

# Voljno zadržavanje daha i nagon za disanjem

---

Zec, Vijeko

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Medicine / Sveučilište u Rijeci, Medicinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:184:967339>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-10**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Medicine - FMRI Repository](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI

MEDICINSKI FAKULTET

SVEUČILIŠNI INTEGRIRANI PRIJEDIPLOMSKI I DIPLOMSKI

STUDIJ MEDICINA

Vijeko Zec

VOLJNO ZADRŽAVANJE DAHA I NAGON ZA DISANJEM

Diplomski rad

Rijeka, 2022/2023

SVEUČILIŠTE U RIJECI

MEDICINSKI FAKULTET

SVEUČILIŠNI INTEGRIRANI PRIJEDIPLOMSKI I DIPLOMSKI

STUDIJ MEDICINA

Vijeko Zec

VOLJNO ZADRŽAVANJE DAHA I NAGON ZA DISANJEM

Diplomski rad

Rijeka, 2022/2023

Mentor rada: doc.dr.sc. Igor Barković dr.med

Diplomski rad ocjenjen je dana \_\_\_\_\_ u /na \_\_\_\_\_

Pred povjerenstvom u sastavu:

1 .izv.prof.dr.sc.Alen Protić dr.med.

2. doc.dr.sc. Tomislav Jakljević dr.med.

3. izv.prof.dr.sc.Ivan Bubić dr.med.

Rad sadrži 28 stranicu, 2 slike



## Sadržaj

1. Uvod.....	6
2. Svrha rada.....	7
3. Anatomska i fiziološka pozadina disanja.....	8
3.1 Anatomija i fiziologija dišnog sustava.....	8
3.2 Moždano deblo: Uloga i mehanizmi regulacije u kontroli disanja.....	11
4. Efekti voljnog zadržavanja daha na organizam.....	17
5. Zaključak.....	20
6. Sažetak.....	21
7.Summary.....	22
8.Literatura.....	23
9.Životopis.....	28

## 1.Uvod

Voljno zadržavanje daha i nagon za disanjem imaju važnu ulogu u održavanju normalnog funkcioniranja dišnog sustava i općeg zdravlja organizma. Nekoliko je ključnih razloga zašto je važno razumjeti i istraživati ovu temu. Nagon za disanjem je prirodni mehanizam koji osigurava dovoljan unos kisika i izlučivanje ugljikovog dioksida iz tijela. Razumijevanje regulacije disanja pomaže nam da shvatimo kako tijelo automatski prilagođava svoj ritam disanja prema različitim uvjetima, poput fizičke aktivnosti, stresa ili promjena nadmorske visine. Tehnike voljnog zadržavanja daha mogu poboljšati kvalitetu disanja. Održavanje pravilnog ritma disanja, uključujući dijafragmalno disanje i kontrolu dubine daha, može pomoći u optimizaciji oksigenacije tkiva, povećanju plućne ventilacije i uklanjanju toksina iz tijela. To može imati pozitivan utjecaj na opće zdravlje i fizičke performanse. Voljno zadržavanje daha uključuje aktivaciju dišnih mišića, uključujući dijafragmu i interkostalne mišiće. Redovito vježbanje tih mišića može ih ojačati, poboljšati njihovu funkcionalnost i povećati kapacitet pluća. To može biti korisno kod stanja poput astme, ostalih kroničnih plućnih bolesti, kod rehabilitacije nakon operacija te kod profesionalnih natjecatelja u ronjenju na dah. Disanje je usko povezano s našim emocionalnim stanjem. Usporavanje disanja, produženo zadržavanje daha i pravilno disanje mogu imati smirujući učinak na živčani sustav, smanjiti anksioznost i pomoći u regulaciji odgovora na stres. Voljno zadržavanje daha i tehnike disanja mogu pomoći u poboljšanju kontrole i kvalitete disanja, smanjenju simptoma bolesti pluća i povećanju tolerancije na fizički napor.

## 2. Svrha rada

U ovom radu će se obrađivati voljno zadržavanje daha u okviru pulmologije i fiziologije kao i pregled znanja o ronjenju na dah. Rad će sadržavati opći prikaz fiziologije i mehanike disanja te obradu fizioloških procesa u organizmu u stanju anoksije i apneje. Također, rad će pružiti pregled trenutnog stanja istraživanja i znanja o voljnom zadržavanju daha i nagonu za disanjem. To uključuje pregled relevantne literature, istraživanja, teorija i saznanja o ovoj temi. Cilj je sažeti dostupne informacije o temi, kako bi se stvorio cjelovit pregled područja. Prepoznati će se područja koja su nedovoljno istražena ili u kojima su potrebna dodatna istraživanja. Ovaj pregledni rad može pomoći u razumijevanju fizioloških i psiholoških aspekata voljnog zadržavanja daha i nagona za disanjem. To uključuje pregled mehanizama regulacije disanja, utjecaja voljnog zadržavanja daha na tjelesne funkcije i zdravlje. Istaknuti će se primjena voljnog zadržavanja daha i tehnika disanja u različitim područjima. To može uključivati primjenu u medicini i terapiji, sportskoj izvedbi, smanjenju stresa i poboljšanju općeg blagostanja. Svrha je informirati zdravstvenu zajednicu i zainteresirane pojedince o važnosti i korisnosti ove teme.



