

# Usporedbena anatomija dišnog sustava čovjeka i ostalih kralježnjaka

---

**Radetić, Ivo**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, School of Medicine / Sveučilište u Zagrebu, Medicinski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:105:791608>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-11**



*Repository / Repozitorij:*

[Dr Med - University of Zagreb School of Medicine Digital Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
MEDICINSKI FAKULTET**

**Ivo Radetić**

**Usporedbena anatomija dišnog sustava  
čovjeka i ostalih kralježnjaka**

**DIPLOMSKI RAD**



**Zagreb, 2022.**

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

MEDICINSKI FAKULTET

Ivo Radetić

Usporedbena anatomija dišnog sustava čovjeka i ostalih kralježnjaka

Diplomski rad



Zagreb, 2022.

Ovaj diplomski rad izrađen je u Katedri za anatomiju i kliničku anatomiju, Medicinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pod vodstvom prof. dr. sc. Dubravka Jalšovca, dr. med. i predan je na ocjenu u akademskoj godini 2021./2022.

## Sadržaj:

1. SAŽETAK .....	I
2. SUMMARY .....	II
3. UVOD.....	1
4. PREGLED DIŠNIH ( I CIRKULACIJSKIH ) SUSTAVA KRALJEŽNJAKA .....	2
4.1. Dišni sustav riba.....	2
4.2. Dišni sustav vodozemaca .....	5
4.3. Dišni sustav gmazova.....	8
4.4. Dišni sustav ptica .....	11
4.1. Dišni sustav sisavaca, uključujući čovjeka.....	13
5. ODLIKE DIŠNOG SUSTAVA KRALJEŽNJAKA .....	16
5.1. Dišni organi .....	17
5.1.1. Primarni dišni organi .....	17
5.1.2. Sekundarni dišni organi .....	18
5.1. Mehanizmi disanja .....	19
6. USPOREDBA DIŠNIH SUSTAVA ČOVJEKA I OSTALIH KRALJEŽNJAKA.....	22
6.1. Dišni sustav riba i čovjeka.....	22
6.2. Dišni sustav vodozemaca i čovjeka.....	23
6.3. Dišni sustav gmazova i čovjeka.....	24
6.4. Dišni sustav ptica i čovjeka .....	25
7. ZAHVALE .....	28
8. LITERATURA .....	29
9. ŽIVOTOPIS.....	33

## 1. SAŽETAK

### Usporedbena anatomija dišnog sustava čovjeka i ostalih kralježnjaka

Ivo Radetić

Dišni sustav, u suradnji s cirkulacijskim potpomaže izmjenu plinova između organizma i njegove okoline.

Primarni dišni organi uključuju škrge i pluća. Škrge su razvijene za disanje u vodi, u kojoj je tok respiratornog medija preko vaskularnih površina jednosmjernan. Pluća su evolucijski razvijena za disanje na zraku i pomiču zrak dvosmjerno radi izmjene plinova između zraka i krvi. Sekundarni dišni organi uključuju pokrovni sustav, odnosno kožu i trepetljike. Mehanizmi disanja mogu se podijeliti na mehanizme korištene za pokretanje vode i na mehanizme korištene za pokretanje zraka. Voda se u riba pokreće dvojnomo pumpom, a zrak se pokreće bukalnom pumpom u vodozemaca i aspiracijskom pumpom u gmazova, ptica i sisavaca.

Dišne sustave svih opisanih razreda kralježnjaka odlikuju mnoge prilagodbe na okoliš u kojemu oni obitavaju, no s obzirom na učinkovitost izdvajanja kisika i otpuštanja ugljikova dioksida i energetske zahtjevnost ventilacije, ptice imaju evolutivno najbolje razvijen dišni sustav.

Ključne riječi: usporedbena anatomija, morfologija, dišni sustav, kralježnjaci

## 2. SUMMARY

Comparative anatomy of respiratory system in humans and other vertebrates

Ivo Radetić

The respiratory system, coupled with the circulatory system, supports the exchange of gases between the organism and its environment.

Primary respiratory organs include the gills and the lungs. The gills are designed to breathe in water and the flow of water is unidirectional to the vascular surfaces where the exchange of oxygen and carbon dioxide takes place. The lungs are designed to breathe air and usually move air in both directions for gas exchange between air and blood. Secondary breathing organs are the integumentary system and cilia. Respiratory mechanisms can be divided into mechanisms used to move water and mechanisms used to move air. Water is driven via dual pump in fish, while air is driven via buccal pump in amphibians and via aspiration pump in reptiles, birds, and mammals.

All the aforementioned classes of vertebrates show many adaptations to the environment in which they live, but given the efficiency of oxygen uptake and carbon dioxide release as well as energy requirements of ventilation, birds have the best developed respiratory system.

Keywords: comparative anatomy, morphology, respiratory system, vertebrates

### 3. UVOD

Kroz iznimno dugi niz godina na Zemlji su evolucijom nastajali su sve složeniji oblici života: jednostanični organizmi, višestanični organizmi te, uz mnogo izostavljenih međukoraka, biljke, gljive i životinje.

Ljudi zbog sposobnosti razuma i odlučivanja imaju mogućnost proučavati okolinu i promišljati o prošlosti, djelovati u sadašnjosti i stvarati budućnost. Prethodno spomenuta proučavanja i promišljanja dovela su do znanstvenih spoznaja o evoluciji, odnosno da sva živa bića imaju poveznice i sličnosti (1).

Cilj pisanja ovog diplomskog rada jest usporedba dišnih sustava čovjeka i ostalih razreda kralježnjaka.



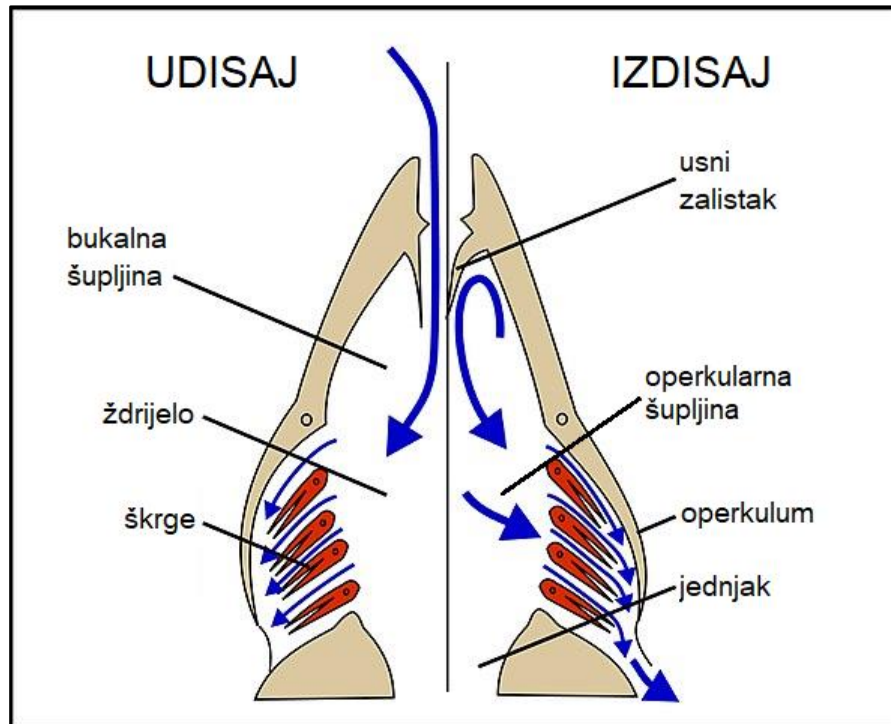
#### 4. PREGLED DIŠNOG ( I CIRKULACIJSKOG ) SUSTAVA KRALJEŽNJAKA

Kako bi se održale na životu, stanice u tijelima kralježnjaka trebaju nadomjestiti potrošeni kisik i odstraniti suvišne produkte metabolizma. Te zadatke obavljaju dva anatomski različita, no funkcionalno neodvojiva organska sustava: dišni i cirkulacijski sustav (2). U sljedećim poglavljima bit će prikazan prvenstveno opis dišnih sustava pojedinih kralježnjaka, uz popratni osvrt na krvožilni sustav.

