

# Prevalencija i tipovi dekompresijske bolesti kod ronilaca u razdoblju 2010.-2020. godine

---

**Maloča Burica, Anamarija**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:176:914714>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-24**

*Repository / Repozitorij:*



Sveučilišni odjel zdravstvenih studija  
SVEUČILIŠTE U SPLITU

[Repository of the University Department for Health Studies, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



**SVEUČILIŠTE U SPLITU**

**Podružnica**

**SVEUČILIŠNI ODJEL ZDRAVSTVENIH STUDIJA  
DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ SESTRINSTVA**

**Anamarija Maloča Burica**

**PREVALENCIJA I TIPOVI DEKOMPRESIJSKE BOLESTI  
KOD RONILACA U RAZDOBLJU 2010. - 2020. GODINE**

**Diplomski rad**

**Split, 2024.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**Podružnica**  
**SVEUČILIŠNI ODJEL ZDRAVSTVENIH STUDIJA**  
**DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ SESTRINSTVA**

**Anamarija Maloča Burica**

**PREVALENCIJA I TIPOVI DEKOMPRESIJSKE BOLESTI  
KOD RONILACA U RAZDOBLJU 2010. - 2020. GODINE**

**PREVALENCE AND TYPES OF DECOMPRESSION  
DISEASE AMONG DIVERS IN THE PERIOD 2010 - 2020**

**Diplomski rad/Master's Thesis**

Mentorica:

izv. prof. dr. sc. Vesna Antičević

**Split, 2024.**

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

## DIPLOMSKI RAD

Sveučilište u Splitu  
Sveučilišni odjel zdravstvenih studija  
Diplomski sveučilišni studij sestrinstva

**Znanstveno područje: biomedicina i zdravstvo**  
**Znanstveno polje: kliničke medicinske znanosti**

**Mentor: izv. prof. dr. sc. Vesna Antičević**

### PREVALENCIJA I TIPOVI DEKOMPRESIJSKE BOLESTI KOD RONILACA U RAZDOBLJU 2010. - 2020. GODINE

Anamarija Maloča Burica, 0063014572

**Cilj:** Glavni je cilj istraživanja prikazati prevalenciju i tipove dekompresijske bolesti na Zavodu za pomorsku, podvodnu, hiperbaričnu medicinu u Splitu od 2010. do 2020. godine. Specifični su ciljevi istraživanja prikazati podatke o ronionicima prema broju intervencija, tipu dekompresijske bolesti, dubini zarona, ishodu liječenja te sociodemografskim podacima (spolu, dobi i nacionalnost), ispitati razlike u tipovima dekompresijske bolesti u odnosu na dubine zarona, spol i dob te ispitati povezanost dubine zarona i ishoda liječenja.

**Metode i ispitanici:** Provedena je retrospektivna analiza medicinske dokumentacije od 2010. do 2020. godine s obzirom na dekompresijsku bolest. Varijable su opisane frekvencijama i postocima. Prilikom testiranja odnosa određenih pokazatelja i sociodemografskih značajki ispitanika korišten je Hi-kvadrat test. Kao razina značajnosti korištena je vrijednost od 5 % ( $p < 0,05$ ). U istraživanju je sudjelovao 141 pacijent koji se u tom razdoblju liječio od dekompresijske bolesti na Zavodu za pomorsku, podvodnu, hiperbaričnu medicinu u Splitu.

**Rezultati:** Broj intervencija u promatranom razdoblju porastao je za više od tri puta. Pokazalo se da je tip 2 dekompresijske bolesti tri puta češći od tipa 1 dekompresijske bolesti. Većina ispitanih pacijenata (63,1 %) ronila je na dubinama do 40 metara. Najčešći ishod bolesti (u 94,2 % slučajeva) bilo je izlječenje. Većina ispitanih ronilaca (njih 80,9 %) bili su muškarci, pacijenti u dobi od 41 godine i više (80,1 %) te hrvatski državljani (34,8 %). Utvrđena je statistički značajna razlika između tipa dekompresijske bolesti s obzirom na dob ispitanika. Razlike između dubine zarona i spola pacijenata i tipa dekompresijske bolesti nije utvrđena. Dokazana je statistički značajna povezanost između dubine zarona pacijenata i ishoda liječenja dekompresijske bolesti.

**Zaključci:** Vrlo je visoki postotak izlječenja dekompresijske bolesti jer je zdravstveni tim obučan, stručan i reagira pravovremeno zbog pripravnosti. Međutim, prilikom ronilačkih incidenata nužan je što raniji dolazak do Zavoda i početak liječenja.

