samim tim dolazi i do smanjenja nadražaja respiratornog centra. Na taj način dolazi do hipopneje ili neke vrste periodičnog disanja. Ovakva faza disanja ponovo vodi u obaranje vrijednosti pH te na taj način ne dozvoljava respiratornom centru da u potpunosti iskompenzuje prvobitnu metaboličku acidozu. Na sličan način se koriguje i metabolička alkalozna (depresijom respiratornog centra i promjenom pH u pravcu acidoze), takođe ne u potpunosti.⁹

4 NERESPIRATORNA ULOGA PLUĆA

Pored osnovne uloge pluća, a to je razmjena gasova, pluća imaju i nekoliko drugih važnih funkcija. One podrazumijevaju zaštitnu ulogu filtracijom udahnutog vazduha, obradu vazoaktivnih supstanci iz krvi i stvaranje i oslobađanje određenih supstanci koje ostaju u alveolama, a neke idu u cirkulaciju.

Pored gornjih disajnih puteva koji imaju veliku ulogu u filtraciji vazduha, vazduh koji ulazi u traheju sadrži čestice oko 10 mikrometara. Čestice veličine 2-10 mikrometara se odstranjuju sedimentacijom u sluzi koja oblaže disajne puteve. Čestice 0,1 i 0,5 mikrometara uglavnom lebde u disajnim putevima u vidu aerosola, a oko 80% ih biva izbačeno izdisajem.

Aspirirani materijal koji ostaje zarobljen u sluzi može se odstraniti na više načina, prije svega mehaničkom stimulacijom može doći do refleksa kihanja ili kašlja, čak i do bronhokonstrikcije te spriječiti dublje prodiranje iritansa. Čestice koje ipak dospiju do terminalnih bronhiola mogu biti uklonjene pomoću alveolarnih makrofaga, enzima poput lizozoma koji ima baktericidna svojstva, zatim laktoferin, bakteriostatik sintetisan u polimorfonukleareima i sluznim žlijezdama, alfa 1-antitripsin koji inaktivira bakterijske proteolitičke enzime, interferon, antivirusna supstanca koju proizvode makrofagi i limfociti, komplement koji djeluje kao kofaktor u reakcijama antigen-antitijelo.

Stimulisanje receptora u traheji izaziva kašalj, dok je samo kihanje rezultat stimulacije receptora nosa ili nazofarinksa. Pluća imaju svoju ulogu i u ostvarivanju funkcije govora, pjevanja, zviždanja i duvanja, i to su radnje koje obavlja ekspiratorna plućna funkcija, a uključene su i brojne kompleksne strukture CNS-a, laringsa, faringusa, nosne i usne duplje. ²

Pluća su bitan faktor u renin-angiotenzin sistemu. Renin je proteolitički enzim koji se stvara u jukstaglomerularnim ćelijama bubrega, djeluje na angiotenzinogen i stvara angiotenzin I. Angiotenzin I se konvertuje uz pomoć angiotenzin-konvertaze koji je prisutan posebno u plućnom vaskularnom endotelu u angiotenzin II. Angiotenzin II je snažan vazokonstriktor koji djeluje na glatku muskulaturu krvnih sudova kao i na produkciju aldosterona. ⁵

Pluća imaju i mehanizme za uklanjanje materija koje se nađu zarobljene u plućnim kapilarima, kao što su litički enzimi u vaskularnom endotelu, ingestija putem makrofaga i prodor u limfni sistem. Takođe imaju ulogu i pri aplikaciji medikamenata koje odlaze u sistemski krvotok, poput anestetičkih lijekova, halotana i azot-oksidula.

Plućni krvotok je takođe mjesto gdje se uklanjaju brojne supstance iz krvi, poput prostaglandina E1, E2, i E2 alfa. Takođe, oko 30% norepinefrina iz venske krvi se uklanja prolaskom kroz plućnu cirkulaciju. Pored sinteze surfaktanta, kojeg stvaraju pneumociti tip 2, u plućima se stvaraju i druge supstance poput histamina, lizozomnih enzima, prostaglandina, leukotrena, eozinofilnog hemotoksičkog faktora, koje oslobađaju mastociti. S druge strane, bradikinin, heparin proizvode se u ćelijama pluća i mogu se oslobađati u krvotok. ²

5 ZAKLJUČAK

Pluća predstavljaju paran organ, sačinjen iz dva plućna krila, smješten u grudnoj duplji i obavijen sa viscelarnom pleurom. Unutar plućnih krila nalaze se vazdušni putevi koji se granaju do najsitnijih funkcionalnih jedinica zaduženih za razmjenu gasova, a to su alveole.