##### 4.1. Dišni sustav riba

Kisik i ugljikov dioksid su topivi u vodi, u kojoj ribe izmjenjuju plinove putem škrge (3). Škrge su oblik dišnog organa kojeg posjeduju i neki vodozemci, bilo u razvojnem ili odraslom obliku. One se sastoje od razgranatog ili perolikog tkiva, bogato prožetog krvnim žilama (4). Škrge nalazimo iza usta, sa svake strane glave, a potporu im daju škržni lukovi, u sastavu kojih se nalazi vaskularizirano tkivo (3).

Krvne žile su obilno prisutne pri samoj površini škrge, a time je olakšana izmjena spomenutih plinova. Škrge se mogu nalaziti unutar glave riba, kao što je to slučaj kod besčeljusnjača; one mogu stršati u vodu ili imati pokrov (kožni nabori kod hrkavičnjača ili operculum kod koštunjača) koji ih štiti, a voda biva kroz usta potiskivana preko njih (4).

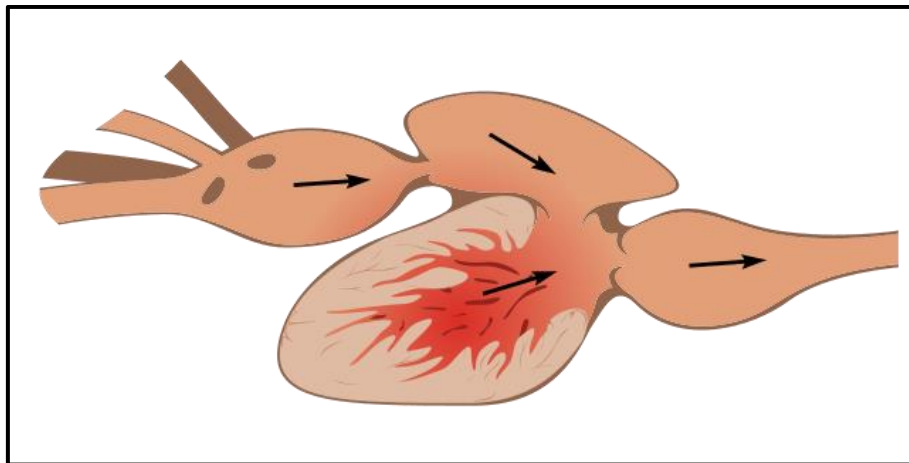


Slika 1. **Dišni mehanizam riba koštunjača.** Izvor: Wikimedia Commons contributors, "File:Breathing in fish.jpg," Wikimedia Commons, the free media repository, [https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Breathing\\_in\\_fish.jpg&oldid=482425962](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Breathing_in_fish.jpg&oldid=482425962) (pristupljeno 10. svibnja 2022.).

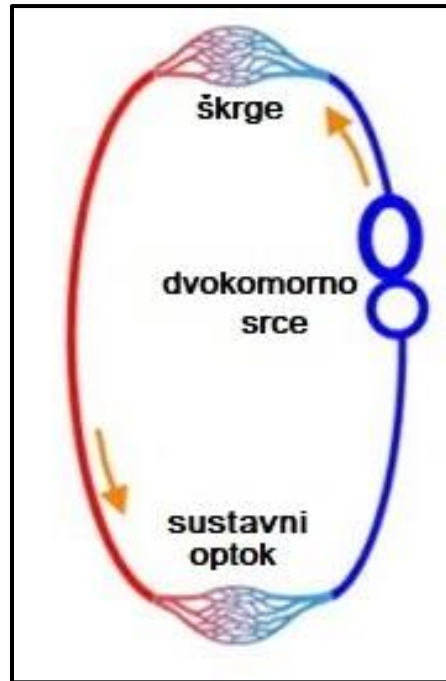
Neke ribe posjeduju i hidrostatski, odnosno balastni organ koji se naziva zračnim mjehurum. Nalazi se u tjelesnoj šupljini, neposredno ispod bubrega i iznad želuca i crijeva. Nastao je kao divertikulum probavne cijevi i u većine riba, zračni mjehur služi održavanju dubine na kojoj riba obitava, reguliranjem količine plina u mjehuru. Plinska žlijezda, koja se nalazi unutar stijenke plivaćeg mjehura, bogato je vaskularizirana struktura zadužena za reguliranje acidobazne ravnoteže. U plinskoj žlijezdi se aerobnim i anaerobnim metabolizmom stvara ugljikov dioksid i mliječna kiselina, koji u zračnom mjehuru povećavaju kiselost. U kiseloj sredini hemoglobin lakše otpušta kisik i time ribe povećavaju parcijalni tlak kisika u mjehuru. Kada se ribe nalaze u uvjetima slabije oksigeniranosti vode,

opuštaju sfinkter na jednom dijelu zračnog mjehura i krvnom spletu s druge strane sfinktera predaju visoke koncentracije kisika, koji se zbog visokog parcijalnog tlaka veže za hemoglobin (3).

Cirkulacijski sustav riba sastoji se od srca, arterija, vena i najmanjih žila kapilara, koje se granaju u škragama i ostatku tijela. Srce je u riba u kontinuitetu zavijena mišićna cijev koja prvo prima vensku krv u sinus venosus, pa u pretklijetku te naposljetku u klijetku koji pumpa deoksigeniranu krv u bulbozni dio ventralne aorte, odakle krv dalje nastavlja do škržnih kapilara. U tim kapilarama se događa izmjena plinova te krv odlazi eferentnim arterijama škržnih lukova u dorzalnu aortu koja dostavlja oksigeniranu krv cijelom tijelu. Valja uočiti da se oksigenirana krv ne vraća u srce, kao u ostalih kralježnjaka (4).



Slika 2. **Prikaz dvokomornog srca riba.** Izvor: Wikimedia Commons contributors, "File:Two chamber heart.svg," Wikimedia Commons, the free media repository, Dostupno na: [https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Two\\_chamber\\_heart.svg&oldid=652231317](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Two_chamber_heart.svg&oldid=652231317) (pristupljeno 10. svibnja 2022.).

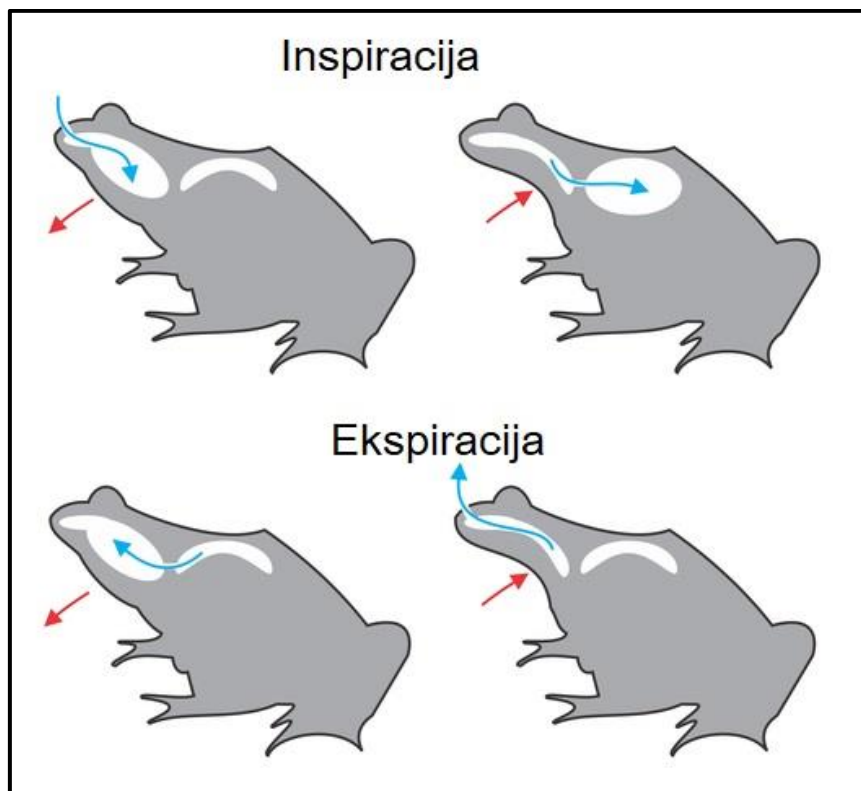


Slika 3. **Shema krvnog optoka riba** Prema: Furst, Branko. (2015). The Heart: Pressure Propulsion Pump or Organ of Impedance?. Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia. 367. 10.1053/j.jvca.2015.02.022.