### 3 Anatomska i fiziološka pozadina disanja

#### 3.1 Pregled anatomije i fiziologije dišnog sustava

Pluća su parenhimatozni organ smješten u torakalnoj šupljini i zauzimaju njen najveći dio. Zbog svoje osjetljive građe, izvana su zaštićena koštanim strukturama-rebrima. Pluća su nadalje podijeljena u pet režnjeva, dva na lijevoj i tri na desnoj strani. Režnjevi se dalje dijele u manje, režnjiće. Bronhi (ili dušnice) nastaju na donjem dijelu dušnika i dijele se na lijevi glavni bronh, koji vodi u lijevo plućno krilo, i desni glavni bronh, koji vodi u desno plućno krilo. Svaki glavni bronh ulazi u plućno krilo i dalje se grana u lobarne bronhe (bronhi 2. reda). Lijevi glavni bronh se dijeli u dva lobarna bronha, dok se desni glavni bronh dijeli u tri lobarna bronha, svaki za jedan režanj pluća. Svaki lobarni bronh se dijeli na segmentalne bronhe, koji se dalje granaju u bronhe 3. reda, a iz njih nastaju bronhiole (ili bronhioli), koje se nastavljaju u terminalne bronhiole. Bronhioli se razlikuju od bronha jer nemaju hrskavicu i žlijezde u svojim stijenkama. Nakon daljnjeg grananja bronhiola, dolazi se do duktalnih vodova (ductuli alveolares), čije se stijenke sastoje od alveola. Osnovna građevna jedinica pluća je acinus, u koji ulazi po jedan terminalni bronhiol, koji se dalje grana u manje segmente s alveolama. U alveolama se odvija izmjena plinova preko alveokapilarne membrane. Svaki plućni režnjić (lobulus) sastoji se od oko 15 acinusa. **(1)**  
**(2)**

Pluća su prekrivena ovojnicom koja se naziva pleura. Pleura se sastoji od dvaju slojeve - vanjskog sloja (parijetalna pleura ili porebrica) koji je pričvršćen na unutrašnjost prsnog koša, i unutarnjeg sloja (visceralna pleura ili poplućnica) koji prekriva plućna krila. Međusobno prljanje ovih slojeva i prisustvo pleuralne tekućine između njih omogućuju slobodno klizanje pluća tijekom

disanja. Pluća su donjim dijelom naslonjena na ošit – plosnatu, tanku, mišićno vezivnu pregradu koja se nalazi između prsne i trbušne šupljine.

Pluća održavaju homeostazu kisika i ugljikova dioksida u krvi. Fiziološka ventilacija i perfuzija alveolarnih prostora omogućava urednu oksigenaciju venske krvi i izlučivanje ugljikova dioksida.

**(3)**

Plućna arterija donosi vensku krv (krv sa niskim udjelom kisika) iz desnog ventrikula u plućni parenhim, gdje se događa razmjena plinova preko alveokapilarne membrane. Difuzijom, kisik iz zraka koji se nalazi u alveolarnim prostorima, preko alveokapilarne membrane prelazi u plućne kapilare dok se ugljikov dioksid otpušta iz krvi i izdiše iz pluća. Kisik se u kapilarama veže na hemoglobin u eritrocitima te se putem plućnih vena vraća natrag u srce.

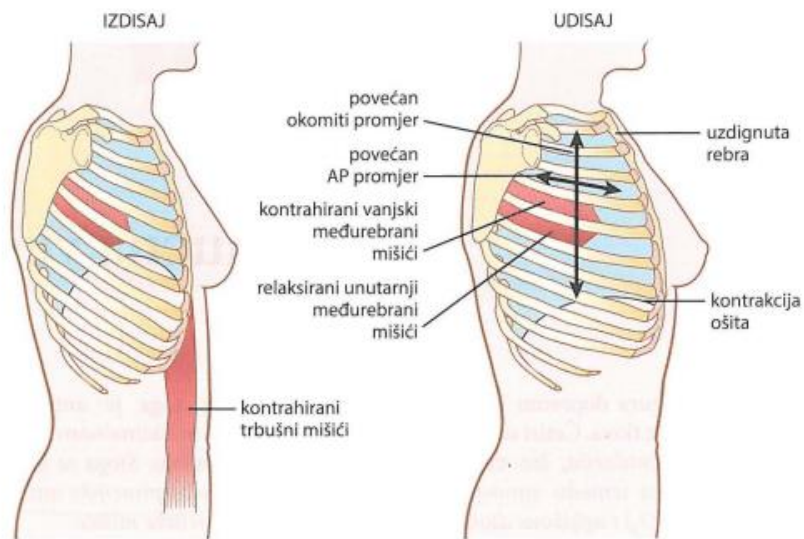
Respiracija se može podijeliti u četiri glavne funkcionalne cjeline 1) ventilacija pluća, što podrazumijeva strujanje zraka između atmosfere i plućnih alveola 2) difuzija kisika i ugljikovog dioksida između alveola i krvi 3) prijenos kisika i ugljikovog dioksida krvlju i tjelesnim tekućinama do stanica i od njih 4) kontrola ventilacije i ostali aspekti disanja. **(4)**.

Pluća imaju dva načina rastezanja i stezanja. Prvi način je pomoću ošita, odnosno dijafragme, koja se spušta i podiže, produžujući i skraćujući prsnu šupljinu. Drugi način je podizanje i spuštanje rebara, što povećava ili smanjuje anteroposteriorni promjer prsne šupljine. U mirnom disanju, većina kretanja pluća se postiže pomicanjem ošita. Prilikom udaha, kontrakcija ošita povlači donju površinu pluća prema dolje. Zatim, pri izdisaju, ošit se opušta, što uzrokuje elastično stezanje pluća, prsnog koša i trbušnih organa, čime se izbacuje zrak iz pluća.

No, kod pojačanog disanja, elastične sile nisu dovoljno snažne da bi osigurale potrebnu brzinu izdisaja. Stoga, dodatna sila se uglavnom ostvaruje kontrakcijom trbušnih mišića, koji potiskuju

abdominalne organe prema gore, prema ošitu, čime se vrši pritisak na pluća. Drugi način širenja pluća je podizanje rebranog koša. Kada se rebrani koš podigne, rebra se usmjere gotovo ravno prema naprijed, a prsna kost (sternum) se pomakne naprijed i odmakne od kralježnice. To rezultira povećanjem anteroposteriornog promjera prsnog koša tijekom maksimalnog udaha.