**Ključne riječi:** dekompresijska bolest; barokomora; HBOT; ronionci

**Rad sadrži:** 57 stranica, 7 slika, 14 tablica, 31 literaturna referenca

**Jezik izvornika:** hrvatski

## BASIC DOCUMENTATION CARD

## MASTER THESIS

**University of Split**  
**University Department for Health Studies**  
**Master of Nursing**

**Scientific area: biomedicine and health care**  
**Scientific field: clinical medical sciences**

**Supervisor: izv. prof. dr. sc. Vesna Antičević**

### **PREVALENCE AND TYPES OF DECOMPRESSION DISEASE AMONG DIVERS IN THE PERIOD 2010 - 2020**

Anamarija Maloča Burica, 0063014572

**Objective:** The main objective of the research is to show the prevalence and types of decompression sickness at the Institute for Maritime, Underwater, Hyperbaric Medicine in Split from 2010 to 2020. The specific objectives of the research are to present data on divers according to the number of interventions, type of decompression sickness, depth of dive, outcome of treatment and sociodemographic data (gender, age and nationality), to examine differences in types of decompression sickness in relation to diving depth, gender and age, and to examine the connection diving depth and treatment outcomes.

**Methods and subjects:** A retrospective analysis of medical records from 2010 to 2020 was conducted with regard to decompression sickness. Variables described by frequencies and percentages. When testing the connection between certain indicators and the socio-demographic features of the respondents, the Chi-square test was used. A value of 5% ( $p < 0.05$ ) was used as the level of significance. In the research 141 patients were treated for decompression sickness at the Institute for Maritime, Underwater, Hyperbaric Medicine in Split.

**Results:** The number of interventions in the observed period increased by more than three times. Type 2 decompression sickness has been shown to be three times more common than type 1 decompression sickness. The majority of examined patients (63.1%) dived at depths of up to 40 meters. The most common outcome of the disease (in 94.2% of cases) was cure. Most of the examined divers (80.9%) were men, patients aged 41 and over (80.1%) and Croatian citizens (34.8%). A statistically significant difference was found between the type of decompression sickness with regard to the age of the subjects. Differences between the depth of the dive and the gender of the patients and the type of decompression sickness were not determined. A statistically significant correlation between the depth of the patient's dive and the outcome of the treatment of decompression sickness was proven.

**Conclusions:** There is a very high percentage of cure of decompression sickness because the medical team is trained, professional and reacts in a timely manner due to preparedness. However, in case of diving incidents, it is necessary to arrive at the Institute as early as possible and start treatment.

**Key words:** decompression sickness; barochamber; HBOT; divers

**The paper contains:** 57 pages, 7 pictures, 14 tables, 31 literature references.

**Original language:** Croatian.

## ZAHVALA

Hvala mojoj mentorici izv. prof. dr. sc. Vesni Antičević koja mi je pomogla u pisanju i smjernicama za izradu diplomskog rada.

Zahvaljujem se roditeljima Anti i Nadi Maloča te sestrama Ružici Maloča Barbir , Andrei Dalić i Antoniji Paleško na potpori i poticaju za daljnje školovanje i napredovanje.

Također se zahvaljujem svojoj obitelji – suprugu Alekseju i kćerima Emanueli i Antei jer su moj najveći motiv da mama radi što voli i bude sretna. Hvala Vam što ste bili strpljivi i puni ljubavi dok me nije bilo.

Posebna zahvala mojem poslodavcu MORH-u i Zavodu za pomorsku, podvodnu i hiperbaričnu medicinu u Splitu što mi je omogućio da istražim i napravim istraživači diplomski rad na temu dekompresijske bolesti u periodu istraživanja 2010.-2020.god. Zahvaljujem se svojim kolegicama i kolegama na odjelu na razumijevanju za predavanja, vježbe i cijeli proces istraživanja.

A posebna zahvala ide mojim prijateljicama Marini Tičinović, Ireni Plejić Vuletić, Vinki Bajić Bilankov te Mireli Cecić koje su bile na raspolaganju meni i djeci kad je to bilo potrebno.

Posebna hvala mom svekru Milivoju Burici koji je čuvao i pazio djecu kad je to bilo potrebno.

## **KRATICE**

ATA	apsolutna atmosfera
DB	dekompresijska bolest
HBOT	hiperbarična oksigenoterapija
HZZO	Hrvatski zavod za zdravstveno osiguranje
IPM	Institut za pomorsku medicinu
KBC	klinički bolnički centar
KOPB	Kronična opstruktivna plućna bolest
MORH	Ministarstvo obrane i oružanih snaga Republike Hrvatske
SŽS	središnji živčani sustav
ZPM	Zavod za pomorsku, podvodnu i hiperbaričnu medicinu