#### 4. 2. Dišni sustav vodozemaca

Vodozemci su, kao što i naziv sugerira, razred kralježnjaka koji obitava i u vodi i na kopnu. Tako će i u različitim razvojnim stadijima koristiti različite dišne organe (7). Uz iznimku određenih vrsta žaba koje legu jaja na kopnu, životni im ciklus započinje kao larva u vodi. Izmjena plinova se tada odvija putem tanke, vlažne kože i škrge. Punoglavci, primjerice, za respiraciju koriste i svoje velike repne peraje koje su također bogato vaskularizirane. Kako se larve razvijaju, škrge nestaju i počinju se razvijati pluća. Pluća vodozemaca su jednostavne sačolike strukture kojima nedostaje kompleksna trabekulacija

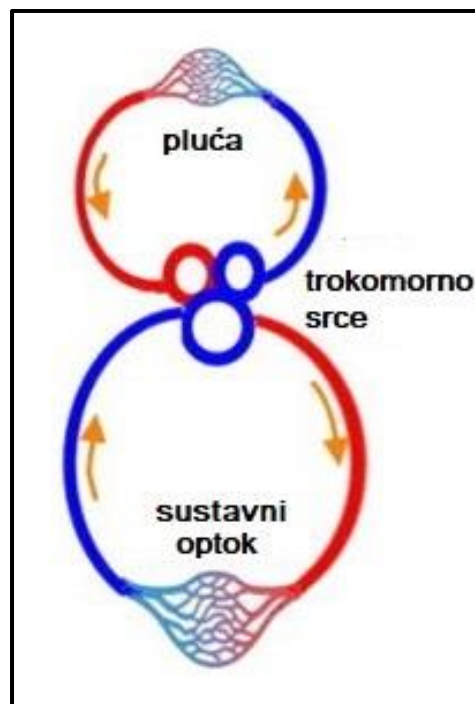
koju nalazimo u plućima ptica ili sisavaca. Oni ne posjeduju ošit poput razvijenijih kralježnjaka, pa pluća ventiliraju pumpanjem zraka bukalnim mehanizmom sličnom gutanju. Ekspiracija se vrši kontrakcijama mišića u tijelu i elastičnim svojstvima samih pluća koja ih vraćaju u ispuhano stanje, a u spomenutom okruženju i pritisak vode na tijelo pomaže u izdisaju (5).



Slika 4. **Prikaz bukalne pumpe u četiri čina u žabe.** Izvor: Wikimedia Commons contributors, "File:Four-stroke buccal pumping.png," Wikimedia Commons, the free media repository, Dostupno na: [https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Four-stroke\\_buccal\\_pumping.png&oldid=503032854](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Four-stroke_buccal_pumping.png&oldid=503032854) (pristupljeno 11. svibnja 2022).

Srce vodozemaca nepotpuno je podijeljeno na tri šupljine, s podijeljenom pretklijetkom i jednom klijetkom, na kojeg se nastavlja *conus arteriosus* u kojemu se nalazi spiralni zalistak. Zalistak ima funkciju usmjeravanja krvi u arterijske lukove. Venska krv iz tijela ulazi u desni atrij, a oksigenirana krv iz pluća ulazi u lijevi atrij. Kontrakcijom atrija krv se ulijeva u ventrikul, gdje ostaje donekle nepomiješana. Prethodno spomenuti spiralni zalistak ponovno odvaja krv iz atrija, tako što manje oksigeniranu krv usmjerava u pluća i kožu radi oksigenacije, dok krv iz atrija s više kisika šalje u glavu i tijelo (6).

Pokrovni sustav vodozemaca također sudjeluje u respiraciji i izmjeni tvari upotpunjujući tako dišni i cirkulacijski sustav. Razgranata mreža kožnih kapilara olakšava izmjenu plinova te vode i iona s okolinom (7).



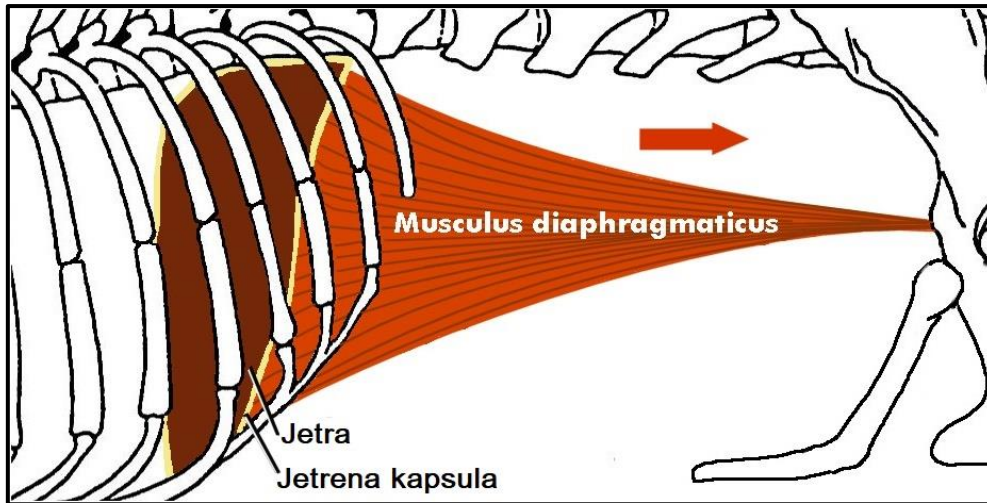
Slika 5. **Shema cirkulacijskog sustava u vodozemaca (žabe).** Prema: Furst, Branko. (2015).

The Heart: Pressure Propulsion Pump or Organ of Impedance?. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*. 367. 10.1053/j.jvca.2015.02.022.

#### 4. 3. Dišni sustav gmazova

Prelaskom iz vode na kopno, gmazovi su razvili pokrovni sustav nepropusan za vodu kako ona ne bi ishlapila iz njihovih tijela. Ta prilagodba isključuje mogućnost disanja preko kože te su pluća glavni i u većine gmazova jedini dišni organ, uz iznimku nekolicine gmazova prilagođenih životu u vodi, kao što su primjerice vodene zmije. Pluća gmazova, u odnosu na vodozemce, imaju mnogo više podjela unutar plućnih krila i njih nazivamo faveolama. Faveole su maleni zatoni koji se otvaraju u središnju šupljinu pluća gmazova, a služe povećavanju površine putem koje se može vršiti izmjenu plinova. Mehanizam kojim gmazovi ventiliraju pluća slični onome u ptica i sisavaca: mišićna kontrakcija dovodi do ekspanzije prsnog koša, stvara se podtlak koji uzrokuje ulazak zraka unutar pluća. Prednja strana jetre u krokodila i aligatora vezana je na stražnji dio pluća, odnosno nalazi se u toraksu, a mišić *m. diaphragmaticus* veže se na stražnju stranu jetre te povlači jetru čime neizravno pomaže u ventilaciji pluća. U kornjača, koje imaju krutu tjelesnu stijenk, razvijeni su specijalizirani skeletni mišići koji omogućavaju ventilaciju. Kornjačama i ekspirij predstavlja energetski zahtjevniju radnju, budući da se zbog spomenutog oklopa ne mogu osloniti na elastičnost krutog prsnog koša pri ekspiriju (5).

Obrazac disanja većine gmazova nije pravilan, već se sastoji od serije inspirija i ekspirija koje potom slijedi relativno dulja stanica zadržavanja daha. Metabolizam gmazova, kao hladnokrvnih životinja, iznosi jednu petinu do jedne desetine toplokrvnih srodnika i zato je stalno disanje nepotrebno, odnosno energetski neučinkovito (8).



