

# Ronjenje i dekompresijska bolest

---

Škugor, Matea

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zadar / Sveučilište u Zadru**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:162:590769>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-05**



**Sveučilište u Zadru**  
Universitas Studiorum  
Jadertina | 1396 | 2002 |

Repository / Repozitorij:

[University of Zadar Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

Sveučilište u Zadru

Odjel za zdravstvene studije  
Sveučilišni diplomski studij sestrinstva



**Matea Škugor**

**Ronjenje i dekompresijska bolest**

**Diplomski rad**

Zadar, 2021.

Sveučilište u Zadru

Odjel za zdravstvene studije

Diplomski sveučilišni studij sestrinstva

## Ronjenje i dekompresijska bolest

Diplomski rad

Student/ica:

Matea Škugor

Mentor/ica:

Prof.dr.sc.Neven Skitarelić, dr.med.

Zadar, 2021.



## Izjava o akademskoj čestitosti

Ja, **Matea Škugor**, ovime izjavljujem da je moj **diplomski** rad pod naslovom **Ronjenje i dekompresijska bolest** rezultat mojega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na izvore i radove navedene u bilješkama i popisu literature. Ni jedan dio mojega rada nije napisan na nedopušten način, odnosno nije prepisan iz necitiranih radova i ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem da ni jedan dio ovoga rada nije iskorišten u kojem drugom radu pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj, obrazovnoj ili inoj ustanovi.

Sadržaj mojega rada u potpunosti odgovara sadržaju obranjenoga i nakon obrane uređenoga rada.

Zadar, 9. prosinac 2021.

*Zahvaljujem svom mentoru na nesebičnoj pomoći, stručnim savjetima i velikom strpljenju.  
Veliko hvala mojoj obitelji, koji su svojom podrškom i ljubavlju tijekom školovanja bili uz mene.*

## **Popis kratica i simbola**

barotraumatske plinske embolije - BPE

disbarične ronilačke bolesti - DRB

dekompresijska bolest - DB

hiperbarična komora - HBK

hiperbarična terapija kisikom - HBTO

Hrvatska Gorska Služba Spašavanja - HGSS

## Sadržaj

|  |    |
|--|----|
| SAŽETAK.....   | 1  |
| SUMMARY .....  | 2  |
| 1. UVOD .....  | 3  |
| 2. PLINOVI U ZRAKU .....   | 4  |
| 2.1. OSNOVNI ZAKONI FIZIKE PLINOVA VAŽNI ZA RONJENJE.....            | 5  |
| 2.1.1. Difuzija plina.....   | 5  |
| 2.1.2. Tlak plina otopljenog u tekućini i tkivima .....              | 6  |
| 2.1.3. Henryev zakon.....  | 7  |
| 2.1.4. Boyle - Mariotteov zakon.....                                 | 9  |
| 3. UTJECAJ VISOKIH TLAKOVA PLINOVA NA RONIOCA .....                  | 10 |
| 3.1. Toksično djelovanje kisika pod visokim tlakom .....             | 10 |
| 3.2. Toksično djelovanje ugljičnog dioksida pod visokim tlakom ..... | 12 |
| 3.3. Narkotično djelovanje dušika pod visokim tlakom .....           | 13 |
| 3.4. Toksično djelovanje helija pod visokim tlakom .....             | 14 |
| 4. UTJECAJ DUBINE NA LJUDSKI ORGANIZAM.....                          | 15 |
| 5. DISBARIČNE RONILAČKE BOLESTI .....                                | 16 |
| 5.1. Dekompresijski poremećaj.....                                   | 17 |
| 5.2. Dekompresijska bolest .....                                     | 19 |

|   |    |
|---|----|
| 5.3. Liječenje disbaričnih ronilačkih bolesti ..... | 22 |
| 5.4. Zdravstveni nadzor i preventivne mjere .....   | 28 |
| 6. ZAKLJUČAK .....                                  | 30 |
| 7. LITERATURA.....                                  | 31 |
| ŽIVOTOPIS .....                                     | 33 |





## SAŽETAK

Na našem priobalju ronjenje ima dugu tradiciju. U Republici Hrvatskoj definirano je šest vrsta ronjenja: športsko, rekreativno, znanstveno ronjenje, izvođenje ili obavljanje ronilačkih radova, te ronjenje za potrebe ribarstva i ronjenje za posebne potrebe, poput policijskih ili vojnih potreba. Zadnjih godina u Istri i Dalmaciji osobito je popularizirano športsko i rekreativno ronjenje. Unatoč tome, ronjenje je potencijalno opasna aktivnost zbog izloženosti ronioca promjenama fizičkih zakona, uslijed djelovanja povišenog tlaka, kao i promjene životne sredine, boravkom u vodi.

U ovom radu prikazani su osnovni plinski zakoni. Uz to objašnjeno je i djelovanje plinova koje koristi ronilac u vodenom okruženju s povišenim tlakom. Pod utjecajem dubine parcijalni tlakovi plinova rastu i izazivaju različite štetne učinke u tijelu ronioca. Opisane su i posljedice djelovanja visokog tlaka na pluća, sinuse i srednje uho. Sve se takve bolesti jednim imenom nazivaju dizbarične ronilačke bolesti. Ove bolesti su izuzetno opasne i unatoč današnjim tehničkim i medicinskim mogućnostima liječenja, mogu rezultirati smrtnim ishodom. Upravo iz ovoga razloga, iznimno je važna uspješna prevencija ovih bolesti.

**Ključne riječi:** ronjenje, dekompresijska bolest, liječenje

# **SUMMARY**

## **Diving and decompression sickness**

The subject thesis entitled Diving and decompression sickness presents research on the basic laws of gas physics, the effect of depth and high pressures of gases on the human body, decompression sickness and methods of treatment, which is the aim of the paper.

Diving has many significant advantages because it enables the development of physical fitness, breathing techniques and the improvement of cardiovascular health by performing underwater swimming exercises. During diving, an increased amount of dangerous bubbles can form in the diver's lungs, which he can prevent by limiting the depth and duration of the dive. Decompression sickness can be caused by repeated and numerous dives, and since after each dive the excess gas remains in the body, it increases with each new dive. Decompression sickness requires recompression in a chamber under high pressure, in such a way that the pressure gradually increases, and therefore the bubbles are compressed and "forced" to dissolve, leading to the establishment of normal blood flow and oxygen supply.

**Keywords:** diving, oxygen, decompression, disease

# 1. UVOD

Ronjenje je rekreativna, sportska, ali i profesionalna aktivnost. Kao sportska aktivnost omogućuje održavanje fizičke kondicije, unaprjeđenje tehnike disanja te kardiovaskularnog zdravlja izvođenjem vježbi podvodnog plivanja. Ronjenje jača cjelokupnu tjelesnu muskulaturu te smanjuje udio tjelesne masti što povoljno utječe na zdravlje kardiovaskularnog sustava. Tehnike disanja djeluju umirujuće što doprinosi cjelokupnom psihofizičkom zdravlju. Profesionalni ronionci često rade u industriji uzgoja ribe, gdje osim što sudjeluju u uzgoju ribe, održavanju kaveza za uzgoj ribe, sudjeluju i u prehrani ribe. Također, ronionci rade na izvođenju potrebnih infrastrukturnih radova na većim dubinama, ali i za potrebe policijske i vojne službe te u Hrvatskoj Gorskoj Službi Spašavanja (HGSS). U Hrvatskoj djeluje Hrvatski ronilački savez, osnovan 1992.godine u Zagrebu, koji aktualno okuplja više od 150 ronilačkih klubova i 150 ronilačkih centara.<sup>1</sup> Ronionci osim u športskim, natjecateljskim i radnim djelatnostima, sudjeluju i u speleološkim podvodnim istraživanjima, a u svijetu se u takvim ronilačkim istraživanjima događa prosječno sedam smrtnih slučajeva na 4350 zarona, što čini incidenciju od 0,16% smrtnih ishoda po zaronu.<sup>2</sup> Stoga je ronjenje uz sve svoje prednosti, potencijalno opasna aktivnost zbog izloženosti ronilaca promjenama fizičkih zakona i promjenama životne i radne sredine.

Dekompresijska bolest (DB) ili općenito poznata kao bolest ronilaca, jedan je od najčešćih razloga zašto ronionci stradaju. Naime, ronionci za autonomno ronjenje koriste spremnike sa zrakom. Dekompresijska bolest nastaje uslijed naglog ili nekontroliranog izranjanja ronionca, prilikom čega dolazi do naglog smanjenja okolnog tlaka te prelaska otopljenih plinova, koje ronilac koristi za disanje, iz tekućeg u plinovito stanje. Nastali mjehurići plina dovode do potpunog ili djelomičnog začepjenja krvnih žila što za posljedicu ima hipoksiju dijelova organa koji te krvne žile prehranjuju. Postupci dekompresije koji se koriste tijekom ronjenja preveniraju nastanak DB.