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b>	<b>1</b>
<b>1.1. POVIJESNI RAZVOJ HIPERBARIČNE OKSIGENOTERAPIJE (HBOT) I MEDICINE RONJENJA U SVIJETU</b>	<b>1</b>
<b>1.2. POVIJEST RONJENJA U HRVATSKOJ</b>	<b>2</b>
<b>1.3. POVIJESNI RAZVOJ HBOT TERAPIJE U HRVATSKOJ</b>	<b>3</b>
<b>1.4. PODVODNA MEDICINA U HRVATSKOJ</b>	<b>3</b>
<b>1.5. FIZIOLOGIJA RONJENJA</b>	<b>4</b>
<b>1.5.1. Kisik – toksičnost</b>	<b>5</b>
<b>1.5.2. Helij</b>	<b>6</b>
<b>1.6. DIŠNI SUSTAV</b>	<b>7</b>
<b>1.7. DEKOMPRESIJSKA BOLEST</b>	<b>9</b>
<b>1.7.1. Dekompresijska bolest u ronjenju</b>	<b>9</b>
<b>1.7.2.</b>	<b>11</b>
<b>1.7.3. Čimbenici rizika za dekompresijsku bolest</b>	<b>11</b>
1.7.3.1. Dob .....	13
1.7.3.2. Tjelesna težina .....	13
1.7.3.4. Hladnoća .....	13
1.7.3.4. Tjelesni napor .....	13
1.7.3.5. Spol .....	14
1.7.3.6. Profil ronjenja .....	14
1.7.3.7. Učestalost izrona .....	14
<b>1.7.4. Patofiziologija dekompresijske bolesti</b>	<b>15</b>
1.7.4.1. Blaži oblik dekompresijske bolesti .....	16
1.7.4.2. Teži oblik dekompresijske bolesti .....	16
<b>1.7.5. Učestalost dekompresijske bolesti</b>	<b>17</b>
<b>1.7.6. Komplikacije dekompresijske bolesti</b>	<b>18</b>
1.7.6.1. Barotrauma pluća .....	18
1.7.6.2. Oštećenja središnjeg živčanog sustava .....	18
1.7.6.3. Disbarična osteonekroza .....	18



1.7.6.4. Visinska dekompresijska bolest.....	19
1.7.6.5. Kasne posljedice dekompresijske bolesti .....	19
<b>1.7.7. Liječenje dekompresijske bolesti</b>	<b>21</b>
<b>1.8. VRSTE RONILACA</b>	<b>24</b>
<b>1.9. BAROKOMORA</b>	<b>24</b>
<b>1.10. HIPERBARIČNA OKSIGENACIJA</b>	<b>26</b>
1.10.1. Toksičnost kisika	27
1.10.2. Toksičnost za središnji živčani sustav	29
1.10.3. Farmakokinetička svojstva	30
1.10.4. Posebne mjere pri čuvanju lijeka	30
<b>1.11. TIMSKI RAD U LIJEČENJU DEKOMPRESIJSKE BOLESTI INTERVENCIJE MEDICINSKE SESTRE/TEHNIČARA I SKRB PRILIKOM HIPERBARIČNE OKSIGENACIJE</b>	<b>31</b>
<b>2. CILJEVI RADA</b>	<b>34</b>
<b>3. IZVORI PODATAKA I METODE</b>	<b>36</b>
3.1. ISPITANICI	36
3.2. METODE	36
3.3. ETIČKA PITANJA	37
<b>4. REZULTATI</b>	<b>38</b>
4.1. BROJ MEDICINSKIH INTERVENCIJA, DUBINA ZARONA, TIPOVI DEKOMPRESIJSKE BOLESTI I ISHODI MEDICINSKIH INTERVENCIJA OD 2010. DO 2020. GODINE	38
4.2. OBILJEŽJA PACIJENATA KOJI SE LIJEČE OD DEKOMPRESIJSKE BOLESTI S OBZIROM NA DOB, SPOL I NACIONALNU PRIPADNOST	40
4.3. RAZLIKE U TIPU DEKOMPRESIJSKE BOLESTI S OBZIROM NA DOB, SPOL I DUBINU ZARONA	42
4.4. POVEZANOST DUBINE ZARONA I ISHODA LIJEČENJA DEKOMPRESIJSKE BOLESTI	45
<b>5. RASPRAVA</b>	<b>47</b>
<b>6. ZAKLJUČCI</b>	<b>52</b>
<b>7. LITERATURA</b>	<b>53</b>



# 1. UVOD

Ronjenje je boravak propisno pripremljenog i opremljenog ronilaca pod vodom zbog izvršenja određenih zadaća pod vodom. Ronjenje počinje trenutkom zaranjanja ispod površine vode, a završava trenutkom izrona na površinu. Ono podrazumijeva svako razdoblje provedeno pod vodom tijekom kojeg ronilac udiše zrak ili pak kisik, odnosno mješavinu određenih plinova. Isto tako, to je razdoblje provedeno pod vodom u kojem ronilac udiše zrak, kisik ili mješavine plinova. Osim toga, pojam ronjenja odnosi se i na razdoblja koja ronionci, medicinsko osoblje i tehničari provode u okruženjima pod tlakom kao što su komore, kesoni, odsječeni odsjeci, mini podmornice, ronilačka zvana i slični uređaji. Podvodnim spuštanjem naziva se boravak pod vodom u uređajima kao što su čvrsti skafander, promatračke komore, podmornice i komore za jedno atmosfersko podvodno zavarivanje (1).