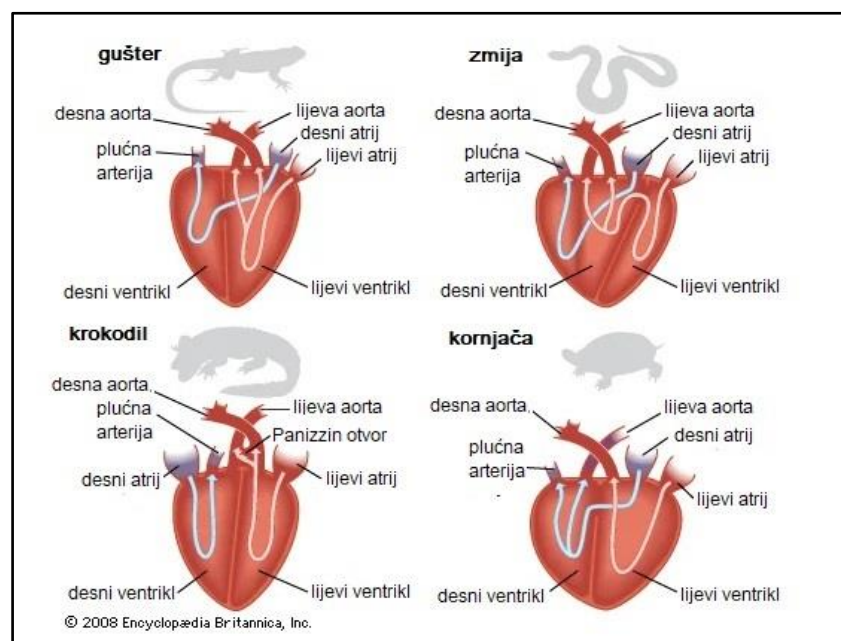
Slika 6. Shema pomoćnog dišnog mehanizma u krokodila i aligatora. Izvor: Wikimedia Commons contributors, "File:Crocodile-diaphragmaticus.png," Wikimedia Commons, the free media repository, Dostupno na: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Crocodilediaphragmaticus.png&oldid=493189652> (pristupljeno 12. svibnja 2022.).

Različiti redovi razreda gmazova, gušteri, zmije, korokodili i kornjače, razvili su različito prilagođene cirkulacijske sustave, bilo zbog medija ili okoliša u kojemu obitavaju, bilo zbog građe tijela koja uvjetuje drugačiji raspored krvnih žila i ostalih struktura (2).

Svi gmazovi posjeduju potpuno odvojene atrijske, dok su klijetke i dalje uglavnom nepotpuno odvojene. U guštera, oksigenirana krv iz lijevog atrijske i deoksigenirana krv iz desnog atrijske odlaze zajedno u dio lijevog ventrikla. Zbog usmjerenosti atrioventrikularnih ušća, odnosno strujanja krvi, deoksigenirana krv je potisnuta kroz procjep u desni dio klijetke te naposljetku prilikom sistole, deoksigenirana krv odlazi u plućnu arteriju, a oksigenirana krv u sustavne arterije. U zmija tri arterije izlaze iz klijetke koja neposredno prima deoksigeniranu krv desnog atrijske. Za vrijeme kontrakcije, mišićni nabor stvara prepreku i



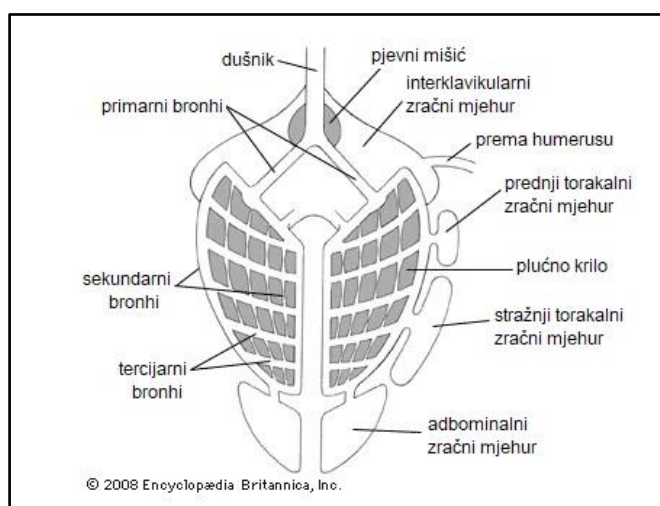
usmjerava deoksigeniranu krv u plućnu arteriju, dok oksigenirana krv koja prvobitno utječe u lijevu klijetku biva potisnuta kroz otvor u ventrikularnom septumu u desnu klijetku i potom dalje kroz arterije koje izlaze iz srca. Krokodili imaju potpuno odijeljene klijetke, no dvije aorte izlaze iz različitih klijetki, stoga polumjesečasti zalistak na utoku u lijevu aortu regulira jednosmjerni tok krvi, te dio oksigenirane krvi koji biva potisnut iz lijeve klijetke prema desnoj aorti odlazi u lijevu aortu kroz Panizzin otvor. Taj otvor povezuje desni i lijevi aortalni luk neposredno nakon izlaska iz ventrikla. Veći tlak u lijevoj klijetki prilikom sistole, uzrokuje spuštanje zalistka na ulaz lijevog aortalnog luka i tako omogućuje odlazak oksigenirane krvi i lijevim i desnim aortalnim lukom, a one deoksigenirane samo plućnom arterijom. Slično je i u kornjača, u kojih klijetke nisu potpuno podijeljene te dolazi do manjeg miješanja krvi (8).



Slika 7. **Shematski prikaz srca gmazova.** Izvor: reptilian heart types, Image, Encyclopædia Britannica, Dostupno na: <https://www.britannica.com/animal/reptile/Circulatory-system#/media/1/498684/117747> (pristupljeno 12. svibnja 2022.).

#### 4. 4. Dišni sustav ptica

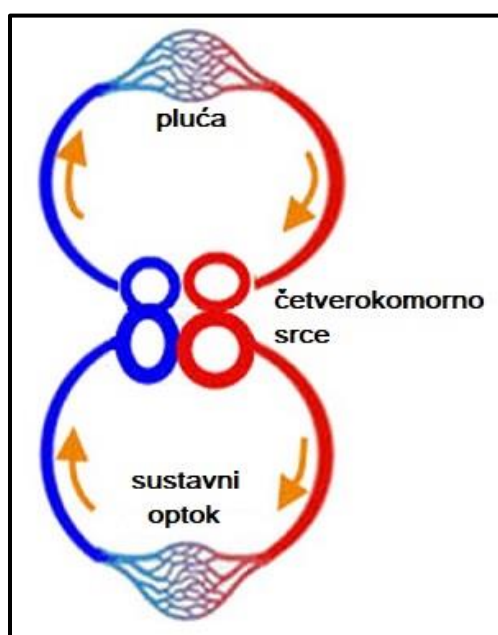
Letenje je energetski iznimno zahtjevan način kretanja, stoga ptice imaju najveću potrebu za kisikom od svih kralježnjaka. Iz tog razloga moraju biti sposobne izmjenjivati plinove velikom brzinom. Volumen ptičjih pluća je relativno malen, no zračnim vrećicama, koje su s plućima povezane nizom spojeva, ptice osiguravaju stalnu zasićenost dišnih površina kisikom. Dušnik u ptica dijeli se u primarne bronhe koji odvođe zrak u pluća i poslije u trbušne zračne mjehure; primarni bronhi također daju sekundarne bronhe koji direktno pune ostale zračne mjehure i u plućima daju parabronhe, koji omogućuju protok zraka kroz pluća i izmjenu plinova. Parabronhi se granaju unutar pluća i na njihovim krajnjim dijelovima se nalaze zračne kapilare koje čine površinu za izmjenu plinova. Inspirij se obavlja ekspanzijom prsišta i trbušne šupljine, a izdisanje kompresijom zračnih mjehura pomoću skeletne muskulature (5). Prethodno spomenuti zračni mjehuri pune zrakom i pneumatizirane kosti, kako bi smanjili ukupnu masu i olakšali letenje (9).



Slika 8. **Shema ptičjih pluća i zračnih mjehura.** Izvor: avian lung and air sac system, Image, Encyclopædia Britannica <https://www.britannica.com/animal/bird-animal/Muscles-and-organs#/media/1/66391/44428> (pristupljeno 12. svibnja 2022.).

U cirkulacijskom sustavu ptica možemo uočiti mnoga poboljšanja u odnosu na onaj gmazova, iz čijih su se zajedničkih predaka razvile (6). Plućna cirkulacija je potpuno odvojena od sustavne, kao što je slučaj i u sisavaca. Zanimljivo je i spomenuti veličinu samog srca u odnosu na tijelo ptica: ono čini 0,2 do 2,4 % tjelesne mase ptica, u usporedbi s 0,24 do 0,79 % srčane u sisavaca (9).

Srce je također, poput krvnih optoka, podijeljeno u potpunosti na lijevu i desnu stranu. *Conus arteriosus* se tijekom razvoja podijeli iz čega nastaju odvojene krvne žile od kojih svaka izlazi iz svoje klijetke: plućna arterija iz desnog i aorta iz lijeve klijetke. Lijevi aortalni luk u ptica biva resorbiran i ostaje samo desnostrani, za razliku od sisavaca gdje je obratno (6).