## 2. PLINOV I U ZRAKU

U trenutku kada čovjek zaranja u dubinu tlak se oko njega povećava. Tijekom uranjanja u vodu okolni se hidrostatički tlak vode neprekidno povećava gradijentom od oko jedne atmosfere na svakih 10 metara dubine. Tekućine su praktično nestlačive, ali plinovi su stlačivi. Stoga, kako bi se održao normalni volumen, ronilac pri zaronu mora uvesti dodatne količine plina, a da bi to uspio mora udisati smjesu pod tlakom koja drži prsni koš napuhanim i sprječava kolaps pluća.

Sastav zraka na morskoj površini čini dušik ( $N_2$ ), kemijski inertan plin bez boje, okusa i mirisa. U zemljinoj atmosferi zastupljen je s 78%. Dušik je jedan od najvažnijih sudionika u biološkim procesima. Nitrificirajući mikroorganizmi koji žive na korijenju leguminoza vežu dušik iz zraka i otpuštaju ga u tlo u obliku spojeva potrebnih za život drugih biljaka. Osim dušika, kisik ( $O_2$ ) se također nalazi u atmosferi. Pri sobnoj temperaturi to je bezbojan plin, bez okusa i mirisa. U zemljinoj atmosferi zastupljen je s 21%. Kisik je najreaktivniji sastojak zraka. Troši se u prirodnim procesima, prvenstveno pri disanju ljudi, životinja i biljaka, ali i kod oksidacije stijena. Uz dušik i kisik u zemljinoj atmosferi nalazimo u iznimno malim količinama i ugljični dioksid ( $CO_2$ ). To je bezbojan plin, koji ne gori, a također je bez okusa i mirisa. U zemljinoj atmosferi zastupljen je s 0.0365%. Ugljični dioksid je vrlo važan sastojak zraka, apsorbira toplinsko zračenje na Zemlji i djelomično ga vraća na Zemlju, pri čemu dovodi do zagrijavanja tla i oceana. Svi ostali plinovi poput argona, neona, kriptona, helija i radona, mogu se iznimno naći u tragovima u zemljinoj atmosferi. Maseni udio plinova u ljudskom tijelu ne odgovara udjelima istih plinova u atmosferi. Od svih plinova najviše je zastupljen u ljuskom tijelu kisik s 61,4%, potom ugljik s 19,4%, pa vodik s 8,9% i dušik s 5,0%.

Sastav zraka kod ronjenja je različit ovisno o vrsti i namjeni ronjenja te o dubini na koju se ronilci spuštaju. U ronjenju se koriste različiti plinovi, odnosno njihove smjese poput dušika, kisika, ugljičnog dioksida, helija. Ronilci uglavnom udišu zrak koji čini smjesa dušika, kisika i ugljičnog dioksida, nerijetko se dušik kod ronjenja u većim dubinama zamjenjuje helijem.

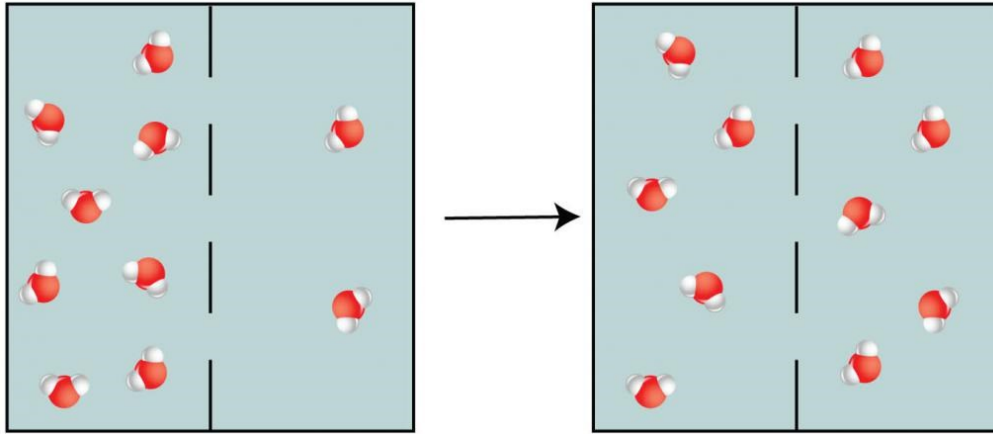
## 2.1. OSNOVNI ZAKONI FIZIKE PLINOVA VAŽNI ZA RONJENJE

Karakteristika plinova je da nemaju stalni obujam i oblik te stoga oni zauzimaju obujam i oblik posude, odnosno prostora u kome se nalaze. Plinove uz to karakterizira visok stupanj stlačivosti, odnosno mogućnosti smanjenja volumena. Uz to plinovi su i topljivi u tekućinama, a topljivost plinova u tekućinama definirana je Henryevim zakonom. Svi plinovi o kojima se raspravlja u fiziologiji disanja jednostavne su molekule koje se slobodno miješaju procesom difuzije.

### 2.1.1. Difuzija plina

Ako je u nekoj komori s plinom ili u nekoj otopini na jednoj strani koncentracija određenoga plina velika, a na drugoj mala, difuzija plina uslijedit će iz područja velike koncentracije prema području male koncentracije. Difuzija nastaje jer postoji mnogo više molekula plina u jednom području koje kroz membranu difundiraju prema području sa znatno manjim brojem molekula istoga plina.<sup>3,4</sup> Za difuziju je potreban izvor energije, a on potječe od kinetičkog gibanja samih molekula. Polupropusna membrana omogućuje izjednačavanje koncentracija plina s obje strane membrane. U ljudskom tijelu mehanizmom difuzije dolazi do izmjene kisika i ugljičnog dioksida u plućnim alveolama.

Parcijalni tlak svakog plina u alveolarnoj smjesi respiracijskih plinova nastoji potisnuti molekule tog plina u otopinu - u krv alveolarnih kapilara. Suprotno tome, molekule istog plina koje su već otopljene u krvi nasumce se kreću u krvi, a neke se od tih molekula vraćaju krvlju natrag u alveole. Količina molekula koje se krvlju vraćaju u alveole razmjerna je parcijalnom tlaku određenog plina u krvi. Difuzija ovisi o razlici dvaju parcijalnih tlakova. Ako je parcijalni tlak slobodnog plina viši unutar alveole, što normalno vrijedi za kisik, tada više molekula difundira u krv nego u suprotnom smjeru (Slika 1.). Obrnuto, ako je parcijalni tlak otopljenoga plina viši u krvi, što normalno vrijedi za CO<sub>2</sub>, tada nastaje difuzija molekula plina prema alveoli.<sup>5</sup>



Slika 1. Shematski prikaz difuzije plinova kroz polupropusnu membranu

Dostupno na adresi: <https://hr.puntomarinero.com/diffusion-what-is-it/>

### 2.1.2. Tlak plina otopljenog u tekućini i tkivima

Plinovi otopljeni u tekućini ili u tjelesnim tkivima također stvaraju tlak, jer se otopljene molekule plina gibaju nasumice i posjeduju kinetičku energiju. Nadalje, kada plin otopljen u tekućini udara o površinu poput stanične membrane, on stvara svoj vlastiti parcijalni tlak na jednak način kao što i slobodan plin stvara svoj parcijalni tlak. Parcijalni tlakovi različitih otopljenih plinova označavaju se jednako kao i parcijalni tlakovi slobodnih plinova. Parcijalni tlak plina u nekoj otopini ne ovisi samo o njegovoj koncentraciji već i o njegovu *koeficijentu topljivosti*. Naime, molekule vode fizički ili kemijski privlače neke vrste molekula, posebice molekule CO<sub>2</sub>, dok na druge vrste molekula djeluju odbojno. Kada voda privlači molekule plina, može ih se otopiti mnogo više, a da se pritom u otopini ne razvije visoki parcijalni tlak. Suprotno tome, molekule koje voda odbija razvit će visoke parcijalne tlakove pri malom broju otopljenih molekula. Parcijalni tlak mjerimo u kPa, a koncentraciju otopljenoga plina u mmol/L. Koeficijenti topljivosti za važne respiracijske plinove pri normalnoj tjelesnoj temperaturi prikazani su u Tablici 1.