## 1.1. POVIJESNI RAZVOJ HIPERBARIČNE OKSIGENOTERAPIJE (HBOT) I MEDICINE RONJENJA U SVIJETU

Kada je riječ o povijesnom razvoju hiperbarične oksigenoterapije (HBOT) i medicine ronjenja u svijetu nužno je započeti pregled s kemičarom Carlom Wilhelmom Scheelom koji je 1772. godine otkrio kisik dajući mu ime „plameni zrak“. Dvije godine kasnije Joseph Priestly je ponavljao eksperimente svojeg prethodnika te je također otkrio kisik. Godine 1789. toksične učinke kisika prvi su opisali Lavoisier i Seguin, dok su Beddoes i Watt napisali inauguralnu knjigu o liječenju kisikom 1796. Paul Bert znanstveno je objasnio toksičnost kisika 1878. i zalagao se za korištenje normobaričnog kisika za liječenje dekompresijske bolesti. Godine 1937. Behnke i Shaw prvi su put upotrijebili hiperbaričnu oksigenaciju za liječenje dekompresijske bolesti. Nizozemski liječnik Boerema proveo je pokuse na svinjama, dokazujući mogućnost održavanja života bez krvi udisanjem kisika pod pritiskom. Osim toga, Boerema i Brummelkamp postigli su uspješno liječenje plinske gangrene hiperbaričnom oksigenacijom 1961. Nadalje, dvije godine kasnije, inauguracijski međunarodni kongres hiperbarične medicine održan je u Amsterdamu.

Tijekom šezdesetih i sedamdesetih godina prošlog stoljeća korisni učinci hiperbarične oksigenacije iskorišteni su za liječenje pacijenata s osteomijelitisom, moždanim udarom, multiplom sklerozom, iznenadnim gubitkom sluha itd. Početkom sedamdesetih godina prošlog stoljeća formirano je Europsko podvodno i baromedicinsko društvo. Sedamdesetih godina prošlog stoljeća započela je i ekspanzija hiperbarične medicine u Japanu i SSSR-u, a u Kini osamdesetih godina 20. stoljeća. Godine 1983. dr. Neubauer formirao je i predvodio američko sveučilište American College of Hyperbaric Medicine. Godine 1988. osnovano je Međunarodno društvo hiperbarične medicine, dok je naredne godine osnovan Europski komitet za hiperbaričnu medicinu. Inauguralna konsenzusna konferencija o hiperbaričnoj medicini održana je u Lilleu 1994. godine, što je rezultiralo uspostavom Europske konsenzus liste odobrenih indikacija za HBOT. Dvije godine nakon toga objavljeno je prvo izdanje Priručnika za hiperbaričnu medicinu (engl. *Handbook of Hyperbaric Medicine*) koje su uredili Alessandro Marroni i Giorgio Oriani. Drugo je izdanje objavljeno 2006. godine pod uredništvom Daniela Mathieua (2).

## **1.2. POVIJEST RONJENJA U HRVATSKOJ**

U Hrvata je tradicija ronjenja stara i bogata. Povijest ronjenja vjerojatno počinje prvim susretom Hrvata s plavim prostranstvom. Izvjesno je da Hrvati rone preko tisuću godina. Međutim, kroz povijest su, nažalost, najčešće ronili za tuđi račun i za tuđu slavu. Novija povijest ronjenja u Hrvatskoj počinje spužvarenjem na otoku Krapnju, što je kolijevka hrvatskoga ronjenja (3, 4).

Prva oprema za podvodnu djelatnost pojavljuje se na otoku Krapnju 1893. godine. Ta se godina vjerojatno može smatrati rođendanom ronilaštva u Dalmaciji i Hrvatskoj. Instaliranjem velike rekompresijske komore na m/b Labin 1949. godine, omogućeno je da hrvatski ronionci rone dublje i sigurnije. U toj se komori liječili stotinjak slučajeva dekompresijske bolesti u ronilaca. Prvi ronilački aparat zatvorenog kruga disanja izrađen je 1950. godine u Rijeci. Ronilaštvo njeguje i osobitu mu pozornost posvećuje Hrvatska ratna mornarica (3).

### **1.3. POVIJESNI RAZVOJ HBOT TERAPIJE U HRVATSKOJ**

U Hrvatskoj su u drugoj polovici šezdesetih godina prošlog stoljeća u znanstvenim krugovima počeli objavljivati članke o mogućnostima primjene hiperbarične oksigenacije te se ubrzo nakon toga HBOT počeo primjenjivati u kliničkoj medicini na Institutu pomorske medicine u Splitu. Hiperbarična medicina postaje dio specijalizacije iz pomorske medicine koja se u Institutu provodi za potrebe vojne medicine.

U Institutu se od 1991. do 1995. godine uspješno liječiti 200 najtežih ratnih ranjenika. Komora je radila neprekidnih 1200 dana i noći, što je pothvat svjetskih razmjera. Godine 1995. u Splitu je otvorena prva ordinacija opće medicine s jednomjesnom barokomorom, dok je godinu dana kasnije u Puli otvorena Poliklinika za baromedicinu OXY s višemjesnom barokomorom (5).

U Splitu je 1996. godine Hrvatsko društvo za pomorsku, podvodnu i hiperbaričnu medicinu Hrvatskog liječničkog zbora organiziralo prvi znanstveni kolokvij na temu *Pomorska, podvodna i hiperbarična medicina*. Godine 2008. Hrvatski zavod za zdravstveno osiguranje donio je Hrvatsku listu indikacija za hiperbaričnu oksigenaciju, čime je započelo liječenje HBOT-om uz liječničku uputnicu, a na temelju strogo definirane liste indikacija. Na Medicinskom fakultetu u Splitu 2010. godine u obvezni program studija opće medicine uključeni su i sadržaji iz hiperbarične oksigenacije (5).