Slika 9. **Shema krvnog optoka u ptica.** Prema: Furst, Branko. (2015). The Heart: Pressure Propulsion Pump or Organ of Impedance?. Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia. 367. 10.1053/j.jvca.2015.02.022.

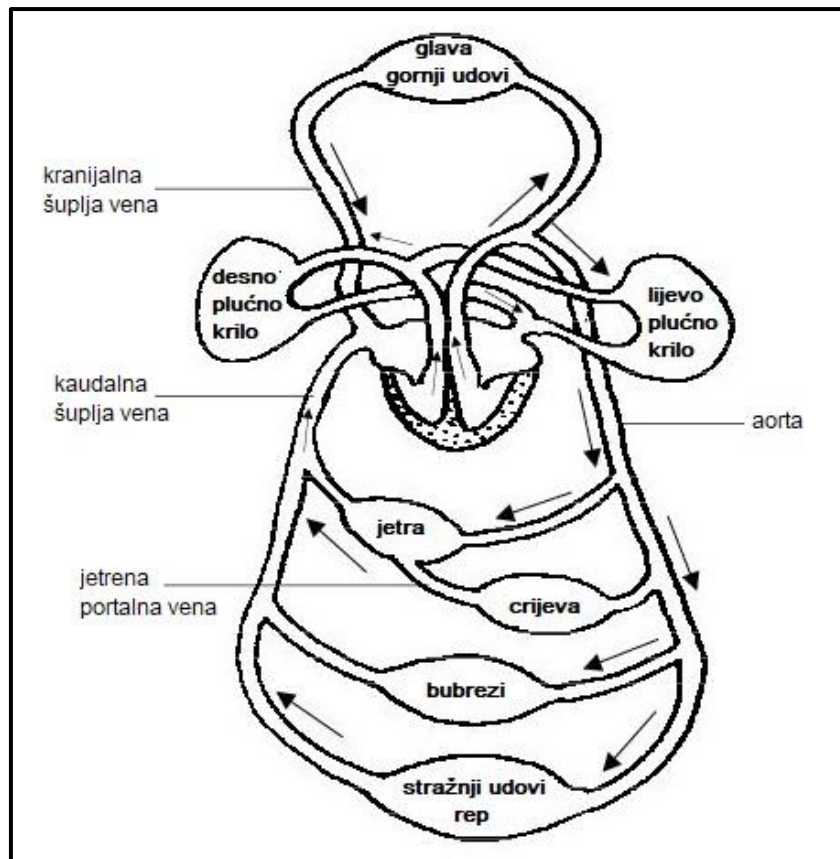
#### 4. 5. Dišni sustav sisavaca, uključujući čovjeka

U sisavaca ventilaciju omogućuje razvoj prsne šupljine koja je potpuno odijeljena dijafragmom od trbušne šupljine. Dijafragma ili ošit složena je struktura koja razvojno nastaje od transverzalnog septuma, pleuroperitonealnih nabora, mezenterijskih nabora i somita koja se hvata na središnju tetivu (*centrum tendineum*, tetivno središte), odnosno dijafragmalnu aponeurozu (10).

Dišni sustav čovjeka može se podijeliti na gornji i donji dio. U gornji dio dišnog sustava ubrajaju se nos, nosnu šupljinu, ždrijelo (kao ukriženje probavnog u dišnog sustava) i grkljan. Ti dijelovi dišnog sustava provode, pročišćavaju, ovlažuju i zagrijavaju zrak pripremajući ga za izmjenu plinova u krajnjim dijelovima. Na grkljan se nastavlja dušnik (*trachea*) koji predstavlja početak donjeg dijela dišnog sustava. Dušnik se grana u dvije primarne dušnice (*bronchi*) - lijevi i desni primarni bronh (bronhi I. reda). Iz njih se granaju sekundarni (lobarni) i tercijarni (segmentalni) bronhi (bronhi II. reda). Oni se dalje granaju u subsegmentalne bronhe (bronhi III. reda) koji u konačnici završavaju kao bronhioli. Bronhioli grananjem daju terminalne bronhiole koji su završni dio provodnog dijela dišnog sustava. Iz terminalnih bronhiola dalje se granaju respiratorni bronhioli, u čijoj se stijenci nalaze pojedinačne alveole. Respiratorni bronhioli završavaju alveolarnim vodovima, čije su stijenke u cijelosti pokrivene alveolama. Dušnik i bronhi, za razliku od bronhiola, imaju hrskavicu, koja je u bronha I. reda hijalina, u III. elastična, a u bronhima II. reda s elementima hijaline i elastične hrskavice. Pluća se cjelokupno dijele na desno s tri i lijevo s dva režnja ili lobusa. Režnjevi se dalje dijele na segmente, oni na režnjiće i naposljetku acinuse (11).

Krvožilni sustav sisavaca je, poput ptičjeg, nastao evolucijom od zajedničkog pretka s gmazovima, no ne iz iste podgrupe kao ptice, tako da su na sebi svojstven način odvojili dvostruku cirkulaciju. U sisavaca, *sinus venosus* embrionalna je tvorba iz koje tijekom razvoja nastaje glatki dio desne pretklijetke (*sinus venarum cavarum*), *sinus coronarius* i SA čvor. Razlika je također vidljiva u aorti sisavaca, koja zavija ulijevo nakon izlaska iz lijevog ventrikla. Arterijski sustav je dakle asimetričan, kao u ptica, samo na obratnu stranu (10).

Potpuno podijeljeno srce prima tjelesnu deoksigeniranu krv iz triju vena u desni atrij, te onu oksigeniranu iz pluća putem plućnih vena u lijevi atrij. Tijekom dijastole, krv prelazi iz atrija u ventrikle, da bi za vrijeme sistole bila potisnuta iz desnog ventrikla u plućnu arteriju prema plućima na oksigenaciju, a iz lijevog ventrikla u aortu, te dalje sustavnim arterijama i arteriolama sve do kapilara gdje se obavlja proces staničnog disanja.(11)



Slika 10. **Shema cirkulacijskog sustava u sisavaca.** Izvor: Wikimedia Commons contributors, "File:Anatomy and physiology of animals Mammalian circulatory system.jpg," Wikimedia Commons, the free media repository, [https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Anatomy\\_and\\_physiology\\_of\\_animals\\_Mammalian\\_circulatory\\_system.jpg&oldid=503238186](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Anatomy_and_physiology_of_animals_Mammalian_circulatory_system.jpg&oldid=503238186) (pristupljeno 13. svibnja 2022.).

## 5. ODLIKE DIŠNOG SUSTAVA KRALJEŽNJAKA

Najjednostavniji oblik izmjene plinova jest onaj putem pasivne difuzije; nasumično kretanje molekula iz mjesta višeg parcijalnog tlaka prema mjestu nižeg parcijalnog tlaka (12). Za složenije organizme kao što su kralježnjaci jednostavna difuzija nije dostatna, već je potrebno međudjelovanje dišnog i cirkulacijskog sustava. Pored modifikacije dostave kisika cijelom tijelu, razvile su se i dodatne prilagodbe za povećanje izmjene plinova.

Prva je prilagodba povećanje površine putem koje se odvija difuzija. Veća površina omogućuje brojnije prelaskе molekula s jedne na drugu stranu membrane, odnosno učestaliju difuziju, i dalje vođenu razlikama u parcijalnim tlakovima plinova.

Druga je prilagodba udaljenosti koju molekule trebaju prijeći. Pritom se ne misli na spomenuto povećanje brzine kojom molekula dolazi do ciljne stanice, tkiva ili organa, već na skraćenje udaljenosti između zraka i krvi, omogućeno tankom alveolo-kapilarnom membranom između njih koju čine samo dva sloja stanica (alveolarni epitel i endotel kapilara) te izvanstanična tvar između njih.

Treća je prilagodba učinak pokrovnog tkiva na difuziju. Vlažna i tanka pokrovna tkiva olakšavaju difuziju, kao što je u vodozemaca, dok mnogoslojna, debelo orožena koža sisavaca usporava izmjenu plinova (2).

## 5. 1. Dišni organi

### 5.1.1. Primarni dišni organi

Značajnu promjenu u evoluciji kralježnjaka predstavlja prijelaz iz vode na kopno, u ovome kontekstu, prelazak s disanja u vodi u disanje na zraku. Glavna funkcija primarnih dišnih organa jest izmjena plinova, kisika i ugljikova dioksida. Primarni organ za disanje u vodi su škrge, a organ za disanje na zraku su pluća.