Tablica 1. Plinovi koji se koriste u ronjenju i koeficijenti njihove topljivosti

| Vrsta plina      | Koeficijent topljivosti |
|------------------|-------------------------|
| kisik            | 0,008                   |
| ugljični dioksid | 0,19                    |
| dušik            | 0,004                   |
| helij            | 0,003                   |

Iz tablice se može vidjeti da je ugljični dioksid ima znatno veću topljivost od kisika. Prema tome, parcijalni je tlak CO<sub>2</sub> (pri zadanoj koncentraciji) oko 20 puta manji od parcijalnoga tlaka O<sub>2</sub>.<sup>5</sup>

### 2.1.3. Henryev zakon

Ponašanje plinova u tekućinama definirano je Henryevim zakonom, kojeg je postavio engleski fizičar i kemičar William Henry 1803.godine. Henryevim zakonom je kod konstantne temperature količina otopljenog plina u tekućini direktno proporcionalna tlaku plina iznad tekućine. Količina plinova koji će se otopiti u nekoj tekućini, kod određene temperature, izravno je proporcionalna parcijalnom tlaku tog plina. Značaj Henryevog zakona u ronjenju je u tome što se otapanje kisika, dušika i helija u krvi ronilaca mijenja tijekom dekompresije, odnosno prilikom samog izrona, što može dovesti do nastanka dekompresijske bolesti. Praktičan primjer ovoga zakona u svakodnevnom životu se može vidjeti na gaziranim bezalkoholnim pićima, koja u sebi sadrže otopljeni ugljikov dioksid. Taj primjer dobro vizualno prikazuje što se događa kod ronilaca tijekom izrona. Naime, prije otvaranja boce s bezalkoholnim pićem, plin iznad tekućine u posudi je gotovo čisti ugljikov dioksid, pod tlakom većim od atmosferskog. Nakon što se boca otvori, ovaj plin izlazi te se smanjuje parcijalni tlak ugljičnog dioksida iznad tekućine, što rezultira oslobađanjem plina koji u mjehurićima izlazi iz otopine.

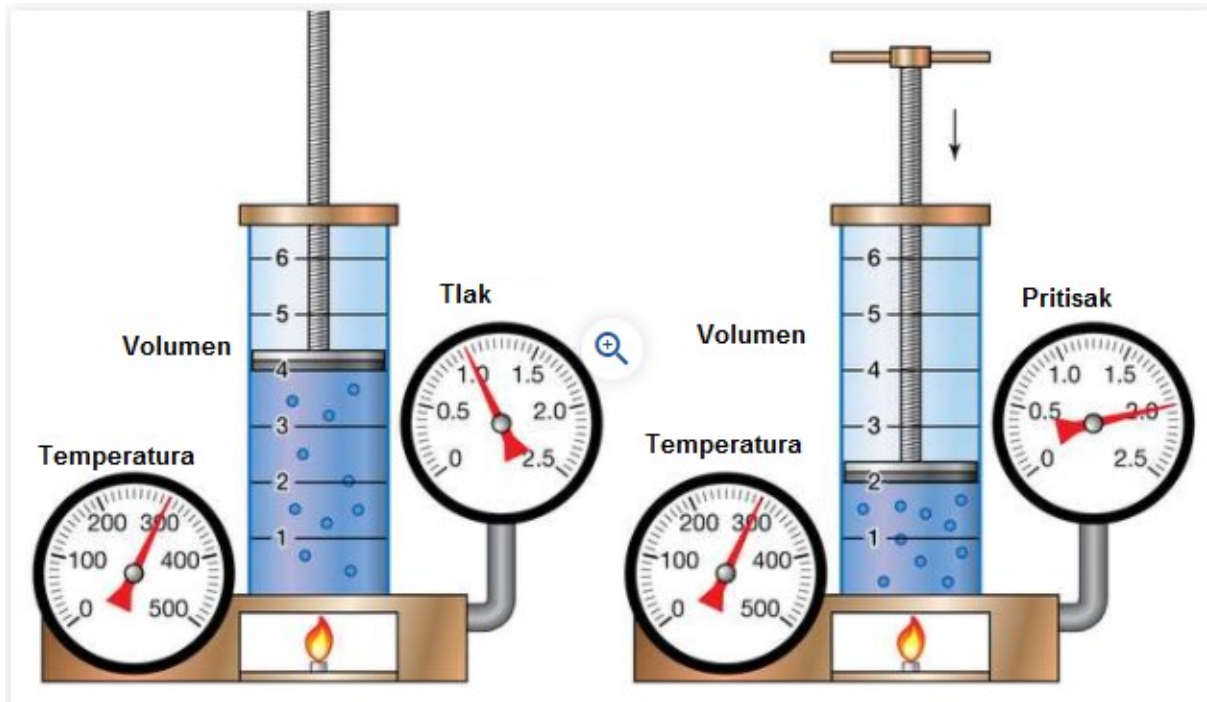
U podvodnom ronjenju plin se udiše pri okolnom tlaku koji raste s dubinom zarona zbog utjecaja hidrostatskog tlaka. Topljivost plinova raste na dubini u skladu s Henryevim zakonom.



Tako su inhalirani plinovi iz spremnika u tkivu ronioca otopljeni na velikim dubinama u različitim tkivima ronioca. U ljudskom tijelu različita tkiva su različito građena pa se stoga u različitim tkivima plinovi otapaju različitim brzinom. Prilikom izrona ronilac se dekomprimira te se topljivost plinova otopljenih u tkivima smanjuje sukladno Henryevom zakonu. Smanjenjem topljivosti plinova, dolazi do pojave plinske embolije, odnosno pojave mjehurića plina koji naglim oslobađanjem začepljuju krvne žile te tako nastaje dekompresijska bolest. Kako bi se izbjegao nastanak dekompresijske bolesti, ronilac mora izranjati dovoljno sporo da se ne stvara višak otopljenog plina. Postupnom dekompresijom sa zastancima tijekom izrona, ronilac će postići da se taj plin u otopljenom stanju, cirkulacijom odvede do alveola te se difuzijom transportira u alveole i potom iz alveola otpusti izdisanjem iz tijela.

### 2.1.4. Boyle - Mariotteov zakon

Boyleov zakon ili također zvan i Mariotteov zakon, dobio je naziv prema Robertu Boyleu, irskom kemičaru i fizičaru koji ga je formulirao 1662. godine te prema Edmeu Mariotteu, francuskom fizičaru, koji je neovisno o Robertu Boyleu otkrio zakon za idealne plinove. Boyle - Mariotteov plinski zakon (Slika 2.) odnosi se na kompresiju i ekspanziju plina pri konstantnoj temperaturi. U osnovi ovaj fizikalni zakon kaže kako su tlak i volumen plina obrnuto proporcionalni, drugim riječima, što više raste tlak, volumen plina je sve manji. Zakon je formuliran u obliku jednadžbe  $p \cdot v = k$ , gdje je  $k$  konstanta.<sup>6</sup>



Slika 2. Shematski prikaz eksperimenta koji predstavlja dokaz Boyle - Mariotteovog zakona

Izvor: Encyclopedia Britannica.

Dotupno na adresi: <https://www.britannica.com/science/Boyles-law>. Datum pristupa informaciji 17.10.2021.

### 3. UTJECAJ VISOKIH TLAKOVA PLINOVA NA RONIOCA

Ronilac je tijekom ronjenja najčešće izložen smjesi plinova koji se normalno nalaze u zraku, a to su dušik, kisik i ugljični dioksid. U velikim dubinama umjesto dušika u smjesi plinova za disanje, koristi se helij. Pod djelovanjem visokog tlaka pri zaronu, svaki od tih plinova može uzrokovati neželjene fiziološke učinke.<sup>5</sup> Omjer navedenih plinova u smjesi za disanje prvenstveno ovisi o dubini, namjeni ronjenja i uređaju koji se koristi tijekom ronjenja.<sup>7</sup> Udisanje dušika pod utjecajem visokih tlakova u dubini, kao i udisanje ostalih inertnih plinova mješavine za disanje, može imati izrazite negativne učinke na organizam ronioca.

#### 3.1. Toksično djelovanje kisika pod visokim tlakom

Kad je parcijalni tlak kisika u krvi viši od 13 kPa, izrazito se poveća količina otopljenoga kisika u tekućoj fazi krvi. Pri normalnom rasponu vrijednosti alveolarnoga  $P_{O_2}$  (manje od 16 kPa) udio otopljenoga kisika u ukupnoj količini  $O_2$  u krvi je neznatan, no kako se tlak postupno povisuje i poprima vrijednost od nekoliko stotina kPa, veliki dio ukupne količine  $O_2$  nalazi se otopljen u tekućoj fazi krvi, pored onoga koji je vezan za hemoglobin. Prevelikim porastom parcijalnog tlaka kisika hemoglobin gubi puferska svojstva i ne uspijeva održavati vrijednosti tlaka u sigurnom rasponu od 2,7 kPa do 8,0 kPa.<sup>5</sup> Potonje može djelovati štetno na brojne organske sustave: živčani, kardiovaskularni, respiratorni i endokrini sustav. Štetno djelovanje se može očitovati neurotoksičnim učinkom, poput nastanka epileptičnih napada ili poremećajem plućne funkcije ronioca.<sup>8</sup>

Organizam može biti izložen čistom kisiku pod tlakom od oko 100 kPa duže vrijeme, bez da to djeluje toksično na središnji živčani sustav ronioca. Ipak, izlaganje kisiku duže od 12 sati uzrokuje kongestiju dišnih puteva, plućni edem i atelektazu, kao posljedicu oštećenja sluznice bronha i alveola.<sup>8</sup>

Udisanje kisika pod vrlo visokim alveolarnim  $P_{O_2}$  može biti štetno za mnoga tkiva u organizmu. U takvim slučajevima parcijalni tlak kisika u tkivima je izuzetno visok. Primjerice,

izlaganje kisiku pod tlakom od 400 kPa izazvat će epileptične napadaje nakon kojih većina oboljelih u roku od 30 do 60 minuta prelazi u komatozno stanje.<sup>9</sup> Budući da kloničko-tonički grčevi često nastaju bez prodromalnog stadija, jasno je da kod ronilaca mogu dovesti do smrtnog ishoda. Među ostale simptome akutnoga otrovanja kisikom ubrajamo mučninu, mišićne trzaje, omaglicu, poremećaje vida, razdražljivost i dezorijentaciju. Mišićni rad ronilaca ispod površine, povećava osjetljivost ronilaca na toksičnost kisika pa se simptomi pojavljuju znatno ranije i jače su izraženi nego u osoba koje nisu izložene fizičkom radu u dubini.<sup>5</sup>

Primjena čistog kisika u ronjenu ipak ima veliki značaj. Koristi se u vojnom ronjenju do šest metara dubine, tako što se udiše čisti kisik. Osim toga čisti kisik koristi se kao plin za pružanje prve pomoći ronjocima na površini te u terapijske svrhe u liječenju dekompresijske bolesti u hiperbaričnoj komori.