Stoga, mišići koji podižu prsni koš se nazivaju inspiracijski mišići, dok se mišići koji spuštaju prsni koš nazivaju ekspiracijski mišići. Vanjski međurebrani mišići su najvažniji mišići koji podižu prsni koš, uz pomoć sternokleidomastoidnih mišića, koji podižu prsnu kost, prednjeg mišića serratusa, koji podiže većinu rebara, i mišića scalenus, koji podižu prva dva rebra. Mišići koji pri izdisaju spuštaju prsni koš uglavnom su mišići rektusa abdominisa, koji snažno djeluju spuštajući donja rebra, zajedno s drugim mišićima trbušne šupljine koji guraju trbušni sadržaj prema dolje, prema ošitu, i unutarnji međurebrani mišići.



(5)

Ilustracija pokazuje kako funkcioniraju mišići unutarnjeg i vanjskog interkostalnog mišića tijekom udisaja i izdisaja. Na lijevoj strani slike, izdisaj je prikazan rebrima usmjerenim prema dolje i vanjskim interkostalnim mišićima koji se protežu naprijed i dolje. Vanjski interkostalni mišići podižu rebra i stvaraju udah kada su zategnuti jer pomiču gornja rebra prema naprijed u odnosu na donja rebra. Budući da se nalaze pod posebnim kutom između rebara, unutarnji interkostalni mišići, s druge strane, funkcioniraju kao ekspiratorni mišići.. (5)

### 3.2 Moždano deblo: Uloga i mehanizmi regulacije u kontroli disanja

Primarna funkcija disanja je opskrba kisikom organa u tijelu i uklanjanje ugljikovog dioksida iz njih. Opisano je kako središnji živčani sustav regulira neuronske aktivnosti kako bi se ova funkcija ispunila. Uloga mišića u stijenci prsnog koša i abdomenu u poticanju napuhavanja i ispuhivanja pluća odavno je prepoznata. Nedavno je utvrđeno da su aktivnosti mišića gornjih dišnih putova ključne za dopuštanje ovog punjenja i pražnjenja. Galen je prvi dokumentirao da mozak regulira disanje. U svojoj ulozi liječnika gladijatora, Galen je primijetio da je kod nekih gladijatora prestalo disanje nakon ozljeda vrata. Zatim je izveo pokuse na novorođenim svinjama i pokazao da je disanje prestalo nakon transekcije leđne moždine rostralno od ishodišta freničnih živaca, ali se nastavilo nakon kaudalne cervikalne transekcije. (6)

Svaki ciklus disanja počinje udahom i završava izdahom. Tokom udaha, dijafragma i vanjski interkostalni mišići se skupljaju, što dovodi do povećanja volumena prsne šupljine. To rezultira smanjenjem intrapleuralnog i alveolarnog tlaka, što uzrokuje razliku tlaka između intrapulmonalnog zraka i atmosfere. S druge strane, kada se dijafragma opusti, izdah se odvija pasivno do jedne granice, zahvaljujući elastičnosti pluća.

Respiratorni kontrolni sustav upravlja ovim ciklusima disanja i sastoji se od tri komponente: središnjeg neuralnog respiratornog generatora, senzornog ulaznog sustava i mišićnog efektorskog sustava. (7)

Brzina i snaga kojom se dijafragma kontrahira, a time i učestalost i volumen disanja, uvelike ovise o obrascu aktiviranja stanica pacemakera u moždanom deblu. S druge strane, senzorni ulazni sustav šalje signale mozgu da modulira respiratorne obrasce ovisno o metaboličkim zahtjevima. Zajedno, ovi procesi imaju za cilj optimizirati funkciju pluća za uzimanje kisika iz zraka i izbacivanje ugljikovog dioksida iz tijela (8)

Respiratorni centar sastoji se od tri različite neuronske skupine u mozgu: dorzalne respiratorne skupine u nucleus tractus solitarius, ventralne respiratorne skupine u meduli i pontine respiratorne skupine u ponsu. Potonji se dalje klasificira u pneumotaksički centar i apneustički centar.

Dorzalna respiratorna skupina uglavnom je inspiratorna, dok je ventralna medularna grupa prvenstveno ekspiratorna. Rostralna polovica ventralne medularne skupine dodatno sadrži neurone odgovorne za stvaranje ritma. Od posebnog je značaja Bötzingerov kompleks, čiji neuroni posjeduju receptore za neurokinin 1 (NK1), potencijalnu metu za mnoge farmakološke, fiziološke i anatomske studije. Pontinske skupine odgovorne su za modulaciju intenziteta i učestalosti medularnih signala s njihovim pneumotaksijskim skupinama koje ograničavaju udah, a njihovim centrima za apneustiku produžuju i potiču udisaj. Svaka od ovih skupina komunicira jedna s drugom u zajedničkom naporu da održe ritam disanja. (9) (10) (11)



Slika 42-1. Ustrojstvo dišnog centra.