Škrge kralježnjaka su gusto isprepleteni kapilarne resice koje se nalaze u ždrijelnoj regiji i služe izmjeni plinova. Mehanizam ventilacije ovisi o tome jesu li škrge sakrivene, naborima pokrova ili operkulumom, ili otkrivene. Sakrivene škrge ventilira bukalna pumpa, dok se otkrivene škrge mišićima pomiču naprijed i natrag i tako ventiliraju u vodi.

Pluća su, u većini slučajeva, parne i elastične vrećaste tvorbe čiji se volumen povećava pri udisaju, a smanjuje pri izdisaju. Embriološki nastaju kao endodermalni izdanak iz prednjeg crijeva, tj. ždrijela, stoga se nalaze ventralno od probavne cijevi (2). U nekih kralježnjaka s vitkim tijelom, jedno plućno krilo može biti manje, pa čak i potpuno nedostajati, što se vidi na primjeru određenih beznogih guštera ili morskih zmija (13).



### 5.1.2. Sekundarni dišni organi

Kralježnjaci koji žive u vodenom mediju često su izloženi manjku (otopljenog) kisika (14), dijelom i zbog činjenice da je voda već u osnovi siromašna otopljenim kisikom. Sekundarnim dišnim organima respiracija nije glavna funkcija, no kroz određene prilagodbe mogu pripomoći disanju. Iz tog razloga, većinu organa koji potpomažu disanje nalazimo u vodenih ili vodom okruženih životinja (2).

Pokrovnim sustavom kao pomoćnim dišnim organom, ili kutanom respiracijom, koja se može odvijati na zraku, u vodi ili na oba mjesta, najviše se služe vodozemci (2). Štoviše, neki daždevnjaci u odraslom obliku nemaju ni škrge ni pluća te se jedino oslanjaju na kožno disanje kako bi zadovoljili metaboličke potrebe (14).

Probavni sustav također može sudjelovati u dodatnom dopremanju kisika (2). Neke vrste somova i jegulja gutaju zrak u probavnu cijev, odakle on difundira putem sluznice probavnog sustava u krvotok (15,16).

## 5.2. Mehanizmi disanja

Disanje ili respiracija jest kretanje medija s kisikom preko respiratorne površine, dok je ventilacija pomak medija kroz dišni sustav (17). Bilo da je riječ o škrgama, plućima, koži ili pomoćnim strukturama, voda ili zrak se pokreću preko respiratornih površina kako bi se povećao iznos difuzije dotokom novog kisika. Kretanje medija se u većine kralježnjaka omogućuje mišićnim kontrakcijama.

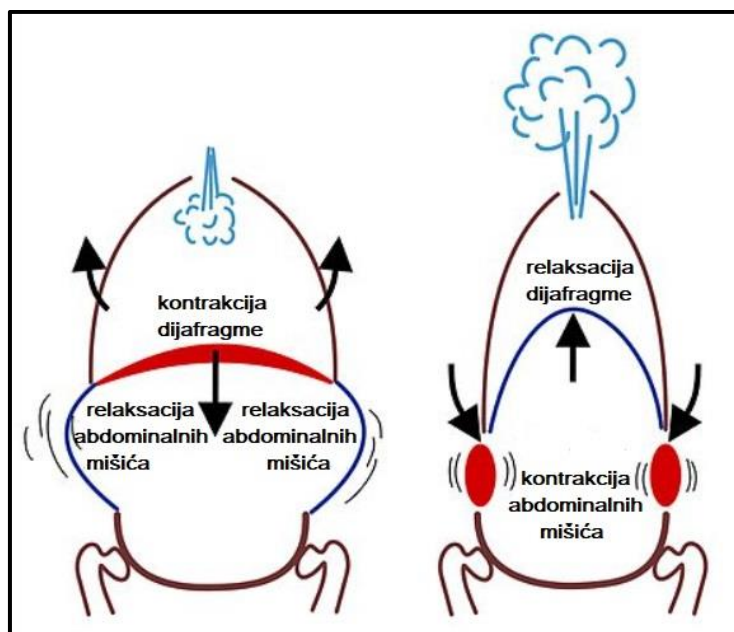
Mišićni mehanizmi glavni su pokretač ventilacije u kralježnjaka. Oni mogu biti jednostavni poput jednosmjernog toka vode kroz škrge, ili složeniji, kao što je aktivna ventilacija zrakom pomoću mišićnih pumpa.

Ventilacija u vodi najčešće se odvija dvostrukom pumpom. Dvostruka pumpa sastoji se od uparene bukalne i operkularne pumpe, koje u usklađenom obrascu potiskuju vodu u gotovo neprekidnom toku između škržnih resica. U prvoj, odnosno usisnoj fazi, stisnute su i bukalna i operkularna šupljina i zatvoreni usni i operkularni zalisci. Kako se širi bukalna šupljina, smanjuje se intraoralni tlak, i voda izvana lako ulazi preko labavog oralnog zalistka. Istovremeno širenje posteriornije operkularne šupljine također smanjuje tlak i dalje pomiče vodu iz usta u operkularnu šupljinu, a operkularni zalistak zatvorenim zadržava veći pritisak vode izvana. U drugoj, odnosno ispusnoj fazi, oralni se zalistak zatvara, a operkularni se otvara zbog toga što sile mišića nadvladaju sile okolne vode. Ovog puta istovremena kontrakcija dviju šupljina povećava tlak unutar njih i, zbog otvaranja operkularnih zalistaka, potiskuje vodu prema i kroz škržne resice.

Kod ventilacije zraka razlikujemo dva mehanizma: bukalnu i aspiracijsku pumpu. Bukalnu (ili pulsnu) pumpu koriste ribe koje udišu zrak i vodozemci, a razlikuju se bukalne pumpe u dva i četiri čina. Bukalna pumpa u dva čina djeluje tako što se prvo ekspanzijom bukalne šupljine u njoj miješaju svježi zrak izvana i stari zrak iz pluća, a zatim

komprimiranjem iste šupljine, miješani zrak dijelom odlazi u pluća, a dijelom biva izdahnut. Bukalna pumpa u četiri čina: započinje bukalnom ekspanzijom koja uvlači zrak iz pluća u usta, zatim bukalnom kompresijom taj stari zrak biva izdahnut, da bi ponovnom bukalnom ekspanzijom svježi zrak bio potisnut u usta te kompresijom upuhnut u pluća.

Drugi mehanizam ventilacija zraka jest pomoću aspiracijske pumpe, koju koriste gmazovi, sisavci i ptice. Taj mehanizam, za razliku od dualne ili bukalne pumpe, ne potiskuje zrak protiv otpora priljubljenog tkiva, već zrak biva usisan, tj. aspiriran zbog niskog tlaka stvorenog oko plućnih krila. Aspiracijsku pumpu čine prsni koš s dišnim mišićjem, među kojim ošit ima najvažniju ulogu. Prema smjeru strujanja zraka, aspiracijska pumpa je dvosmjerna i zrak plimno struji.



Slika 11. **Mehanizam aspiracijske pumpe i shema uključenih mišića.** Izvor: Wikimedia Commons contributors, "File:Muscles involved in forceful breathing in and out.jpg," Wikimedia Commons, the free media repository, Dostupno na: [https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Muscles\\_involved\\_in\\_forceful\\_breathing\\_in\\_and\\_out.jpg&oldid=438967357](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Muscles_involved_in_forceful_breathing_in_and_out.jpg&oldid=438967357) (pristupljeno 13. svibnja 2022).

Kretanje medija preko respiratorne površine, pored mišićnih mehanizama, može biti omogućeno i trepetljikama ili cilijama. Cilijarni mehanizmi koriste se za pokretanje vode preko respiratornih površina i nisu učinkoviti u dodiru s rjeđim medijem kao što je zrak. Pored toga, oni su površinske, nerazgranate strukture i omogućuju manju površinu izmjeni kisika i ugljikova dioksida. Kako veličina životinje raste, masa se povećava više u odnosu na površinu, stoga su trepetljike kao ventilacijski mehanizam pogodne jedino u manjih organizama koji obitavaju u vodi. Većim organizmima, pa tako i ljudima, trepetljike služe čišćenju dišnog puta usklađenim i ritmičnim njihanjima u smjeru grkljana (2).