### 3.2. Toksično djelovanje ugljičnog dioksida pod visokim tlakom

Ugljični dioksid čini oko 0,03% zraka u atmosferi, no u zatvorenim i loše ventiliranim prostorima njegov udio može značajno porasti. Ugljični dioksid je u alveolarnom zraku u plućima zastupljen s 5,3%.<sup>8</sup>

Ovaj plin u krvi regulira disanje tako da djeluje kao stimulans na centar za disanje u mozgu. O njegovoj koncentraciji ovisi dubina i frekvencija disanja. Kada njegova koncentracija poraste u tijelu, stimulira se disanje. Stimulacijom disanja pospješuje se i ubrzava njegovo odstranjivanje iz krvi, a pojačava se dotok kisika. Kada tijelo miruje, izluči se oko 300 ml ugljičnog dioksida u minuti. Kod izrazitih napora, poput ronjenja u ekstremnim uvjetima, izluči se oko dvije do tri litre ugljikovog dioksida po minuti.<sup>8</sup>

Kod ispravne ronilačke opreme, ronilac neće imati opasnosti od otrovanja ugljičnim dioksidom. U slučaju neispravne ronilačke opreme te kod nekih vrsta ronilačkih kaciga ili kod neispravnosti uređaja za povratno disanje, može doći do nagomilavanja ugljičnog dioksida u mrtvom prostoru. Takav nagomilani plin difundira u krvotok ronioca te dovodi do njegovog otrovanja.<sup>10</sup> Sve dok vrijednost parcijalnog tlaka ugljičnog dioksida ne prelazi 10,7 kPa, što je približno dvostruka vrijednost u odnosu na fiziološke uvjete, ronilac to nagomilavanje plina podnosi bez većih poteškoća.<sup>8</sup>

Kod porasta alveolarnog parcijalnog tlaka ugljičnog dioksida iznad granice od 10,7 kPa i porasta njegovog udjela na više od 3% u udahnutom zraku, dolazi do blokiranja centra za disanje metaboličkim učinkom.<sup>5</sup> Javlja se osjećaj nedostatka zraka i pristiska ispod prsne kost te se produbljuje disanje. Kod porasta koncentracije ugljičnog dioksida iznad 4 - 6% u udahnutom zraku, simptomi su još izraženiji uz pojavu crvenila i osjećaja žarenja u licu. Klinički najvažniji znak je glavobolja s izrazitim osjećajem pulsacija u sljepoočnom predjelu glave. U slučaju da navedeno stanje potraje, ronilac postaje izrazito cijanotičan. Kao prvi simptom trovanja javlja se euforija, koja prelazi u smetenost, pospanost te poremećaj i gubitak svijesti. U besvjesnom stanju kod ronioca se javlja bradikardija, bradipneja i hipotenzija. Rjeđe se u simptome trovanja ubrajaju i privremeni poremećaji vida i sluha. U slučaju blažeg oblika trovanja, dovoljno je unesrećenog izložiti atmosferskom zraku, dok kod težih oblika trovanja, poput onih s gubitkom

svijesti ronioca, treba pristupiti pružanju prve pomoći, a po potrebi i reanimaciji. Ukoliko se pravovremeno ne prepozna navedeno stanje i ne pruži prva pomoć, trovanje ugljičnim dioksidom može završiti smrtnim ishodom.<sup>5</sup>

### **3.3. Narkotično djelovanje dušika pod visokim tlakom**

Približno četiri petine zraka u atmosferi čini dušik. Pri tlaku na razini mora dušik nema znatnijih učinaka na tjelesne funkcije, ali pod visokim tlakom ispod površine, može uzrokovati različite stupnjeve narkoze ronioca. U ronilaca koji u moru ostanu jedan sat ili duže, a udišu komprimirani zrak, prvi znaci blage narkoze pojavljuju se na dubini od 35 m.<sup>5</sup> Na dubini od 45 do 60 m ronilac postaje pospan, a između 60 i 75 m snaga mu se izrazito smanjuje te gubi manuelnu spretnost i ne može obaviti predviđeni rad. Na dubini većoj od 75 m, ronilac zbog narkotičnog djelovanja dušika postaje nesposoban za rad. Uz to gubi i sposobnost racionalnog promišljanja. Simptomi narkoze dušikom slični su simptomima otrovanja alkoholom, pa se zbog toga narkoza dušikom tijekom ronjenja često zove i »pijanstvo dubina«. Dušik se prvenstveno otapa u tjelesnim mastima ronioca i to u mozgu te u masnim tvarima živčanih membrana. Topljivost dušika je pet puta veća u masti nego u tekućini. Zbog afiniteta dušika prema masnome tkivu, polovina cjelokupnog dušika u tijelu ronioca, apsorbira se u masti. Treba imati u vidu da kod većine ljudi mast čini samo oko 15-20% normalne tjelesne težine. Tablica 2. prikazuje količinu dušika otopljenog u tjelesnim tekućinama ronioca na različitim dubinama. Svojim učinkom, dušik mijenja ionsku vodljivost membrana, čime smanjuje neuronsku podražljivost tkiva.<sup>5</sup>

Tablica 2. Količinu dušika otopljenog u tjelesnim tekućinama ronioca na različitim dubinama

| Dubina u metrima | Dušik u litrama |
|------------------|-----------------|
| 0                | 1               |
| 10               | 2               |
| 30               | 4               |
| 60               | 7               |
| 90               | 10              |

### 3.4. Toksično djelovanje helija pod visokim tlakom

Helij je na običnoj temperaturi plin bez boje, okusa i mirisa. Kemijski je gotovo potpuno neutralan. Poslije vodika, to je najlakši plin. Kod ronjenja u velikim dubinama i kod dugotrajnog ronjenja, u spremnicima za autonomno ronjenje se umjesto dušika u smjesi zraka za disanje, koristi helij. Helij ima četiri do pet puta manji narkotički učinak od dušika. U tjelesnim tekućinama otapa se samo pola volumena helija. Stoga helij stvara znatno manje mjehurića plina pri izronu. U odnosu na dušik, lakše se oslobađa iz organizma. Tako predstavlja znatno manju opasnost po zdravlje ronilaca. Uz sve navedeno helij ima i manju gustoću od dušika, pa stoga stvara i manji otpor u dišnim putevima tijekom udisanja.

U usporedbi s dušikom, nakon čijeg udisanja smetnje kod ronilaca mogu započeti već na 35 m dubine, kod helija se toksično djelovanje očituje na znatno većim dubinama. Pojava „nervnog sindroma visokog tlaka“ počinje se razvijati pri udisanju smjese zraka s helijem na dubinama od oko 200 m. Kod ronilaca se može javiti i tremor. Na 300 m dubine kod ronioca koji udiše helij javljaju se omaglice.

## 4. UTJECAJ DUBINE NA LJUDSKI ORGANIZAM

Kod ronioca koji se nalazi ispod površine vode javlja se djelovanje povišenog tlaka na njegov organizam. Kako bi se kompenzirao utjecaj visokog tlaka i spriječio kolaps pluća, zrak koji ronilac udiše dovodi se pod povišenim tlakom, znatno višim od onoga na razini mora. Pošto je krv putem alveola isto tako pod iznimno visokim tlakom javlja se pojava zvana hiperbarizam. Visoki tlak iznad određenih vrijednosti dovodi do promjene tjelesnih funkcija, a može dovesti i do smrti ronioca.<sup>5</sup>

Kod ronjenja i boravka na dubini od 10 metara, tlak naraste na 760 mmHg ili naraste za jednu atmosferu. Stoga, na ronioca pri dubini od 10 metara ispod površine, djeluje tlak od dvije atmosfere, dok na dubini od 20 metara, na ronioca djeluje tlak od tri atmosfere. Prema Boyle - Mariotteovom zakonu povećavanjem dubine na kojoj je ronilac, povećava se kompresija na plinove koji se stlačuju na sve manji volumen. Volumen na koji se komprimira određena količina plina obrnuto je razmjeran tlaku koji djeluje na taj plin. Stoga je jedna litra zraka na razini morske površine, na dubini od 10 metara stlačena na pola litre. Visoki tlak može u tijelu ronioca dovesti do kolabiranja i oštećenja tjelesnih šupljina ispunjenih zrakom, što se prvenstveno odnosi na pluća, ali i na šupljine kao što su paranazalni sinusi te srednje uho. Povišeni tlak može dovesti i do povećanja gustoće plina koji se udiše, iako je na manjim dubinama i kod zdrave osobe, ovaj učinak zanemariv.