)

(5)

Većina produžene moždine prekrivena je dorzalnom skupinom neurona za disanje, koja je neophodna za kontrolu disanja. Iako drugi neuroni u obližnjoj retikularnoj formaciji medule oblongate također igraju ključnu ulogu u respiratornoj kontroli, većina tih neurona nalazi se u jezgri solitarnog trakta. Osjetna živčana vlakna vagusa i glosofaringeusa, koja završavaju u jezgri solitarnog trakta, prenose osjetne signale od perifernih kemoreceptora, baroreceptora i nekoliko vrsta receptora u plućima do respiratornog centra. Osnovni ritam disanja uglavnom stvara dorzalna respiratorna skupina neurona. Ovaj skup neurona nastavlja slati rekurentne eksplozije inspiratornih živčanih akcijskih potencijala čak i nakon što je moždano deblo prerezano iznad i ispod medule oblongate i svi periferni živci koji ulaze u medulu oblongatu su uništeni. Temeljna etiologija ovog ponovljenog prijenosa još je nepoznata. Istraživači su otkrili neuronske mreže u nižim životinjama gdje aktivnost jedne skupine neurona pobuđuje drugu skupinu, koja zatim inhibira prvu skupinu.. Nakon određenoga vremena taj se mehanizam sam od sebe ponavlja i traje cijeloga života jedinke.

Većina respiratornih fiziologa smatra da osnovni ritam disanja kod ljudi kontrolira slična neuronska mreža u produljenoj moždini. Ova mreža vjerojatno uključuje ne samo neurone u dorzalnoj respiratornoj skupini, već i neurone u obližnjim regijama medule oblongate.

Nema brzog izbijanja akcijskih potencijala u živčanom signalu koji se šalje glavnim inspiratornim mišićima, koje uglavnom čine mišićna vlakna ošita. S druge strane, s normalnim disanjem, ono počinje slabo i postupno postaje sve jače tijekom otprilike dvije sekunde. Nakon tri sekunde naglo prestaje, prekidajući ekscitaciju ošita i dopuštajući elastično povratno stezanje stijenke prsnog koša i pluća, što dovodi do izdaha. Inspiracijski signal se tada ponovno pokreće kako bi započeo sljedeći ciklus. Izdisaji se odvijaju između inspiracijskih signala jer se ovaj ciklus kontinuirano ponavlja. Kao rezultat toga, inspiracijski signal raste. Takav signal ima očitu korist jer uzrokuje stalni porast volumena pluća tijekom udisaja za razliku od inspiratornog šuma. Postoje dvije metode za upravljanje rastućim i inspiracijskim signalom.: 1. Kontroliranje sve veće brzine pojačanja signala kako bi se brzo pojačao tijekom napornog disanja i brzo napunio pluća; 2. Kontroliranje točke u kojoj signal naglo prestaje, što je česta tehnika za regulaciju brzine disanja. Stoga udisaj traje kraće što prije prestane rastući signal. Time se također skraćuje vrijeme izdisaja, što povećava učestalost disanja.

Ventralna skupina neurona se razlikuje od dorzalne respiracijske skupine po nekoliko važnih karakteristika. Prvo, neuroni ventralne skupine ostaju gotovo u potpunosti neaktivni tijekom normalnog mirnog disanja. Drugo, čini se da ovi neuroni ne sudjeluju u osnovnim ritmičkim oscilacijama koje kontroliraju disanje. Treće, kada respiracijski poriv za povećanom plućnom ventilacijom prelazi normalne razine, respiracijski signali se prenose iz dorzalnog respiracijskog područja u ventralne respiracijske neurone. Kao rezultat toga, ventralno respiracijsko područje također doprinosi dodatnom porivu za disanjem. Četvrto, stimulacijom manjeg broja neurona

ventralne skupine može se izazvati udah, dok se stimulacijom drugih neurona izaziva izdah. Stoga ovi neuroni doprinose i udisanju i izdisanju. Posebno su važni za generiranje snažnih ekspiracijskih signala u mišićima trbušnog zida tijekom dubokog izdaha. Stoga ovo područje djeluje kao mehanizam za pojačavanje poriva kada je potrebna povećana plućna ventilacija, posebno tijekom intenzivne mišićne aktivnosti.

Povećana količina CO<sub>2</sub> i H<sup>+</sup> iona u krvi izravno utječe na centralne kemoreceptore koji se nalaze u ventralnom dijelu produžene moždine, što dovodi do pojačanog ventilacijskog odgovora. **(12)** Nagla promjena koncentracije CO<sub>2</sub> ima akutni utjecaj na centralnu regulaciju disanja, dok kronični utjecaj nije značajan zbog prilagodbe tijela. Za razliku od toga, kisik (O<sub>2</sub>) nema snažan izravan učinak na centralnu regulaciju disanja, već djeluje na periferne kemoreceptore koji se nalaze u karotidnim i aortalnim tjelešcima, a ti receptori šalju informacije dišnom centru. Međutim, jedan od rezultata aktivacije centralnih i perifernih kemoreceptora jest suženje krvnih žila u periferiji, što je posljedica povećane aktivnosti simpatičkog živčanog sustava **(14) (15)**

Vrlo je teško točno odrediti funkcioniranje autonomnog živčanog sustava kod ljudi. Do sada najpopularnije tehnike uključivale su praćenje aktivnosti više organa, poput otkucaja srca, protoka krvi, arterijskog krvnog tlaka i proizvodnje znoja, a na temelju tih neizravnih pokazatelja dolazilo se do zaključaka o radu autonomnog živčanog sustava. Jedina tehnika koja trenutno može izravno kvantificirati ljudsku adrenergičku aktivnost je mikroneurografija. **(16) (17) (18) (19)**

Glavni dišni mišići su pod voljnom i nevoljnom (automatskom) kontrolom. Ova dva kontrolna sustava dolaze iz različitih mjesta u CNS-u i imaju zasebne silazne putove; konačna integracija ovih izlaza događa se na segmentalnim razinama leđne moždine. Voljna kontrola proizlazi iz motoričkog i premotornog korteksa i spušta se u leđnoj moždini u kortikospinalnom traktu.