## 6. USPOREDBA DIŠNIH SUSTAVA ČOVJEKA I OSTALIH KRALJEŽNJAKA

Povijest evolucije jedne žive vrste ili skupine naziva se filogeneza (18). Proučavanjem filogeneze dolazimo do zaključaka o povezanosti različitih skupina organizama, o njihovom podrijetlu i kontinuitetu vrsta, a te spoznaje stječemo direktno proučavanjem fosilnih ostataka izumrlih životinja i indirektno kroz podatke iz usporedbene anatomije i ostalih znanstvenih grana (19). U nastavku ću pokušati usporediti dišne sustave riba, vodozemaca, gmazova i ptica s dišnim sustavom sisavaca, odnosno ljudi.

### 6.1. Dišni sustav riba i čovjeka

Budući da se ribe i ljudi nalaze u različitim medijima, od kojeg je voda kisikom mnogo siromašnija, i koriste različite mehanizme ventilacije vode odnosno zraka (2), uz iznimku nekih riba kao što su dvodihalice na primjer (20,21), nije lako uspoređivati ta dva dišna sustava. Izlaz iz vode na kopno u kralježnjaka je uvjetovao prelazak s organa za disanje u vodi, škrge, u organ za disanje na zraku, pluća. Mehanizam ventilacije se također promijenio iz dualne pumpe u aspiracijsku.

Na 15 °C voda sadrži trideset puta manje kisika nego zrak pri istoj temperaturi. Pored toga, ona je i značajnije veće gustoće od zraka, tako da bi dvosmjerna ventilacija bila metabolički vrlo iscrpljujući mehanizam. Jednosmjerna ventilacija gustog medija s malo otopljenog kisika poboljšana je visokim protokom kroz škrge. Kontinuirani mehanizam dvojnog pumpe također pridonosi stalnoj zasićenosti respiratorne površine kisikom iz vode. Posljedica

tih prilagodbi je preuzimanje 80 % do 90 % kisika u škrgama, u odnosu na četiri puta slabiju ekstrakciju, u prosjeku 25 %, u plućima sisavaca.

Ribe i ljudi dijele sličnost cirkulacijskog sustava koji ne miješa arterijsku i vensku krv. Razlika je u riba u tome što oksigenirana krv odlazi izravno iz venskog srca kroz škrge u sustavni krvotok, ne vraćajući se u srce kao u ljudi (2).

## 6.2. Dišni sustav vodozemaca i čovjeka

U danas živućih vodozemaca, koža je glavni respiratorni organ. Vlažnost i tanki keratinski pokrovni sloj, te bogati splet kapilara ispod kože značajno olakšavaju difuziju, odnosno disanje. Poput ostalih sisavaca, ljudima je kožna respiracija zanemariva iz gledišta izmjene plinova, zbog mnogoslojnog epitela koji služi zadržavanju tekućine u organizmu kako bi se što bolje održavala homeostaza.

Većina vodozemaca posjeduje pluća za disanje zraka. Prilagodba povećanja respiratorne površine je uglavnom najbolje razvijena u prednjem dijelu pluća, a opada prema straga. Septirana površina dijeli unutarnji zid pluća u odjeljke, faveole. Faveole, kao pokušaj povećanja respiratorne površine, mogu se samo djelomično usporediti s alveolama. One se međusobno razlikuju prema smještaju (ponajviše na početku pluća) te se otvaraju u središnju komoru unutar svakog plućnog krila, za razliku od alveola koje su terminalni ogranci i prema kojima vode složeno podijeljene cjevčice bronhi i bronhioli. Faveole su zapravo zatoni omeđeni septama, dok su alveole okruglaste vrećice na krajevima dišnih puteva. Usisani zrak

u vodozemaca prolaskom kroz dušnik dopijeva u središnji prostor pluća iz koje zatim difundira u okolne faveole.

Mehanizam disanja u vodozemaca, pomoću bukalne pumpe u dva ili četiri čina, sličan je aspiracijskom mehanizmu u sisavaca, jer se u oba mehanizma zrak dvosmjerno kreće. Zbog spomenute manje segmentiranosti, te posljedično manje respiratorne površine, iskorištavanje udahnutog kisika iz zraka je manje učinkovito.

I vodozemci i ljudi dišu plućima, no mehanizam kojim dišu se razlikuje. U vodozemaca je to bukalna pumpa u dva ili četiri čina, dok se ljudi koriste aspiracijskom pumpom. Cirkulacijski sustav vodozemaca manjeg je stupnja složenosti, s jednim ventrikulom u kojemu se miješa oksigenirana i deoksigenirana krv. Miješana krv djelomično se preusmjerava tako da venska krv odlazi plućnom arterijom, dok arterijska krv dalje nastavlja aortom. Kao što je i spomenuto, pokrovni sustav u čovjeka nema ulogu sekundarnog dišnog organa kao što je to u vodozemaca (2).

### 6.3. Dišni sustav gmazova i čovjeka

Zmije i većina guštera imaju jedno plućno krilo, za razliku od dvaju kod ljudi. Faveole u njihovim plućima obavijene su trakama glatkih mišića i kapilarnim spletovima koji mogu biti potpodijeljeni još manjim unutarnjim pregradama. Idući prema distalno, faveole su manje prisutne u plućima gmazova za razliku od već spomenutih terminalnih struktura alveola.

Mehanizam ventilacije je jednak, koriste se aspiracijskom pumpom, no anatomske dijelovi koji sudjeluju u ventilaciji mogu biti različiti. Međurebreni mišići, glavni mišići

disanja u gmazova, kontrakcijom povlače prsni koš gmazova ventralno i naprijed, povećavajući time volumen prsišta. Dijafragma je u ljudi glavni inspiratorni mišić i služi razgraničenju organa prsnog koša i trbušne šupljine. U kajmana i drugih krokodila dijafragma nije u potpunosti razvijena već ju zamjenjuje mišić, *m. diaphragmaticus*. Jetra se u tih gmazova nalazi između dijafragmalnog mišića i pluća. Tako uz širenje prsnog koša prema naprijed primarnom muskulaturom, mišić, *m. diaphragmaticus* preko jetre posredno povlači pluća posteriorno i dodatno povećava volumen prsnog koša. Povećavanjem volumena stvara se razlika tlakova unutar pluća i atmosfere te zrak ulazi i ventilira pluća.

Gmazovi se, poput ljudi, također koriste plućima i aspiracijskom pumpom za disanje. Razlika je u broju plućnih krila kod guštera i zmija u usporedbi s čovjekom ili smještaju dijafragmalnog mišića kod krokodila i kajmana. Također je bitno spomenuti da se jetra nalazi u toraksu i sudjeluje u širenju prsnog koša, dok je jetra u ljudi u potpunosti smještena unutar trbušne šupljine. U cirkulacijskom sustavu dolazi do postupnog smanjenja miješanja krvi zbog smještaja žilnih ušća i postojanja zalistaka, te Panizzinog otvora u krokodila (2).

#### 6.4. Dišni sustav ptica i čovjeka

Poput sisavaca, ptice se služe parnim plućima koja su ventilirana mehanizmom aspiracijske pumpe. Osim ovoga, vrlo je malo sličnosti, a s gledišta osiguravanja kisika organizmu i rješavanja ugljikova dioksida, dišni sustav im je učinkovitiji od ljudskog.

Ptice ne posjeduju terminalne vrećaste strukture poput alveola, nego se provodne cijevi uzastopno granaju u niz manjih koje se nazivaju parabronhi. To su cjevčice kroz koje



pluća bivaju ventilirana u dva smjera. Mali zračni zatoni otvaraju se sa zidova svakog parabronha i u njima se zatim odvija izmjena plinova s krvi.

Dušnik se u ptica dijeli na dva primarna bronha, koji ne ulaze u pluća već se šire posteriorno prema stražnjim zračnim mjehurima. Na tom putu daju brojne ogranke preko sekundarnih bronha sve do spomenutih parabronha u kojima zrak difundira u slijepo zračne zatone gdje se odvija izmjena plinova na granici zatona i krvnih kapilara.

Ptice posjeduju i zračne vrećice. Zračne vrećice smještene su među utrobnim organima i šire se do središta nekih velikih kostiju, ponajviše u krilima. Zračne vrećice ne služe pticama kako bi ih olakšali, kao što ribama služe plinski mjehuri, jer su ispunjeni istim zrakom koji se nalazi u okolini pa nema razlike u gustoći koja bi povećavala uzgon. Njima se ptice služe kao mijehovima za postizanje gotovo kontinuirane ventilacije.