Barotrauma kod ronioca može nastati prilikom zarona u dubinu, zato jer se volumeni svih plinova u organizmu smanjuju:

- ako se u pluća dovodi zrak neće nastupiti oštećenje, ostane li ronilac bez dovoda smjese zraka pod tlakom, dolazi do stiskanja pluća, a pri većim dubinama i do zgnječenja pluća;
- ronilac na dah koji jednom maksimalno udahne ne može se spustiti više od 30 m u dubinu radi udubljanja prsnog koša;
- stiskanje zraka u srednjem uhu može izazvati pucanje bubnjića;
- zatvoreni zrak u sinusima može izazvati jaku bol i barotraumu sinusa;
- zrak u probavnom sustavu obično ne stvara poteškoće pri zaronu i komprimiranju.



## 5. DISBARIČNE RONILAČKE BOLESTI

Kod naglog zarona dolazi uslijed povećanja tlaka i smanjenja volumena svih plinova u tijelu, do opasnosti od nastanka barotraume kod ronioca. I tijekom izrona, također može doći do različitih oštećenja kod ronioca. Naime, kod izrona sve šupljine tijela ispunjene zrakom se šire. Naglo širenje pluća može dovesti do utiskivanja zraka u plućne kapilare te posljedično do nastanka plinske embolije i smrti. Također, naglo povećanje tlaka može dovesti do ruptуре pluća i nastanka pneumotoraksa. Kod kraćih zarona nema značajnijeg otapanja dušika u tijelu ronioca. Kod zarona ronioca na veću dubinu i dužeg vremena provedenog na većoj dubini, dolazi potpuno do zasićenje organizma dušikom. Kod takvog ronioca koji naglo izroni na površinu, nastati će oslobađanje mjehurića plina koji mogu uzrokovati emboliju. Sve bolesti ronilaca nastale zbog promjene tlaka koji djeluje na ronioca, nazivaju se jednim imenom “disbarične ronilačke bolesti” (DRB), ili u medicinskom žargonu disbarizam. Disbarizam se pojavljuje u formi dekompresijske bolesti (DB), barotraume i/ili barotraumatske plinske embolije (BPE). Ponekad ih je teško razlikovati čak i u kliničkim uvjetima, a česte su i mješovite forme ovih bolesti. Liječenje je međutim vrlo slično – rekompresijski tretman u hiperbaričnoj komori (HBK) po jednom od standardnih protokola.

## 5.1. Dekompresijski poremećaj

Dekompresijski poremećaj naziva se i generalizirana barotrauma. Nastaje kada naglo naraste okolni tlak oko ronioca. To se prvenstveno događa tijekom zarona. Ovaj poremećaj najčešće se javlja kod autonomnih ronilaca koji rone na velikim dubinama. Također, javlja se kod ronilaca koji rone u jednome ili u više navrata na dubinu veću od 15 m, tijekom razdoblja dužeg od 20 minuta. Dekompresijski poremećaj nastaje prvenstveno radi hipersaturacije krvi i tkiva slobodnim plinom.

Dekompresijski se poremećaj dijeli na:

- dekompresijski poremećaj tipa I – to je obično slabija forma bolesti i zahvaća prvenstveno mišićno - koštani sustav, prvenstveno zglobove, a može zahvatiti kožu i limfne žile;
- dekompresijski poremećaj tipa II - predstavlja jače izraženu formu bolesti, koja zahvaća neurološki sustav, uključujući mozak i leđnu moždinu.<sup>11</sup>

U dekompresijskom poremećaju dušik otopljen u krvi i tkivima pod visokim tlakom stvara mjehuriće. Prisutni su osjećaj umora i bol u mišićima i zglobovima, glavobolja, svrbež, zbunjenost. U težem obliku bolesti simptomi mogu biti slični onima moždanog udara ili mogu uključivati utrnulost, trnce, slabost ruku ili nogu, nestabilnost, vrtoglavicu, otežano disanje i bol u prsima. Mjehurići dušika mogu nastati u malim krvnim žilama ili u samim tkivima. Posebno su dekompresijskom poremećaju izložena tkiva s visokim udjelom masti, poput mozga i leđne moždine. To je posljedica izrazitog afiniteta otapanja plina u masnom tkivu. Simptomi dekompresijskog poremećaja obično se razvijaju sporije od simptoma zračne embolije i plućne barotraume. Mogu se razviti unutar dva do dvadeset i četiri sata. Simptomi obično počinju postupno i potrebno je određeno vrijeme da smetnje dosegnu svoj maksimum.

Prvi simptomi mogu biti:

- umor
- gubitak apetita
- glavobolja
- nejasan osjećaj bolesti
- dekompresijski poremećaj tipa I s blagom kliničkom slikom.<sup>11</sup>

Manje uobičajeni simptomi uključuju svrbež, mrlje na koži, osip, oticanje ruke, prsa ili trbuha te izrazit umor. Ovi simptomi ne ugrožavaju život, ali mogu prethoditi jačim simptomima. Lakši tip bolesti ili mišićno - koštani oblik dekompresijskog poremećaja obično uzrokuje bol koja se javlja u zglobovima ruku ili nogu, leđima ili mišićima. Ponekad je točnu lokalizaciju smetnji teško odrediti. Pri kretanju se bol pojačava. Simptomatologija može u početku biti blaga ili povremena, ali simptomi se mogu pojačavati te se javlja oštra bol u dubokim tkivima ronioca. Čak 20 – 30 % lakših formi bolesti prelazi u tešku formu s iznenadnim pogoršanjem bolesti, ako se kasni s rekompresijskom terapijom.

Teža vrsta dekompresijskog poremećaja, tip II, najčešće rezultira neurološkim simptomima, koji se kreću od poremećaja svijesti do paralize i smrti. Leđna moždina posebno je ranjiva u ovom obliku bolesti. Simptomi zahvaćenosti leđne moždine mogu uključivati utrnulost, trnce, slabost ruku, nogu ili slabost oba ekstremiteta. Blaga slabost ili trnci mogu satima napredovati do nepovratne paralize. Mogu se pojaviti inkontinencija stolice i/ili urina. Česti su i bolovi u trbuhu i leđima.

Simptomi zahvaćenosti mozga od kojih je većina slična simptomima zračne embolije su:

- glavobolja
- zbunjenost
- smetnje pri govoru
- dvoslike
- gubitak svijesti.<sup>11</sup>

Simptomi zahvaćenosti unutarnjeg uha, poput jake vrtoglavice, zujanja u ušima i gubitka sluha javljaju se kad je zahvaćen *nervus statoacusticus*. Simptomi zahvaćenosti pluća uzrokovani su mjehurićima plina koji putuju krvlju do pluća, dovode do kašlja, boli u prsima s postupnim pogoršavanjem, otežanim disanjem i gušenjem. Teški slučajevi, koji su rijetki, mogu rezultirati šokom i smrću ronioca.

Ograničavanje dubine i trajanja ronjenja te brzine izrona, s obaveznim zaustavljanjem, može pomoći u prevenciji dekompresijskog poremećaja.

## 5.2. Dekompresijska bolest

Embolija arterija je najopasnija komplikacija neodgovarajuće dekompresije ronioca. Embolija nastaje nakon izrona, a ima za posljedicu prodor zračnih mjehurića u cirkulaciju. Mjehurići se mogu stvoriti u vremenu od nekoliko minuta do nekoliko sati nakon ronjenja, jer dušik u prezasićenom stanju može ostati otopljen u tkivnim tekućinama dulje vrijeme te se nakon toga počne otapati iz tkiva i stvarati mjehuriće plina.<sup>5</sup> Dekompresijska bolest je naziv koji se koristi za oba patološka entiteta, *dekompresijski poremećaj* i *emboliju arterija*.