Nehotična kontrola je posredovana i ritmičkim i neritmičkim sustavima koji se nalaze u moždanom deblu. Nedavna istraživanja povezuju klasične respiratorne centre sa specifičnim jezgrama u moždanom deblu. Pneumotaksički centar nalazi se u nucleus parabrachialis, a medularni respiratorni centri smješteni su u blizini nucleusa solitarnog trakta (dorzalna respiratorna skupina) te nuclei ambiguus i retroambigualis (ventralna respiratorna skupina). Većina aksona iz medularnih jezgri prelazi u medulu i spušta se u ventralnim i lateralnim stupovima do segmentalnih razina. Pokazalo se da su klasični medularni respiratorni centri koje je opisao Pitts mjesto nastanka tonički aktiviranih dugih retikulospinalnih aksona koji se spuštaju u ventralnom i lateralnom stupcu. Smatra se da ovaj sustav osigurava neritmičko nevoljno pomicanje membranskog potencijala respiratornih motoneurona u moždini. Mjesto nastanka eupničkog disanja i mehanizam stvaranja ritma ostaju nepoznati. Međutim, novije studije pokazuju da se recipročna inhibicija između populacija inspiratornih i ekspiratornih stanica (model bistabilnog oscilatora) ne događa u meduli; umjesto toga sugerira se da inhibicijska faza inspiracijskih stanica stvara inspiracijski ritam, a periodična inhibicija tonički aktivnih ekspiratornih neurona rezultira respiratornim ritmopredloženo je da se inhibicijska faza događa u dorzalnoj respiratornoj skupini, koja je također mjesto integracije respiratornih aferenata. Glavno mjesto integracije voljnih i nevoljnih kontrolnih sustava je leđna moždina gdje se izlaz respiratornog motoneurona određuje silaznim informacijama iz tih sustava, kao i intrasegmentalnim i intersegmentalnim refleksima. Razdvajanje dobrovoljnog i nevoljnog sustava kontrole također se događa kod čovjeka i diskretne lezije mogu prekinuti jedan sustav bez značajne promjene drugog. (20)

#### 4. Efekti voljnog zadržavanja daha na organizam

Moćan nevoljni mehanizam autonomnom živčanog sustava obično nadjačava voljno zadržavanje daha i uzrokuje dah koji definira prijelomnu točku. Pojavu daha koji definira prijelomnu točku odgađa hiperoksija i hipokapnija te povećana brzina metabolizma. **(21)** Ljudski odgovor na zadržavanje daha sastoji se od različitih srčanih, vaskularnih i respiratornih refleksa, a istaknuto je smanjenje broja otkucaja srca, te kod zaranjanja lica, ronilačka bradikardija. Drugi uključuju smanjenje u minutnom volumenu srca, perifernu vazokonstrikciju i povećan srednji arterijski tlak. **(22)** Kod morskih sisavaca odgovor na ronjenje (ronilačka bradikardija) je jak učinak očuvanja kisika koji omogućuje životinji da ostane potopljena dosta vremena. Učinak očuvanja kisika, pod mirovanjem i stabilnim uvjetima vježbanja, otkriven je i kod ljudi, iako manje izražen nego kod morskih sisavaca. Ostaje neizvjesno da li apneje započete istodobno s vježbanje također pokazuju učinak očuvanja O<sub>2</sub>. **(23) (24)** Studija potvrđuje i proširuje prethodna zapažanja jasno vidljivog odgovora na ronjenje koji dovodi do smanjenja srčane frekvencije tijekom ronjenja na dah kod ljudi **(25)** Slijed uranjanja zapravo je izazvao značajno smanjenje minutnog volumena srca (zbog smanjenja srčane kontraktilnosti i udarnog volumena) i dijastoličkog i sistoličkog volumena lijeve klijetke. Takav hemodinamski obrazac je u skladu sa smanjenjem predopterećenja (budući da bi i povećano naknadno opterećenje i/ili smanjena kontraktilnost miokarda implicirali povećane volumene lijeve klijetke). Dizajn studije imao je za cilj razlikovati moguće determinante ronilačkog kardiovaskularnog odgovora, budući da ronjenje na dah izlaže organizam nizu podražaja (uronjenost tijela, zadržavanje daha, izazivanje refleksa ronjenja, učinci pritiska okoline), koji se međusobno preklapaju. Najznačajnije srčane promjene primijećene su tijekom ronjenja na dubini, dok je površinsko uranjanje (bez obzira na glavu unutra ili van, disanje ili zadržavanje daha) imalo, u seriji provedenih istraživanja, trivijalne

učinke na srčanu funkciju. Progresivno izazivanje ronilačkog refleksa (od izvlačenja glave do ronjenja na dubini) može imati oslabljene kardiovaskularne promjene u svakom koraku.

Bradikardija izazvana ronjenjem i periferna vazokonstrikcija izraženije su u hladnoj vodi

**(26)(27) (28)**

Zadržavanje daha izaziva progresivno povećanje lijevog ventrikula i na zraku i kod uronjenju cijelog tijela, povezano sa smanjenom ejekcijskom frakcijom lijevog ventrikula i progresivnom smetnjom dijastoličkom punjenju. Za slično trajanje apneje, saturacija kisikom se manje smanjila tijekom uronjenog zadržavanja daha, što ukazuje na učinak ronjenja koji štedi kisik, što sugerira da prekid apneje nije izazvan pragom kritične vrijednosti desaturacije kisika u krvi.**(29)**