### **1.4. PODVODNA MEDICINA U HRVATSKOJ**

U Hrvatskoj se podvodna medicina razvija skoro isključivo za potrebe Hrvatske ratne mornarice u Institutu pomorske medicine u Splitu (IPM HRM). Na Odjelu za podvodnu i hiperbaričnu medicinu tog instituta nalazi se jedina velika višesjedna rekompresijska komora s ronilačkim simulatorom u kojoj se pored specifičnih disbaričnih ronilačkih bolesti uspješno liječi niz drugih bolesti primjenom metode disanja kisika na povišenom tlaku (hiperbarična oksigenacija). Hrvatska lista indikacija za HBOT jedna je od tek nekoliko objavljenih u svijetu. Zavod za pomorsku medicinu (ZPM) osnovan kao dio Vojnog zapovjedništva za potporu oružanih snaga Republike Hrvatske. Tradiciju toga odjela započinje kao Institut za pomorsku medicinu 1964. godine kada ga je osnovao

Ernest W. Zorn. Odjel za podmorsku i podvodnu hiperbaričnu medicinu osnovao je Stracimir Gošović 1987. godine (3).

U Splitu je utemeljen kao ustanova Oružanih snaga Republike Hrvatske 16. rujna 1991. godine Zavod, odnosno bivši Institut pomorske medicine. Hitni tim s pripravnostima pokriva područje od Paga do Cavtata, uključujući sve otoke srednjeg i južnog Jadrana. Zavod čine : Odjel medicine rada, Odjel za pomorsku, podvodnu i hiperbaričnu medicinu, Odjel za obuku i Odsjek za potporu.

## **1.5. FIZIOLOGIJA RONJENJA**

Današnje ronjenje često slijedi tablice ronjenja koje je prvobitno usvojila američka mornarica. Moderna tehnologija većini ronilaca omogućuje korištenje ronilačkih računala koja mogu točno pratiti njihovo vrijeme ronjenja i dekompresije, bez potrebe za izračunavanjem vremena ronjenja na temelju dubine i tablica ronjenja. Unatoč napretku ronilačkih računala, ronionci još uvijek razvijaju dekompresijsku bolest zbog ljudske pogreške ili nepoštivanja smjernica za dekompresiju. Čak i ako se ronilac pridržava odgovarajućeg vremena i dubine ronjenja, tablice ronjenja nisu nepogrešive i dekompresijska bolest ipak se može javiti. Dakle, ronjenje uključuje određene rizike, a jedan od njih je pojava dekompresijske bolesti (6).

Kada se ronilac spušta ispod površine, tlak oko njega se stalno povećava. S ciljem sprečavanja bilo kakvog oštećenja pluća, nužno je ronioncu osigurati zrak pod visokim tlakom, zbog čega je krv u plućima podvrgnuta iznimno visokim tlakovima. Kada prijeđu određene granice, visoki tlakovi mogu izazvati velike promjene u vitalnim funkcijama organizma. Tlak i volumen plinova ovise o dubini. Što je dubina vode veća, tlak se povećava, a volumen plinova smanjuje. Na dubini od deset metara tlak je dvostruko veći, a volumen plinova upola manji u odnosu na površinu (6).

Na dubini od 30 metara tlak je četiri puta veći, a volumen plina četiri puta manji nego na površini (na 70 metara je osam puta manji). Za vrijeme zaranjanja tlak okolnog vodenog omotača na svakih deset metara povećava se za jedan bar, tako da na toj dubini iznosi dva apsolutna bara (1).

U praksi se često koristi pojam relativni tlak koji se očitava na manometrima ili dubinomjerima. Njima se mjeri samo nadtlak vodenog stupa, a ne uzima u obzir tlak atmosfere koji na razini mora iznositi jedan bar. Zbroj atmosferskog i manometarskog tlaka naziva se apsolutnim tlakom (1).

Budući da biološko djelovanje plinova ovisi o općem tlaku okoline i postotnoj zastupljenosti u udisanom zraku čiji umnožak daje parcijalni tlak, tlaku na kojem boravi ronilac treba posvetiti najveću pozornost. Ronilac koji udiše zrak izložen je dušiku, kisiku i ugljičnom dioksidu. No, u smjesi za ronioce dušik se često zamjenjuje helijem, pa treba razmotriti učinke i tog plina kada je pod visokim tlakom. Dušik pod visokim tlakom djeluje narkotički. Približno četiri petine zraka čini dušik. Na razini mora dušik uopće ne djeluje na tjelesne funkcije, ali pod visokim tlakom dovodi do različitih stupnjeva narkoze (1).

Kada je ronilac zaronio i udahno komprimirani zrak, početni znakovi blage narkoze počinju se manifestirati na dubini od 40 metara. Na toj dubini javlja se osjećaj vedrine, praćen značajnim opuštanjem pažnje. Kako se ronilac dalje spušta na dubine u rasponu od 45 do 60 metara, javlja se pospanost. Između 60 i 75 metara ronilac doživljava primjetan pad snage, što dovodi do stanja nespretnosti koje ometa njihovu sposobnost obavljanja potrebnih zadataka. Iza dubine od 90 metara ronilac obično postaje gotovo onesposobljen zbog narkoze dušikom. To je stanje slično trovanju alkoholom. Uvriježeno je mišljenje da se dušik lako otapa u tjelesnoj masnoći, prožimajući membrane i lipidne strukture neurona. Ta fizička interakcija mijenja prijenos električnog potencijala, što rezultira smanjenjem razdražljivosti (1).