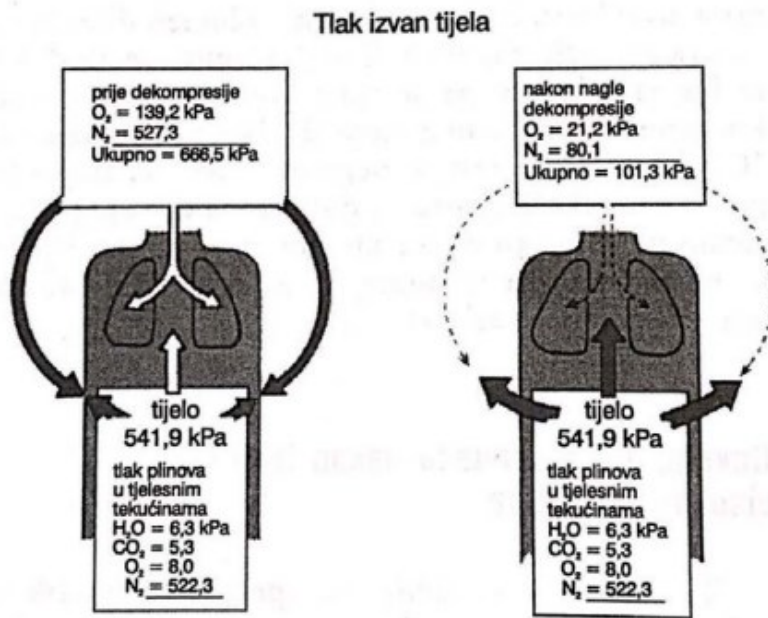
Za razliku od dekompresijskog poremećaja, dekompresijska bolest uključuje težu kliničku sliku te zahtijeva posebnu terapiju i skrb.

Rizik od razvoja dekompresijske bolesti je veći u pojedinaca s bolestima koje predisponiraju nastanak oštećenja tijekom ronjenja. Neke urođene srčane greške, poput oštećenja srčanih zalistaka, perzistirajućeg foramena ovale ili defekta atrijskog septuma, mogu dovesti do nastanka DB. Bitan element rizika na koji se nikako ne bi smjelo zaboraviti je urođena srčana greška lat. *foramen ovale appertum* – stanje koje na normalnom tlaku ne mora izazivati zdravstvene poteškoće, ali kod promjena tlaka ronjenjem dolazi do otvaranja direktne komunikacije između desne i lijeve pretkljetke (desno-lijevi shunt). Time venska krv bogata mjehurićima inertnog plina prelazi direktno u arterijsku cirkulaciju, a mjehurići odlaze u periferna tkiva. Kao posljedica, nastaje DB koja se često komplicira moždanim inzultom ili srčanim udarom, kao i drugim tkivnim infarktima.

Na nastanak DB kod pojedinog ronioca mogu utjecati i okolnosti poput:

- hladna voda u kojoj se roni
- dehidracija ronioca
- letenja nakon ronjenja
- povećani tjelesni napor i rad pod vodom
- umor ronioca
- naglo povećanje tlakova u ronjenju tijekom zarona
- vrijeme provedeno na dubini
- pretilosti
- starija dob ronioca
- brzi i nekontrolirani izron
- nepoštivanje postupaka dekompresije.

Mjehurići dušika mogu oštetiti sva tkiva u tijelu, a također zbog naglog pada tlaka kod brzog izrona dovode do opstruiranja malih krvnih žila. Klinička slika ovisi o lokalizaciji, brojnosti i veličini mjehurića. Prvo su zahvaćene samo manje krvne žile, potom, zbog spajanja manjih mjehura u veće, javlja se opstrukcija većih krvnih žila, te potom ishemija, koja ukoliko se promptno ne liječi, dovodi do nekroze tkiva.<sup>12</sup> Slika 3. prikazuje način nastanka embolije.



Slika 3. U dubini vanjski tlak komprimira tkiva te su plinovi otopljeni (lijevi dio slike). Kod naglog izrona tlak u organizmu postaje znatno viši od vanjskog tlaka koji djeluje na tijelo (desni dio slike), zbog čega se plinovi otapaju i stvaraju mjehuriće koji dovode do nastanka embolije

Izvor Guyton, C. Fiziologija čovjeka i mehanizmi bolesti, Medicinska naklada Zagreb 1995, str. 58.

Kod većine oboljelih početni simptomi su bolovi u zglobovima i mišićima nogu i ruku. Rjeđe se javlja omaglica, paraliza i gubitak svijesti. Paraliza je uglavnom prolazna, ali može ostati i trajna. Najrjeđe se javlja gušenje zbog začepljenja plućnih kapilara, te posljedično tome nastanak plućnog edema, koji može rezultirati smrtnim ishodom.<sup>5</sup>

### **5.3. Liječenje disbaričnih ronilačkih bolesti**

#### **5.3.1. Preventivni postupci neposredno prije ronjenja**

Ronioci obavezno moraju roniti u paru. Kod ronjenja na većim dubinama potrebna je pratnja broda opremljenog s opremom za prvu pomoć i s kisikom. Da bi se izbjeglo nastanak DB, ronilac mora provjeriti s voditeljem ronjenja ili samostalno, opremu prije zarona, te koristiti isključivo ispravnu opremu. Uz to mora poštivati postupak i vremenska ograničenja dekompresije tijekom izrona. Time se omogućuje roniocu da postupno, na fiziološki način, odstrani otopljeni dušik iz tkiva. Pridržavajući se tablica ronjenja, ronilac u predviđenom vremenu za dekompresiju može ukloniti dušik iz organizma. Oko 60% dušika u tkivu može ukloniti za jedan sat, dok se za šest sati ukloni oko 90% otopljenog dušika iz tkiva.<sup>12,13</sup>

Posebnu pažnju treba obratiti na ronioce koji imaju više zarona tijekom jednoga dana.

Rano prepoznavanje i upućivanje u centar za hiperbaričnu medicinu važno je za pravovremeni početak liječenja i dobar ishod dekompresijske bolesti. Ronioci bi trebali imati kisik za trenutnu primjenu u slučaju sumnje na DB. Važno je da voditelj ronjenja ili ronioci imaju mogućnost 24-satne konzultacije s liječnicima, popis ustanova s hiperbaričnom opremom te mogućnost brzog prijevoza ozlijeđenoga do mjesta gdje mu se može pružiti odgovarajuća medicinska pomoć.<sup>14</sup>

### 5.3.2. Ostali preventivni postupci

Kako bi se umanjili negativni utjecaji dušika na većim dubinama, vrši se zamjena zraka u spremnicima smjesom helija i kisika. Helij kod visokog tlaka ima samo petinu narkotičnog učinka dušika, mnogo se manje otapa u tjelesnim tkivima, tj. dvostruko manje u usporedbi s dušikom. Za njegovo oslobađanje iz tkiva prilikom dekompresije, treba mnogo manje vremena ako se uspoređi s oslobađanjem dušika. Manja mu je gustoća od dušika sedam puta, te stoga pruža mnogo manji otpor u dišnim putovima, što je važno na većim dubinama kada su plinovi toliko stlačeni da stvaraju izrazit otpor strujanju. Također treba smanjiti udio kisika u smjesi za disanje, da bi se izbjegao njegov toksični učinak i trovanje kisikom.<sup>5</sup>

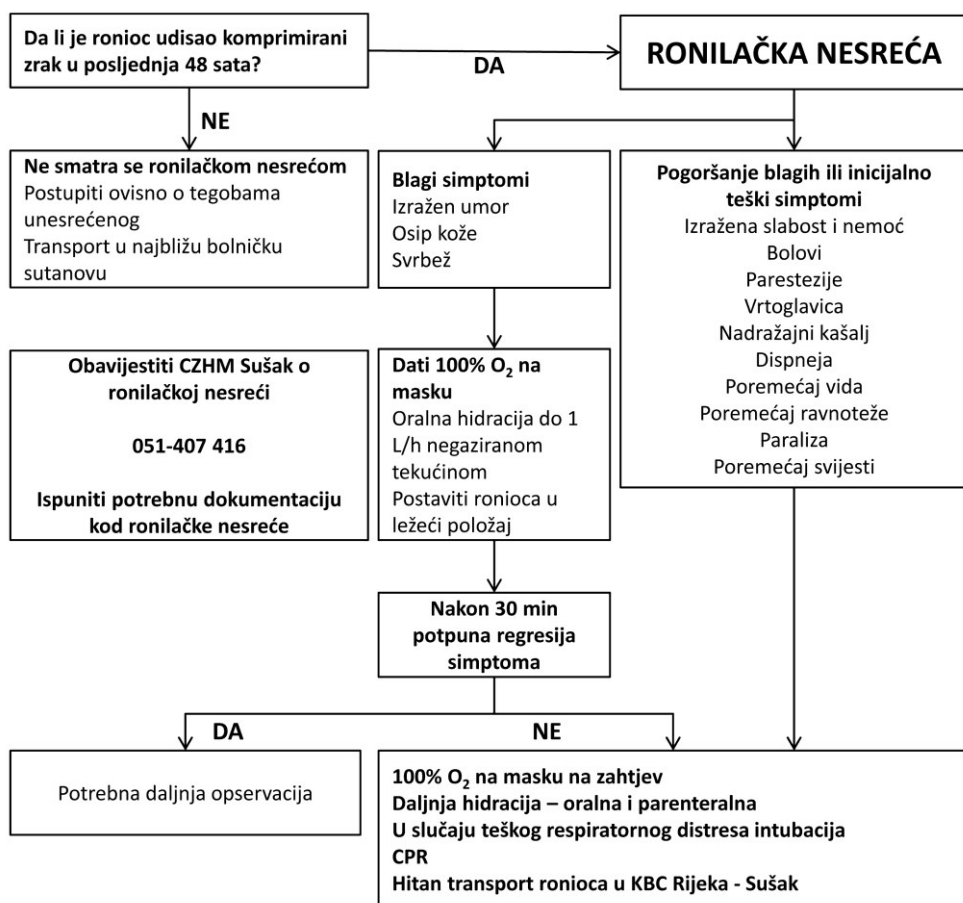
Saturacijsko ronjenje je ronilačka tehnika koja omogućava ronionicima da smanje rizik od dekompresijske bolesti kada rade dulje vrijeme na velikim dubinama. Takvo ronjenje spada u specijalizirani oblik komercijalnog ronjenja. Ronioci za zasićenje tkiva obično udišu smjesu helij-kisik, a na malim dubinama zasićenje se postiže udisanjem mješavine nitroksa.