U provedenoj studiji je ispitano kako percepcija vremena, psihološki faktor, utječe na fiziološki odgovor na produljeno te dobrovoljno zadržavanje daha. Sudionici su zadržali dah dok su gledali iskrivljeni mjerač vremena zbog kojeg se činilo kao da se vrijeme kretalo 40% brže ili sporije od stvarnog vremena. Studija je pratila ukupno trajanje zadržavanja daha pod različitim uvjetima manipulacije vremenom kao i početak nevoljnih pokreta disanja. Ova fiziološka prijelomna točka označava završetak faze "lakog kretanja" apneje i početak faze "borbe". Na temelju saznanja u prethodnom radu koji pokazuje da psihološki čimbenici, poput pažnje i motivacije, mogu utjecati na duljinu faze borbe, pretpostavljeno je da bi manipuliranje percepcija vremena moglo utjecati na ukupno trajanje zadržavanja daha promjenom trajanje faze borbe, ali ne i faze opuštenosti. Pokazano je da se percepcijom vremena može uspješno manipulirati korištenjem iskrivljenog mjerača vremena, i ukupno trajanje zadržavanja daha produljiti. Ovi rezultati pokazuju da nesvjesni psihološki čimbenici i kognitivni procesi mogu značajno utjecati na temeljne fiziološke procese **(30)**

Ljudski odgovor na ronjenje vrlo je varijabilan i može se mijenjati fiziološkim kao i emocionalnim čimbenicima. Elitni ronionci na dah razvili su određene prilagodbe ponavljanom treningu apneje, kao što je veća tolerancija na hipoksiju i hiperkapniju, te izraženiji odgovor na ronjenje. Za neke čimbenike kao što je smanjena kemoosjetljivost na hiperkapniju raspravlja se o mogućoj genetskoj predispoziciji dok trening apneje može modificirati ove ili druge fiziološke i psihofizičke čimbenike. **(31)** Obučeni ronionci na dah postižu prosječno vrijeme zadržavanja daha od 5 minuta u uvjetima mirovanja. **(32)** U teoriji im to omogućuje da dosegnu velike dubine uz potpomognuto spuštanje pomoću balasta i izranjanje uz pomoć jastuka za dizanje. Zapravo, ukupno vrijeme ronjenja za dokumentirane urone sa svjetskim rekordom bilo je manje od 5 minuta. Maksimalno moguće vrijeme zadržavanja daha ne određuje maksimalnu dubinu ronjenja, ali fiziološki čimbenici kao što su veličina pluća, srčana kondicija, redistribucija krvi, ekonomizacija ronilačkih pokreta, tehnike izjednačavanja, mentalna snaga i drugi čimbenici utječu na rizik od ozbiljne hipoksemije nakon izrona te stoga utječu na najveću dubinu ronjenja. **(31)** Ispitivanje plućne funkcije elitnih ronilaca na dah očekivano je pokazalo veći vitalni kapacitet od predviđenog iz jednadžbi izvedenih iz populacije **(33)(34)(35)**

## 5. Zaključak

Tehnike dobrovoljne kontrole daha, kao što su zadržavanje daha i namjerne promjene u obrascima disanja, mogu se koristiti za svjesnu regulaciju i manipuliranje dahom. Vježbanje tehnika dobrovoljne kontrole daha može imati blagotvorne učinke na kronične plućne bolesti, anksioznost, kapacitet pluća, učinkovitost disanja i oksigenaciju tjelesnih tkiva. Potreba za disanjem, prvenstveno vođena tjelesnom potrebom za regulacijom razine ugljikovog dioksida, proces je diktiran autonomnim živčanim sustavom koji osigurava respiratornu homeostazu. Tehnike dobrovoljne kontrole daha omogućuju pojedincima da privremeno nadjačaju nagon za disanjem i svjesno moduliraju svoje obrasce disanja.

Velika je uloga nesvjesnih psiholoških čimbenika i kognitivnih procesa na temeljne fiziološke procese. Ljudski odgovor na ronjenje na dah je varijabilan, obučeni ronionci razvijaju razne prilagodbe. Ove prilagodbe mogu modificirati fiziološke i psihofizičke čimbenike, što može utjecati na maksimalnu dubinu ronjenja i rizik od hipoksemije.

Važno je napomenuti da se ovi zaključci temelje na općem razumijevanju dobrovoljne kontrole disanja i nagona za disanjem te već provedenim istraživanjima. Daljnja istraživanja i konzultacije sa stručnjacima na tom području mogu pružiti sveobuhvatnije uvide.

## 6. Sažetak

Voljna kontrola daha odnosi se na namjernu manipulaciju i regulaciju vlastitog obrasca disanja. Uključuje svjesno i voljno mijenjanje brzine, dubine i ritma udisaja. Vježbanje tehnika dobrovoljne kontrole daha može imati različite fiziološke i psihološke učinke. Utvrđeno je da potiče opuštanje, ima blagotvoran učinak na kronične plućne bolesti i učinkovitost samoga disanja. Voljnom kontrolom disanja, pojedinci također mogu iskusiti poboljšanu respiratornu učinkovitost i povećanu oksigenaciju tjelesnih tkiva. Nagon za disanjem, prirodni je instinkt tijela da započne i održi disanje. Njime upravljaju složeni fiziološki mehanizmi koji prate razine ugljikovog dioksida (CO<sub>2</sub>) i kisika (O<sub>2</sub>) u krvi. Primarni pokretač nagona za disanjem je nakupljanje ugljikovog dioksida u krvotoku. Kada razina CO<sub>2</sub> poraste, kemoreceptori u mozgu otkrivaju te promjene i stimuliraju respiratorne mišiće da povećaju brzinu i dubinu disanja. Ovaj proces osigurava uklanjanje viška CO<sub>2</sub> i nadopunjavanje kisika u tijelu. Potreba za disanjem obično je nehotična, djeluje autonomno kako bi održala respiratornu homeostazu tijela. Međutim, tehnike dobrovoljne kontrole daha omogućuju pojedincima da trenutno nadjačaju ovaj nagon i svjesno moduliraju svoj obrazac disanja. Vježbanjem zadržavanja daha ili obustave daha, pojedinci mogu privremeno potisnuti respiratorni nagon, istražujući svoje sposobnosti zadržavanja daha i potencijalno postižu specifične fiziološke ili psihološke učinke. Važno je napomenuti da dobrovoljnoj kontroli daha treba pristupiti s oprezom, a pojedinci trebaju biti svjesni svojih ograničenja i konzultirati se sa zdravstvenim radnicima ili iskusnim instruktorima kada se bave vježbama koje uključuju produljeno zadržavanje daha ili značajne promjene u obrascima disanja. Zaključno, voljno zadržavanje daha i nagon za disanjem međusobno su povezani aspekti dišnog sustava.