### **1.5.1. Kisik – toksičnost**

Kisik pod visokim tlakom djeluje toksično. Pri normalnim vrijednostima alveolarnog parcijalnog tlaka kisika udio otopljenog kisika u krvi gotovo je beznačajan, ali kad se tlak sve više povećava, na stotine kPa, velik dio ukupne količine kisika nalazi se u otopljenom stanju, a ne vezan za hemoglobin. Kada se parcijalni tlak povisi iznad kritične razine, hemoglobin više ne može djelovati kao pufer (nositelj) za kisik i održavati tkivni parcijalni tlak u bezopasnom normalnom rasponu (2).

Kada je parcijalni tlak kisika u tkivima ekstremno visok, može biti vrlo štetan za organizam, posebno za mozak. Dolazi do grčeva poslije kojih u većine osoba nakon jednog sata nastupa koma. Konvulzije često nastupaju bez upozorenja. Među ostale simptome akutnog trovanja kisikom ubrajaju se mučnina, mišićni trzaji, omaglica, vidni poremećaji i razdražljivost. Rad jako povećava osjetljivost ronilaca na toksičnost kisika, pa se simptomi javljaju mnogo ranije te su mnogo teži nego u osoba koje miruju. Uzroci akutnog trovanja kisikom još su nepoznati. Pretpostavlja se da višak kisika djeluje toksično smanjujući sposobnost tkiva da stvaraju energijom bogate fosfatne veze (2).

### **1.5.2. Helij**

Helij pod visokim tlakom ima četiri do pet puta slabiji narkotički učinak u odnosu na dušik. Do dubine od 160 metara ne zamjećuju se u ronilaca gotovo nikakvi učinci helija. U većoj dubini ronionci počinju osjećati tzv. Nervni sindrom visokog tlaka, u dubini većoj od 200 metara tremor, u dubinama većim od 330 metara omaglicu, u još većim dubinama gubitak koordinacije. Osim što mu je narkotički učinak na živčani sustav znatno manji nego kod dušika, helij ima još neka svojstva zbog kojih je poželjniji u smjesi plinova kod ronilaca. Zbog male atomske težine gustoća helija je mala, pa se otpor u dišnim putovima ronilaca smanjuje. Nadalje, zbog malene atomske težine helij kroz tkiva difundira mnogo brže nego dušik, a to u nekim uvjetima omogućuje da se helij vrlo brzo uklanja iz tjelesnih tekućina. Osim toga, helij se u tjelesnim tekućinama brže otapa od dušika, što smanjuje količinu mjehurića koji se mogu stvoriti u tkivima prigodom dekompresije ronionca koji je dugo ronio (1).

Dekompresijska bolest nastaje kada se prebrzo prelazi s povišenoga na normalni tlak, odnosno bez provođenja odgovarajuće profilaktičke dekompresije. Tijekom duljeg trajanja udisanja zraka pri povišenom tlaku dolazi do značajnog porasta sadržaja dušika u tjelesnim tekućinama. Krv koja cirkulira kroz plućne kapilare postaje zasićena dušikom na istoj razini kao i udahnuta smjesa. To se zasićenje proteže na sva tkiva u cijelom tijelu, s obzirom na to da se dušik prenosi do njih nekoliko sati, što rezultira njihovim potpunim zasićenjem otopljenim dušikom (7).



Budući da dušik ne ulazi u metabolički proces organizma, ostaje otopljen dok god se tlak dušika u plućima ne smanji, a onda se uklanja disanjem. Na morskoj razini u čitavom tijelu otopljena je gotovo jedna litra dušika, približno jednako u tjelesnoj vodi i tjelesnoj masti (iako mast čini približno 15 % tjelesne težine, takav je odnos zato što je topljivost dušika pet puta veća u masti nego u vodi). Kada se ronilac prebrzo vraća na površinu u tjelesnim se tekućinama mogu stvoriti znatne količine mjehurića dušika (7).

## 1.6. DIŠNI SUSTAV

Disanje se sastoji od dvaju glavnih procesa. Prvi je proces prihvata kisika ( $O_2$ ) iz atmosfere te njegov prijenos u tjelesne stanice za potrebe metabolizma. Drugi je proces uklanjanje ugljičnog dioksida iz tijela izdahom. To se događa kroz proces disanja koji ima dva vida: vanjsko i unutarnje disanje.