Kod priprema za ronjenje, kod zarona većeg od 75 m, ronioci se pripremaju tako da kroz razdoblje od nekoliko dana žive u barokomori izloženi tlaku istih vrijednosti kao na dubini na kojoj će boraviti. To kondicioniranje održava tkiva i tjelesne tekućine zasićene plinovima koje će udisati.<sup>5</sup> Nakon zarona vraćaju se u komoru s istim vrijednostima tlaka pa se ne stvaraju mjehurići plinova niti posljedično nastaje dekompresijska bolest. Prijenos ronioca u stambeni prostor vrši se u zatvorenom ronilačkom zvonu pod tlakom, kao i prijenos iz stambenog prostora na odgovarajuću dubinu ronjenja. Ograničavanjem dekompresije na ovaj način, rizik od dekompresijske bolesti značajno se smanjuje. Takav način pripreme ronioca može se održavati najduže nekoliko tjedana.



### 5.3.3. Prva pomoć kod stradalog ronioca

Ronilac koji je imao nekontrolirani izron ili koji sumnja da se kod njega razvija dekompresijska bolest, već na površini vode treba udisati čisti kisik. To će dovesti do smanjenja bolova u zglobovima, koju su inače prvi znak dekompresijske bolesti. Primjenom stopostotnog kisika moguće je smanjiti i neurološke ispade. Potrebno je oboljelom davati tekućinu, najbolje oralnim putem, a ukoliko se javi mučnina i povraćanje, tekućina se nadomješta intravenskim putem. Daljnja terapija je rekompresija bez odlaganja, u što kraćem vremenu, gdje se ronioncu daje kisik pod povišenim tlakom u hiperbaričnoj komori (HBK). Tlak u komori se postupno podiže. Na Slici 4. prikazana je shema postupaka s ronioncem kod sumnje na nastanak disbaričnih bolesti.



Slika 4. Shema postupaka s ronioncem kod sumnje na nastanak disbaričnih bolesti

#### 5.3.4. Liječenje u hiperbaričnoj komori

Hiperbarična komora se koristi kod ronilaca kod kojih je zbog izostanka ili nepravilne dekompresije nastala dekompresijska bolest. Takvog ronioaca je što hitnije potrebno transportirati do HBK, gdje će se učiniti dekompresija uz iste vrijednosti tlaka na kojima je ronio. Dekompresija u sklopu liječenja provodi se znatno duže nego prilikom standardnog izrona.<sup>8</sup>

Liječenje u HBK uključuje upotrebu kisika i rekompresiju visokotlačnom terapijom pri kontroliranim tlakovima. Hiperbarična terapija kisikom (HBTO) djeluje udisanjem visokih koncentracija kisika u komori pod tlakom. U terapijskim uvjetima parcijalni tlak kisika otopljenog u plazmi može doseći razinu veću od 20 puta od one u zraku pri normalnom atmosferskom tlaku. Tada se plazma bogata kisikom može transportirati u hipoksično ili ishemijsko tkivo kako bi se potaknulo angiogenezu, smanjilo edem tkiva i modulirao odgovor imunološkog sustava.<sup>5</sup> Rekompresijom se postiže preraspodjela i ponovno otapanje plina u tjelesnim tekućinama, smanjenje volumena mjehurića plina, te smanjenje edema i hipoksije tkiva.<sup>7</sup> Visoki tlak u HBK koji se koristi za liječenje, utječe na smanjenje volumena mjehurića plina, dok kisik smanjuje negativan učinak hipoksije i ishemije. Slika 5. prikazuje hiperbaričnu komoru za jednu osobu.



Slika 5. Manja hiperbarična komoru za jednu osobu.

Kod pojave sumnje na *plinsku emboliju*, koja se javlja kod naglog rasta tlaka u plućima zbog prebrzog izrona, potrebno je osigurati prohodnost dišnih puteva, te disanje stopostotnog kisika uz što hitniji prijevoz do najbližeg centra s HBK. Kod prijevoza zračnim putem, potrebno je staviti pod tlak prostor u kojem se nalazi ronilac ili se treba omogućiti let na nižoj visini, u cilju izbjegavanja dodatnog pada tlaka.

Ako se pojavio *edem mozga* primjenjuje se bolus doza od 10 mg deksametazona. Općenito neurološki ispadi su indikacija za rekompresiju s hiperbaričnom oksigenacijom. Kod ovakvih bolesnika primjenjuje se farmakološka terapija, antritrombocitnim lijekovima, kao što je aspirin, kortikosteroidima za smanjivanje edema mozga, te antikonvulzivima.<sup>7</sup>

Ako je oštećeno *unutarnje uho*, potrebno je uraditi hitnu rekompresiju ronioca, uz terapiju vazodilatatornim i protuupalnim lijekovima.

Za liječenje dekompresijske bolesti i drugih disbaričnih ronilačkih bolesti razvijeni su rekompresijski protokoli kojima je cilj ponovo otopiti slobodne mjehuriće inertnog plina i kisikom ih izbaciti preko pluća iz organizma. U praksi se koriste više terapijskih protokola rekompresije. U našoj zemlji su uglavnom u uporabi terapijske tablice američke ratne mornarice (US Navy).

Prema odluci Hrvatskog zavoda za zdravstveno osiguranje, od 30. 07. 2008.god., indikacije za liječenje hiperbaričnim kisikom čije troškove liječenja pokriva zavod su slijedeće: dekompresijska bolest, akutno otrovanje s ugljičnim monoksidom (CO), otrovanje cijanidima, pesticidima, nitritima, zračna embolija, plinska gangrena, akutne ishemijske traumatske (posebno crush i compartment sindrom), iznenadna gluhoća, disbarična osteonekroza, Bellova pareza, kronični refraktorni osteomijelitis, koji je neuspješno liječen drugim metodama liječenja tijekom najmanje tri mjeseca.<sup>15</sup>

### **5.3.5. Farmakološko liječenje**

Osim liječenja u HBK, ovisno o vrsti i stupnju oštećenja kod pojedinog ronioca, može se koristiti i različita farmakološka terapija, uz osnovno liječenje u HBK. Kod lakših oblika tipa I dekompresijskog poremećaja farmakoterapija u nekih oboljelih može biti i jedina potrebna terapija. U terapiji se koriste vazodilatatori te liječenje protuupalnim lijekovima. Bolesnika je potrebno parenteralno rehidrirati infuzijama. U slučaju edema mozga i pluća u terapiji se daju parenteralno kortikosteroidi.<sup>7</sup> Nesteroidni upalni lijekovi, poput diklofenaka, primjenjuju se u slučaju bolova u mišićima i zglobovima.<sup>16</sup>

#### 5.4. Zdravstveni nadzor i preventivne mjere

Ronjenje, kao izuzetno zahtjevna profesija i sport, zahtijeva da ronilac ima određene mentalne i tjelesne sposobnosti, te određena znanja i vještine. Potrebno je spomenuti i opremu za ronjenje, koja je sve bolja te omogućuje dublji i duži zaron. Stoga se trebaju osigurati odgovarajući zdravstveni pregledi ronilaca u svrhu preveniranja ozljeda. Kod zdravstvenih pregleda ronilaca potrebno je spomenuti dvije vrste pregleda, s obzirom na to o kojoj se vrsti ronilaca radi, rekreativnim roniocima, ili profesionalnim roniocima.<sup>8</sup> Registrirani ronionci prema nalogu Ministarstva mora prometa i infrastrukture, dobivaju potvrdu o sposobnosti za ronjenje od specijaliste sportske medicine i specijalista medicine rada.<sup>17</sup> Kod zdravstvenih pregleda rekreativaca dovoljno je ispuniti medicinski upitnik za dobivanje dozvole za ronjenje.