Pluća su podijeljena kosom i horizontalnom pukotinom na režnjeve (lobi pumonum), kojih desno ima tri (gornji, srednji i donji), a lijevo dva (gornji i donji).

Osnovna funkcija pluća je oksigenacija venske krvi i izbacivanje viška ugljen dioksida nastalog metaboličkim procesima. Ovu ulogu pluća uspijevaju da obavljaju zahvaljujući čitavom nizu procesa, koje najjednostavnije možemo podijeliti na sljedeće 4 faze: ventilacija pluća, distribucija udahnutog vazduha, difuzija gasova i perfuzija krvlju.

Ventilacija podrazumijeva razmjenu vazduha između okoline i pluća, te se sastoji iz dvije faze: inspirijuma i ekspirijuma. Distribucija se odnosi na raspodjelu udahnutog vazduha u plućima, te se upravo prema njoj vazdušni putevi mogu podijeliti u tri zone: provodna zona, prelazna zona i respiratorna zona. Membranska difuzija se odvija u dvije faze: prodiranjem gasa u tečnu sredinu, što zavisi od rastvorljivosti gasova i parcijalnih pritisaka i difuzijom kroz samu tečnost, što zavisi od razlike u koncentraciji gasova. Plućna perfuzija je sastavljena iz dva krvotoka, funkcionalni i nutritivni, koji su povezani kako anatomske brojnim anastomozama iako imaju različite uloge. Takođe je bitno napomenuti ulogu pluća kao regulatora acido-bazne ravnoteže, iako sama kompenzatorna moć iznosi oko 50-70%.

Pored respiratorne, pluća imaju i mnoge druge nerespiratorne uloge, kao što je filtracija udahnutog vazduha, obrada vazoaktivnih supstanci iz krvi i stvaranje i oslobađanje određenih supstanci od kojih neke ostaju u alveolama, a dok se pojedine otpuštaju u cirkulaciju.

LITERATURA

1. Bogdanović D. Anatomija grudnog koša (Thorax). 11.izd. Beograd: Savremena administracija; 2005.
2. Jovanović T, Milovanović APS. Respiratorni sistem: fiziologija i funkcionalna procena. Beograd: Naučna knjiga; 2001.
3. Stanetić M, urednik. Pulmološki priručnik. 1. izd. Banja Luka: Medicinski fakultet; 2002.
4. Grippi MA, Antin-Ozerkis DE, Dela Cruz CS, Kotloff RM, Kotton CN, Pack AI, editors. Fishman's Pulmonary Diseases and Disorders. 6th ed. New York: McGraw Hill; 2022.
5. Guyton AC, Hall JE. Medicinska fiziologija. 10. izd. Beograd: Savremena administracija; 2003.
6. Popovac D. Bolesti pluća. 5. izd. Beograd: Data Status; 1999.
7. Asamura H, Rusch VW, Crowley J, et al. The International Association for the Study of Lung Cancer staging Project: A Proposal for a New International Lymph Node Map in the Forthcoming Seventh Edition of TNM Classification for Lung Cancer. J Thorac Oncol. 2009; 4(5):568-577
8. Stevanović P, Krivokapić B, Bašić M, Laušević Vuk Lj, Ranković V, Kolak R, et al. Mehanička ventilacija pluća. Beograd: Društvo anesteziologa Srbije; 2004.
9. Kovačević P. Mehanizmi održavanja acido-bazne ravnoteže kod kritično oboljelog. Banja Luka: Medicinski fakultet; 2020.

SLIKE I TABELE:

1. Tabela 1. Plućni režnjevi (preuzeto: Stanetić M, urednik. Pulmološki priručnik. 1. izd. Banja Luka: Medicinski fakultet; 2002. str. 9)
2. Slika 1. Podjela plućnih režnjeva i bronha (Preuzeto: https://pantomarinero.com/images/lung-segments-scheme-lung-structure_4.jpg, 05.07.2026.)
3. Slika 2. Limfni sistem toraksa (Preuzeto: <https://www.jto.org/cms/10.1097/JTO.0b013e3181a0d82e/asset/960ab5e0-7dbf-46ed-91fb-fe293af015cc/main.assets/gr1.jpg>, 30.06.2026.)
4. Slika 3. Plućni volumeni i kapaciteti (Preuzeto: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/3b/Lungvolumes.svg/1920px-Lungvolumes.svg.png>, 01.07.2026.)