Vanjsko se disanje odnosi općenito na fizički čin unošenja kisika u krv, a unutarnje disanje na apsorpciju kisika i izbacivanje ugljičnog dioksida iz tjelesnih stanica. Za ronioce je od vitalne važnosti poznavanje funkcije respiratornog i kardiovaskularnog sustava. Također je važno da ronionci poznaju utjecaj tlaka na prostore ispunjene zrakom unutar ljudskog tijela. Disanje pod vodom zahtijeva više napora nego disanje na površini, i to zbog sljedećih razloga:

- udahnuti je zrak gušći zbog povećanog tlaka
- vanjski tlak, odnosno tlak vode koji pritišće grudni koš uzrokuje veliki otpor širenju pluća
- pluća su malo kruća zbog povećanja nakupljanja krvi u njima što ujedno smanjuje prisustvo zraka
- zbog otpora disanja kroz usnik regulatora.

Svi ti čimbenici povećavaju roniočevu snažnu potrebu za disanjem i naglašavaju važnost fizičke spreme. Ronionci koji imaju problema sa srcem i plućima izloženi su zbog

toga većoj opasnosti od bolesti ili ozljeda. U ekstremnim slučajevima dovod zraka i kisika do ronioca može se prekinuti, što uzrokuje gubitak svijesti i gušenje (8).

Dušik se oslobađa u tijelu s porastom parcijalnog ambijentalnog tlaka. Dok se ronilac spušta, ambijentalni tlak raste i količina plina koja ulazi u tjelesna tkiva veća je od one koja se može eliminirati. Budući da se tjelesna tkiva razlikuju po svome sastavu, i njihova je mogućnost apsorpcije i eliminacije plina različita (8).

Apsorbiranje se sastoji od više faza. Prvo dolazi do transfera inertnog plina (dušika) iz pluća u krv, a zatim iz krvi u tjelesne organe kroz koje teče krv. Sila koja pokreće proces apsorpcije (poznata kao gradijent) razlika je u parcijalnom tlaku plina između pluća krvi i krvi tjelesnih organa. Kako se gradijent između krvi i organa izjednačava, tako organi dolaze u stanje saturacije (zasićenja). Stupanj zasićenja ovisi o volumenu krvi koji prolazi kroz tkiva i njihovu masu (8).

Koštana hrskavica dostiže zasićenje puno sporije nego moždano tkivo. Za vrijeme izrona dolazi do eliminacije dušika u procesu poznatu pod nazivom oslobađanje plina. Stupanj eliminacije određen je brzinom protoka krvi, razlikom u parcijalno tlaku i količini dušika koji se oslobađa u organima i krvi (8).

Za sigurno ronjenje treba pažljivo održavati ravnotežu. Ona se postiže kombiniranjem dubine ronjenja, vremena boravka na dnu i brzine izrona. Ako to nije slučaj, neće doći do potrebne eliminacije oslobođenog dušika, već će se stvoriti mjehurići dušika u krvotoku, zbog čega dolazi do zastoja cirkulacije ili u tjelesnom tkivu, a to posljedično razara tkivo dok se plin širi sa smanjenjem ambijentalnog tlaka. Simptomi ovise o lokaciji mjehurića (8):

- Epidermalna dekompresijska bolest: koža izaziva svrbež, pa čak i opekline, a po cijelom se tijelu mogu pojaviti mrlje. Osip koji to prati obično nestaje nakon nekoliko sati.
- Muskularno-skeletna dekompresijska bolest: najčešći je oblik dekompresijske bolesti i obično pogađa velike zglobove, kao što su rame ili lakat. Odlikuje ju oštra bol koja polako jenja, ponekad satima nakon ronjenja, a zatim se spontano smanjuje nekoliko sati nakon ronjenja.
- Središnji živčani sustav: pogađa leđnu moždinu ili mozak, a može uzrokovati i stalna oštećenja. Važno je prepoznati rane simptome koji obično počinju s

bolovima u kralježnici koji se šire oko trbušnog pojasa. Prati ih osjećaj bockanja u nogama koje obično postanu nestabilne. Uzrokuje teškoće kod uriniranja i eventualnu paralizu ispod vrata ili struka.

- Oštećenja mozga izazvana cerebralnom dekompresijskom bolešću rijetka su, kao i oštećenja unutrašnjeg uha, ali se ipak događaju. Unesrećeni kod oštećenja unutrašnjeg uha osjeća vrtoglavicu i gubi ravnotežu.

## **1.7. DEKOMPRESIJSKA BOLEST**

Dekompresijska bolest (DB) pojam je koji se koristi kada nastane patološko stanje gdje se mijenja tkivo kod ronioca. Od dekompresijske bolesti najčešće stradaju ronionci i radnici na uvjetima povišenog tlaka u kesonima ili tunelima (2). Može nastati zbog naglog sniženja normalnog barometarskog tlaka hiperbaričke komore ili u zrakoplovima iznad 5000 metara. U organizmu je razina koja je otopljena gotovo jedna litra dušika, i to najviše u masnim tkivima jer je kisik pet puta topljiv u mastima nego u vodi (2).

Količina dušika koja će se otopiti još dodatno u organizmu najviše ovisi o dubini i trajanju ronjenja (1). Ako se nastoji usporediti koliko je dušika u tijelu, najbolje je uzeti u obzir ronjenje na deset metara, gdje se u tijelu napuni dvije litre dušika. Najveća je opasnost upravo u tome što je dušik voli meka tkiva koja su meka i masna poput mozga pa ga napada i uzrokuje sve prateće specifične simptome.