Prema Gošoviću kod zdravstvenog pregleda ronilaca potrebno je:

- uzeti iscrpnu anamnezu ronionca, izravno i putem upitnika
- učiniti antropometrijska mjerenja koja uključuju mjerenje tjelesne visine, mase tijela i indeksa tjelesne mase i opsega struka
- funkcionalno ispitivanje fizičkih sposobnosti
- rendgenski pregled srca i pluća
- elektrokardiografski pregled
- otorinolaringološki pregled uha, grla i nosa
- neuropsihijatrijski pregled, uz elektroencefalografiju
- oftalmološki pregled s određivanjem oštine vida i pregledom očne pozadine
- pregled usne šupljine i zubala
- učiniti psihološko testiranje.<sup>8</sup>

Na temelju rezultata svih pregleda vrši se procjena zdravstvene osposobljenosti profesionalnog ronionca za ronjenje, kao i moguća ograničenja za ronjenje, pri čemu je velika odgovornost liječnika koji potpisuje dozvolu za ronjenje.<sup>18</sup> Prema navedenim ograničenjima,

ronjenje je zabranjeno za osobe koje imaju bilo koju vrstu organskih bolesti srca, bronhiektazije, plućne upalne bolesti, akutni i kronični sinusitis s polipozom, astmu, pneumotoraks, cistične promjene na plućima, epilepsiju, shizofreniju, sklonosti sinkopama, klaustrofobiju, ovisnosti o alkoholu i opijatima.<sup>8</sup> Za ronjenje nisu sposobne niti osobe koje su imale operativno-rekonstruktivne zahvate na uhu koji im onemogućavaju izjednačavanje tlaka između srednjeg uha i okoline, te osobe s traheostomom.

Rizik od dekompresijske bolesti može se umanjiti na nekoliko načina. Ronioci bi trebali izbjegavati letenje tijekom 24 sata prije ronjenja. Također, trebali bi izbjegavati izlaganje hladnoći, tešku tjelovježbu, konzumiranje alkohola prije ronjenja i dehidraciju. Sve navedeno povećava rizik od nastanka DB. Preliminarna istraživanja također pokazuju da umjereno vježbanje nekoliko sati prije ronjenja može djelovati pozitivno na ronjenje, dok vježbanje nakon ronjenja može povećati rizik od nastanka DB.<sup>19</sup>

Rano prepoznavanje i upućivanje u hiperbarični centar važno je za pravovremeno liječenje i dobar ishod dekompresijske bolesti. Stoga, bi ronioci trebali biti upoznati s osnovnim simptomima dizbaričnih bolesti. Svaki ronilac kod sebe mora imati dekompresijske tablice za ronjenje. Ronioci bi također u pratećem plovilu trebali imati kisik za trenutnu primjenu u slučaju sumnje na DB ili u slučaju nekontroliranog izrona. Također je važno da ronioci imaju mogućnost 24-satne konzultacije s liječnicima, popis ustanova s HBK te mogućnost brzog prijevoza ozlijeđenoga, uključujući i dostupnost helikoptera.

## 6. ZAKLJUČAK

Ronjenje je aktivnost koja se zadnjih godina znatno proširila, osobito među sportskim i rekreativnim ronionicima. Tijekom ronjenja može doći do nastanka dizbarične ronilačke bolesti. Takve se bolesti mogu češće razviti kod ronjenja u velikim dubinama te kod više uzastopnih zarona tijekom jednog dana. Nastanku bolesti su osobito izloženi ronionci s nekontroliranim izronom.

Izuzetno je važno pravovremeno posumnjati na dizbaričnu ronilačku bolest. Prva pomoć obuhvaća udisanje čistoga kisika već na morskoj površini. Dekompresiju ronionca je potrebno učiniti što prije u hiperbaričnoj komori. Čak i kod blagih simptoma bolesti neodložno je potrebno liječenje u hiperbaričnoj komori, jer čak 20 – 30 % lakših formi bolesti prelazi u tešku formu s iznenadnim pogoršanjem bolesti, ukoliko se ne započne pravovremena terapija. Izuzetno je važno da ronionci znaju prepoznati dizbarične simptome, da imaju mogućnost 24-satne konzultacije s liječnicima, da imaju popis ustanova s hiperbaričnom komorom te mogućnost brzog prijevoza ozlijeđenoga do mjesta gdje mu se može pružiti odgovarajuća medicinska pomoć.

## 7. LITERATURA

1. Petković, Z. (2004) Popis članica HRS-a. Ronilac – glasilo HRS-a. 2(3):210
2. Čukušić, I. Speleoronilačko spašavanje – priručnik. Zagreb, Hrvatska gorska služba spašavanja, 2014.
3. Encyclopeda Britannica. Gas – diffusion. Dostupno na adresi: <https://www.britannica.com/science/gas-state-of-matter/Diffusion>. Datum pristupa informaciji 17.10.2021.
4. Gregersen, E. Gas laws. Dostupno na adresi: <https://www.britannica.com/science/gas-laws>. Datum pristupa informaciji 17.10.2021.
5. Guyton, J., Hall, J. Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology (Guyton Physiology) 13th Edition. Student Consult: New York.
6. Encyclopedia Britannica. Boyle law. Dostupno na adresi: <https://www.britannica.com/science/Boyles-law>. Datum pristupa informaciji 17.10.2021.
7. Jain K. K. Udžbenik hiperbarične medicine. Pula: Poliklinika za baromedicinu i medicinu rada OXY. 2010.
8. Gošović S. Ronjenje u sigurnosti. Zagreb: Jumena. 1990.
9. Chin W, Joo E, Ninokawa S, Popa DA, Covington DB. Efficacy of the U.S. Navy Treatment Tables in treating DCS in 103 recreational scuba divers. Undersea Hyperb Med. 2017; 44(5): 399-405
10. Oriani G, Marroni A, Wattel E, editors. Handbook on hyperbaric medicine. New York: Springer. 1996.
11. Moon, R. Decompression Sickness. Dostupno na stranici: <https://www.msmanuals.com/home/injuries-and-poisoning/diving-and-compressed-air-injuries/decompression-sickness>. Datum pristupa informaciji 17.10.2021.
12. Glavaš D. Djelovanje ronjenja sa stlačenim zrakom na pojavljivanje mjehurića inertnog plina u rekreacijskih ronilaca i osoba s kroničnom ozljedom kralješničke moždine : doktorska disertacija. Split: Medicinski fakultet. 2010.



13. Mitchell SJ, Doolette DJ. Pathophysiology of inner ear decompression sickness: potential role of the persistent foramen ovale. *Diving Hyperb Med.* 2015; 45(2): 105-10
14. Mitchell SJ, Bennett MH, Bryson P, Butler FK, Doolette DJ, Holm JR, Kot J, Lafère P. Consensus guideline: Pre-hospital management of decompression illness: expert review of key principles and controversies. *Undersea Hyperb Med.* 2018; 45(3): 273-286
15. Marinović M, Fumić N, Reinić B, Barković I, Marcucci E, Brusić J, Bakota B. Hiperbarična oksigenacija u Kliničkom bolničkom centru Rijeka. *Acta Med Croatica.* 2016; (1) 83-91.
16. Edmonds C. *Diving Medicine for Scuba Divers.* Manly, NSW: 2013.
17. Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture (2010) Pravilnik o obavljanju podvodnih aktivnosti, Zagreb: Narodne novine 96/2010.
18. Furlan, Tomislav (2009), Prijedlog zdravstvenih kriterija i opsega pregleda ronioaca (specijalistički rad), Zagreb, Medicinski fakultet
19. Madden D, Thom SR, Dujic Z. Exercise before and after SCUBA diving and the role of cellular microparticles in decompression stress. *Med Hypotheses.* 2016; 86: 80-84

# ŽIVOTOPIS

## OPĆI PODATCI:

**Ime i prezime:** Matea Škugor

**Datum rođenja:** 13.3.1994.

**Mjesto rođenja:** Šibenik, Republika Hrvatska

**Državljanstvo:** hrvatsko

**Adresa stanovanja:** Grubišići 3, Dubrava kod Šibenika

**Broj mobitela:** 098 742 839

**E-mail:** matea.skugor@hotmail.com

## OBRAZOVANJE:

**2008. - 2012.** - Medicinska i kemijska škola Šibenik

**2014. - 2017.** - Zdravstveno veleučilište Zagreb, Izvanredni studij Sestrinstva

**2015. - 2016.** - Program pedagoško-psihološkog didaktičkog-metodičkog obrazovanja

## ZNANJA I VJEŠTINE:

Aktivno korištenje engleskog jezika, poznavanje njemačkog i talijanskog jezika

Aktivno korištenje programskim paketom MS Office

Sposobnost analitičkog mišljenja i logičkog zaključivanja

Dobro razvijene organizacijske vještine, sklonost timskom radu, otpornost rada pod pritiskom, spremnost na inovacije

Vozačka dozvola A, B kategorije

## OSTALO:

2017. - Napredni ITLS tečaj (International Trauma Life Support)

2017. - Napredni ALS tečaj (Advanced Life Support)

2019. - Tečaj MPDJ ( Medicinsko prijavno-dojavna jedinica)

2021. – Instruktorski tečaj ronjenja (SNSI)

## RADNO ISKUSTVO:

2013. - 2014. - Stručno osposobljavanje bez zasnivanja radnog odnosa, Opća bolnica Šibenik

2014. - 2017. - Dom zdravlja Šibenik

2017. - ... - Zavod za hitnu medicinu Šibensko-kninske županije