Kontinuirana ventilacija pticama omogućuje gotovo stalnu zasićenost respiratorne površine svježim zrakom s kisikom. Mehanizmom kontinuirane ventilacije, udah u ptica prolazi vrećicama i plućima u dva puna ciklusa. Za vrijeme prvog udaha, manji dio zraka iz dušnika odlazi u pluća, a veći dio zraka odlazi u stražnje zračne vrećice. U prvom izdahu zrak iz stražnjih vrećica sada prolazi kroz pluća i nadomješta stari zrak. U drugom udahu usmjeravanje zraka je obratno nego u prvom udahu: manji dio puni stražnji zračni mjehur, dok veći dio zraka odlazi u pluća i potiskuje stari zrak iz pluća (koji je iz prethodnog ciklusa dospio iz stražnjeg zračnog mjehura) u prednji zračni mjehur. S drugim izdahom zrak iz prednjih mjehura odlazi kroz dušnik zajedno sa zrakom iz pluća, koje opet biva nadomješteno onim iz stražnjeg zračnog mjehura. Dakle, ovaj mehanizam stvara gotovo kontinuirani, dvosmjerni protok zraka bogatog kisikom, koji u ljudskim plućima nije moguć, zato što respiratorna površina završava slijepo.

Ptice i ljudi dišu plućima aspiracijskim mehanizmom. Prva razlika između ptičjih i ljudskih pluća vidljiva je u njihovoj građi, koja uvjetuje i razlike u funkciji. Ptičja pluća se dijele do cjevčica koje se nazivaju parabronhi, a ljudska pluća završavaju vrećastim tvorbama – alveolama. Razlika u njihovoj respiraciji vidljiva je u kontinuiranom strujanju zraka na respiratornoj površini u ptica, u usporedbi s plimnim disanjem u ljudi. Sustavna cirkulacija ptica u potpunosti je odvojena od plućne, kao i u ljudi. Upravo je mehanizam kontinuirane ventilacije respiratorne površine zaslužan za iznimnu prilagodbu ptica na zahtjeve ubrzanog i povećanog metabolizma (zbog energetske potrebe za let) jer omogućuje stalnu zasićenost respiratorne površine kisikom (2).

## 7. ZAHVALE

Prvenstveno se zahvaljujem mentoru i profesoru, prof. dr. sc. Dubravku Jalšovcu, koji mi je otvorio nove vidike u anatomiji, medicini, ali i životu, usadio vrline razmišljanja i sumnjičavosti te inspirirao ka daljnjem traganju za znanjem i istinom.

Zahvalio bih se roditeljima na prvim doticajima s medicinom, kao i ostalim članovima familije koji su mi s ljubavlju pomagali i omogućili da postanem liječnik.

Naposlijetku bih se zahvalio dragim prijateljima i – sebi, na upornosti koja je bila potrebna kako bih upisao i završio snivani studij medicine.

## 8. LITERATURA

1. Atkins P. Galileo's finger: The The Great Ideas of Science 1. izd. New York: Oxford University Press Inc.; 2003.
2. Kardong K.V. Vertebrates: Comparative Anatomy, Function, Evolution. 6. izd. New York: McGraw-Hill; 2012.
3. Encyclopedia Britannica [Internet]. Edinburgh (UK): Parenti, Lynne R. and Weitzman, Stanley H. "fish"; [ažurirano 22. 11. 2011.; pristupljeno 10. 5. 2022]. Dostupno na: <https://www.britannica.com/animal/fish>.
4. Encyclopedia Britannica [Internet]. Edinburgh (UK): Britannica, The Editors of Encyclopaedia. "gill"; [ažurirano 21.10. 2011.; pristupljeno 10. 5. 2022]. Dostupno na: <https://www.britannica.com/science/gill-respiratory-system>.
5. Encyclopedia Britannica [Internet]. Edinburgh (UK): Burggren, Warren W. , White, Fred N. , Klocke, Robert A. , Weibel, Ewald R. and Fishman, Alfred P. "respiratory system"; [ažurirano 8. 8. 2019.; pristupljeno 10. 5. 2022]. Dostupno na: <https://www.britannica.com/science/respiratory-system>.

6. Encyclopedia Britannica [Internet]. Edinburgh (UK): Matthews, Bernard Edward , Rogers, M. Elizabeth and Oliver, Michael Francis. "circulatory system"; [ažurirano 16. 11. 2020.; pristupljeno 10. 5. 2022]. Dostupno na: <https://www.britannica.com/science/circulatory-system>.
7. Encyclopedia Britannica [Internet]. Edinburgh (UK): Duellman, William E. and Zug, George R.. "amphibian"; [ažurirano 4. 2. 2020.; pristupljeno 11. 5. 2022]. Dostupno na: <https://www.britannica.com/animal/amphibian>.
8. Encyclopedia Britannica [Internet]. Edinburgh (UK): Zug, George R. and Dowling, Herndon G.. "reptile"; [ažurirano 26. 4. 2022.; pristupljeno 12. 5. 2022]. Dostupno na: <https://www.britannica.com/animal/reptile>.
9. Encyclopedia Britannica [Internet]. Edinburgh (UK): Rand, Austin L. , Gill, Frank and Storer, Robert W.. "bird"; [ažurirano 28. 3. 2022.; pristupljeno 12. 5. 2022]. Dostupno na: <https://www.britannica.com/animal/bird-animal>.
10. Encyclopedia Britannica [Internet]. Edinburgh (UK): Armstrong, David M. , Wilson, Don E. and Jones, J. Knox. "mammal"; [ažurirano 1. 4. 2022.; pristupljeno 13. 5. 2022]. Dostupno na: <https://www.britannica.com/animal/mammal>.
11. Jalšovec D. Anatomia humana. 1. izd., Jastrebarsko: Naklada slap; 2018.

12. Jacobs, M.H. Diffusion Processes. U: Jacobs, M.H, ur. Diffusion Processes. Berlin, Heidelberg: Springer; 1935. Str. 1-145. Dostupno na: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-86414-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-86414-8_1)
13. Graboski R, Grazziotin FG, Mott T, Rodrigues MT. The phylogenetic position of Ridley's worm lizard reveals the complex biogeographic history of New World insular amphisbaenids. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 2022; 107518, ISSN 1055-7903, Dostupno na :<https://doi.org/10.1016/j.ympev.2022.107518>.
14. Breitburg D, i sur. Declining oxygen in the global ocean and coastal waters. *Science*. 2018; 359.6371
15. McEntire KD. Arboreal Ecology of Plethodontidae: A Review. *Copeia*. 2016; 104 (1): 124–131. Dostupno na: <https://doi.org/10.1643/OT-14-214>
16. Brauner CJ, Ballantyne CL, Randall DJ, and Val AL. Air breathing in the armoured catfish (*Hoplosternum littorale*) as an adaptation to hypoxic, acidic, and hydrogen sulphide rich waters. *Canadian Journal of Zoology*. 1995;73(4):739-744. Dostupno na: <https://doi.org/10.1139/z95-086>
17. Encyclopedia Britannica [Internet]. Edinburgh (UK): Britannica, The Editors of Encyclopaedia. "breathing"; [ažurirano 10. 8. 2018.; pristupljeno 14. 5. 2022]. Dostupno na: <https://www.britannica.com/science/breathing>.

18. Encyclopedia Britannica [Internet]. Edinburgh (UK): Gittleman, John L.. "phylogeny"; [ažurirano 13. 9. 2016.; pristupljeno 16. 5. 2022]. Dostupno na: <https://www.britannica.com/science/phylogeny>.
19. Filogeneza. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. Pristupljeno 16. svibnja 2022. Dostupno na: <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=19611>
20. Joss MPJ. Lungfish evolution and development. General and Comparative Endocrinology. 2006; ISSN 0016-6480, Dostupno na: <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2005.10.010>.
21. Burggren WW, Johansen K. Circulation and respiration in lungfishes (dipnoi). J. Morphol. 1986; Dostupno na: <https://doi.org/10.1002/jmor.1051900415>

## 9. ŽIVOTOPIS

Rođen sam u Rijeci 16. listopada 1997. godine. U Opatiji sam završio osnovnu školu, a potom i gimnaziju u rodnome gradu. Tijekom školovanja sam se bavio vaterpolom.

Upisao sam Medicinski fakultet u Zagrebu 2016. godine, na kojemu sam bio demonstrator na Katedri za anatomiju i kliničku anatomiju. U akademskoj godini 2021./2022. na Sveučilišnom prvenstvu iz vaterpola osvojio sam brončano odličje i nagradu za najboljeg igrača.