## 7. Summary

Voluntary breath control refers to the intentional manipulation and regulation of one's own breathing pattern. It involves consciously and voluntarily changing the speed, depth, and rhythm of breathing. Practicing voluntary breath control techniques can have different physiological and psychological effects. It has been found to promote relaxation, have a beneficial effect on chronic lung diseases and the efficiency of breathing itself. By voluntarily controlling breathing, individuals can also experience improved respiratory efficiency and increased oxygenation of body tissues. The drive to breathe is the body's instinct to start and maintain breathing. It is controlled by complex physiological mechanisms that monitor the levels of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and oxygen (O<sub>2</sub>) in the blood. The primary driver of the drive to breathe is the accumulation of carbon dioxide in the bloodstream. When CO<sub>2</sub> levels rise, chemoreceptors in the brain detect these changes and stimulate the respiratory muscles to increase the rate and depth of breathing. This process ensures the removal of excess CO<sub>2</sub> and replenishment of oxygen in the body. The need to breathe is usually involuntary, acting autonomously to maintain the body's respiratory homeostasis. However, voluntary breath control techniques allow individuals to momentarily override this drive and consciously modulate their breathing pattern. By practicing breath holding or breath suspension, individuals can temporarily suppress the respiratory drive, exploring their breath holding abilities and potentially achieving specific physiological or psychological effects. It is important to note that voluntary breath control should be approached with caution, and individuals should be aware of their limitations and consult with a healthcare professional or experienced instructor when engaging in exercises that involve prolonged breath holding or significant changes in breathing patterns. In conclusion, voluntary breath holding and the urge to breathe are interconnected aspects of the respiratory system.

## 8. Literatura

- 1) Chaudhry R, Bordoni B. Anatomy, Thorax, Lungs. 2022 Jul 25. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 Jan–. PMID: 29262068.
- 2) Brinkman JE, Toro F, Sharma S. StatPearls [Internet]. StatPearls Publishing; Treasure Island (FL): Jun 8, 2022. Physiology, Respiratory Drive. [\[PubMed\]](#)
- 3) Gamulin, Marušić, Kovač, Patofiziologija (7. izdanje), Medicinska naklada, Zagreb 2011 g.
- 4) West's Respiratory Physiology: The Essentials 10th Edition, by John B. West (Author), Andrew M. Luks (Author)
- 5) Guyton i Hall, Medicinska Fiziologija (13. Izdanje), Medicinska naklada, Zagreb 2013.g
- 6) Perkins, J. F. (1964) Historical development of respiratory physiology. In: Handbook of Physiology, pp. 1–62. Eds. W. O. Fenn and H. Rahn. American Physiological Society, Washington, DC
- 7) Bouverot P, Flandrois R, Puccinelli R, Dejours P. [Study of the role of arterial chemoreceptors in the regulation of pulmonary respiration in awake dogs]. Arch Int Pharmacodyn Ther. 1965 Oct;157(2):253-71. [\[PubMed\]](#)
- 8) Sharma S, Hashmi MF. StatPearls [Internet]. StatPearls Publishing; Treasure Island (FL): Feb 19, 2023. Hypocarbica. [\[PMC free article\]](#) [\[PubMed\]](#)
- 9) Blain GM, Smith CA, Henderson KS, Dempsey JA. Peripheral chemoreceptors determine the respiratory sensitivity of central chemoreceptors to CO(2). J Physiol. 2010 Jul 01;588(Pt 13):2455-71. [\[PMC free article\]](#) [\[PubMed\]](#)



- 10) Daly M, Ungar A. Comparison of the reflex responses elicited by stimulation of the separately perfused carotid and aortic body chemoreceptors in the dog. *J Physiol.* 1966 Jan;182(2):379-403. [PMC free article] [PubMed]
- 11) Alheid GF, McCrimmon DR. The chemical neuroanatomy of breathing. *Respir Physiol Neurobiol.* 2008 Dec 10;164(1-2):3-11. [PMC free article] [PubMed]
- 12) Bakovic, D., Valic, Z., Eterovic, D., Vukovic, I., Obad, A., Marinovic-Terzic, I., Dujic, Z., 2003. Spleen volume and blood flow response to repeated breath-hold apneas. *J. Appl. Physiol.* 95, 1460–1466
- 13) Barwood, M.J., Datta, A.K., Thelwell, R.C., Tipton, M.J., 2007. Breath-hold time during cold water immersion: effects of habituation with psychological training. *Aviat. Space Environ. Med.* 78, 1029–1034
- 14) Breskovic, T., Ivancev, V., Banic, I., Jordan, J., Dujic, Z., 2010a. Peripheral chemoreflex sensitivity and sympathetic nerve activity are normal in apnea divers during training season. *Auton. Neurosci.* 154, 42–47.
- 15) Breskovic, T., Valic, Z., Lipp, A., Heusser, K., Ivancev, V., Tank, J., Dzamonja, G., Jordan, J., Shoemaker, J.K., Eterovic, D., Dujic, Z., 2010b. Peripheral chemoreflex regulation of sympathetic vasomotor tone in apnea divers. *Clin. Auton. Res.* 20, 57–63.
- 16) Delius, W., Hagbarth, K.E., Hongell, A., Wallin, B.G., 1972. Manoeuvres affecting sympathetic outflow in human muscle nerves. *Acta Physiol. Scand.* 84, 82–94.
- 17) Dujic, Z., Ivancev, V., Heusser, K., Dzamonja, G., Palada, I., Valic, Z., Tank, J., Obad, A., Bakovic, D., Diedrich, A., Joyner, M.J., Jordan, J., 2008. Central chemoreflex sensitivity and sympathetic neural outflow in elite breath-hold divers. *J. Appl. Physiol.* 104, 205–211

- 18) Elam, M., Sverrisdottir, Y.B., Rundqvist, B., McKenzie, D., Wallin, B.G., Macefield, V.G., 2003. Pathological sympathoexcitation: how is it achieved? *Acta Physiol. Scand.* 177, 405–411
- 19) Bouverot P, Flandrois R, Puccinelli R, Dejourn P. [Study of the role of arterial chemoreceptors in the regulation of pulmonary respiration in awake dogs]. *Arch Int Pharmacodyn Ther.* 1965 Oct;157(2):253-71. [[PubMed](#)]
- 20) Mitchell RA, Berger AJ. Neural regulation of respiration. *Am Rev Respir Dis.* 1975 Feb;111(2):206-24. doi: 10.1164/arrd.1975.111.2.206. PMID: 1089375.
- 21) Experimental Physiology – Review Article, Breath-holding and its breakpoint, M. J. Parkes, School of Sport & Exercise Sciences, University of Birmingham, Edgbaston, Birmingham B15 2TT, UK
- 22) Wein, J., Andersson, J.P. & Erdéus, J. Cardiac and ventilatory responses to apneic exercise. *Eur J Appl Physiol* 100, 637–644 (2007). <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0411-1>
- 23) Butler PJ, Jones DR (1997) Physiology of diving of birds and mammals. *Physiol Rev* 77:837–899
- 24) Butler PJ, Woakes AJ (1987) Heart rate in humans during underwater swimming with and without breath-hold. *Respir Physiol* 69:387–399
- 25) Marsh N, Askew D, Beer K, Gerke M, Muller D, Reichman C. Relative contributions of voluntary apnoea, exposure to cold and face immersion in water to diving bradycardia in humans. *Clin Exp Pharmacol Physiol* 22: 886–887, 1995
- 26) Aellig WH. Clinical pharmacology, physiology and pathophysiology of superficial veins-1. *Br J Clin Pharmacol* 38: 181–186, 1994. [Crossref](#) | [PubMed](#) | [ISI](#) | [Google Scholar](#)

- 27) Marsh N, Askew D, Beer K, Gerke M, Muller D, Reichman C. Relative contributions of voluntary apnoea, exposure to cold and face immersion in water to diving bradycardia in humans. *Clin Exp Pharmacol Physiol* 22: 886–887, 1995.
- 28) Schagatay E, Holm B. Effects of water and ambient air temperatures on human diving bradycardia. *Eur J Appl Physiol* 73: 1–6, 1996
- 29) Marabotti C, Piaggi P, Menicucci D, Passera M, Benassi A, Bedini R, L'Abbate A. Cardiac function and oxygen saturation during maximal breath-holding in air and during whole-body surface immersion. *Diving Hyperb Med*. 2013 Sep;43(3):131-7. PMID: 24122187.
- 30) Hannah J Vigran 1, Anna G Kapral 1, Eric D Tytell 1, Mimi H Kao 1, Manipulating the perception of time affects voluntary breath-holding duration
- 31) Tetzlaff K, Lemaitre F, Burgstahler C, Luetkens JA, Eichhorn L. Going to Extremes of Lung Physiology-Deep Breath-Hold Diving. *Front Physiol*. 2021 Jul 9;12:710429. doi: 10.3389/fphys.2021.710429. PMID: 34305657; PMCID: PMC8299524.
- 32) Hansel J., Solleder I., Gfroerer W., Muth C. M., Paulat K., Simon P., et al. (2009). Hypoxia and cardiac arrhythmias in breath-hold divers during voluntary immersed breath-holds. *Eur. J. Appl. Physiol*. 105 673–678. 10.1007/s00421-008-0945-x [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar] [Ref list]
- 33) Overgaard K., Friis S., Pedersen R. B., Lykkeboe G. (2006). Influence of lung volume, glossopharyngeal inhalation and PET O<sub>2</sub> and PET CO<sub>2</sub> on apnea performance in trained breath-hold divers. *Eur. J Appl. Physiol*. 97 158–164. 10.1007/s00421-006-0156-2

- 34) Tetzlaff K., Scholz T., Walterspacher S., Muth C. M., Metzger J., Roecker K., et al. (2008). Characteristics of the respiratory mechanical and muscle function of competitive breath-hold divers. *Eur. J. Appl. Physiol.* 103 469–475. 10.1007/s00421-008-0731-9
- 35) Lemaitre F., Clua E., Andreani B., Castres I., Chollet D. (2010). Ventilatory function in breath-hold divers: effect of glossopharyngeal insufflation. *Eur. J. Appl. Physiol.* 108 741–747. 10.1007/s00421-009-1277-1

## 9. Životopis

Vijeko Zec rođen je u Dubrovniku 28.11.1998 godine. Pohađao je Osnovnu Školu Marina Držića koju je završio sa odličnim uspjehom. Usporedno je pohađao Glazbenu školu Luka Sorkočević gdje je svirao saksofon i sudjelovao na brojnim regionalnim natjecanjima.

Nakon toga je pohađao Gimnaziju Dubrovnik koju je završio s odličnim uspjehom te se nastavlja aktivno baviti glazbom kroz Gradsku glazbu Dubrovnik.

Upisao je Medicinski fakultet Sveučilišta u Rijeci 2017. godine. Fakultet završava 2023.godine sa vrlo dobrim uspjehom.