### **1.7.1. Dekompresijska bolest u ronjenju**

Prema standardu postoje dva tipa dekompresijske bolesti: tip 1 i tip 2. DB tipa 1 karakteriziran je bolovima u zglobovima (bends) i udovima, kožni osip. Taj je tip najčešći kod ronilaca amatera. Kod DB tipa 2 postoje neurološki, plućni i srčani poremećaji. Neurološki moždani su sljedeći poremećaji:

- smetnje vida
- afazija

- hemiplegija
- gubitak pamćenja
- konvulzije
- koma.

Spinalni znakovi i simptomi dekompresijske bolesti tipa 2 jesu sljedeći:

- zaduha
- hiperventilacija
- bolovi u prsima
- ARDS.

Srčani znakovi i simptomi dekompresijske bolesti tipa 2 su sljedeći:

- tahikardija
- aritmija.

Tradicionalna klasifikacija disbaričnih ronilačkih bolesti prikazana je na slici 1.

DEKOMPRESIJSKA BOLEST		
Tip 1	Tip 2	
Koštano-mišićni oblik  Kožni oblici Prolazni svrbež Kožne cirkulacijske manifestacije Limfatička dekompresijska bolest  Opća slabost, anoreksija i umor	Plućna dekompresijska bolest  Neurološka dekompresijska bolest Dekompresijska bolest spinalne medule Cerebralna dekompresijska bolest Dekompresijska bolest perifernih živaca  Hemokoncentracija i hipovolemični šok	
BAROTRAUMA		
Pluća	Uha	Ostalo
Medijastinalni emfizem Pneumotoraks Arterijska plinska embolija	Vanjski zvukovod Srednje uho Unutamje uho	Paranasalni sinusi Zubi Gastrointestinalni trakt

**Slika 1.** Tradicionalna klasifikacija disbaričnih ronilačkih bolesti (7)

Simptomi dekompresijske bolesti najčešće se javljaju u prva tri sata po izronu. Ponekad se mogu javiti i do 35 sati nakon izrona. Kod ronjenja na zrak simptomi se javljaju puno brže, i to do tri minute po izronu, a posebno simptomi leđne moždine. Najteža posljedica kod dekompresijske bolesti jesu neurološki ispadi zbog ozlijeđene leđne moždine ili vestibularnog sustava poput vertiga (vrtoglavice). Najčešće je zahvaćeno prsno područje leđne moždine između C4 i L1 (2).

### 1.7.2. Dijagnoza dekompresijske bolesti

Dekompresija je jedini način postavljanja dijagnoze dekompresijske bolesti i njezina liječenja. Barokomora je mjesto gdje se izvodi dekompresija. U barokomori se udiše 100% kisik da bi se uklonio dušik iz tijela nastradale osobe. Skeniranje kosti Tc 99 (Tehnećij 99) može dati pozitivan nalaz samo 72 sata nakon traumatskog oštećenja pacijenta s bolnim zglobovima. Rendgenske snimke mogu pokazati nekrozu kosti koja nastaje kao posljedica DB u razdoblju od šest mjeseci i duže. Oko 10 % ljudi s 12 i više godina ronilačkog staža na rendgenskim snimkama ima znakove nekroze kosti, a najčešće

su zahvaćene glave femura, donji dio femura i gornji okrajak tibije (). Krvne pretrage koagulacije, skeniranje kosti Tc 99, rendgen kosti i CT ne mogu se povezati s kliničkim znakovima (2).

### 1.7.3. Čimbenici rizika za dekompresijsku bolest

Neki čimbenici povećavaju rizik za razvoj dekompresijske bolesti prilikom ronjenja na zrak. To su sljedeći čimbenici (3):

- pretilost jer povećava rizik oboljenja od dekompresijske bolesti (povećanje više od 20 % treba zabraniti dok se težina ne korigira)
- spol kod visinske dekompresijske bolesti povezan je u žena više zbog njihova menstrualnog ciklusa
- osjetljivost na fiksiranje komponenti (na svjetlo)
- visoka razina kolesterola
- desno-lijevi šant
- trudnoća (za fetus)
- produženi boravak na povišenom tlaku s brzim stlačivanjem
- naprezanje i drugi stresovi pod vodom
- letenje nakon ronjenja i brz uspon na visinu.

Disanje zraka na nekoj dubini pri povišenom tlaku ima za posljedicu nakupljanje otopljenog dušika u tkivima ili saturaciju. Tijekom i poslije izrona (desaturacija) dio otopljenog dušika koji se ne oslobodi disanjem pojavljuje se u plinovitom stanju. Uporabom ultrazvučnih sonda u krvotoku ronilaca može se skoro poslije svakog ronjenja dokazati postojanje nekih mjehurića (10). Stoga se nazivaju „tihim“ ili „nijemim“ mjehurićima. Nije jasno zbog čega neki mjehurići izazivaju dekompresijsku bolest, a drugi ne. Simptomatologija i težina kliničke slike ovise o lokalizaciji, brojnosti i veličini

mjhurića, brzini pojave simptoma te općem stanju ronioca, odnosno o veličini tzv. dekompresijskog stresa općenito (3).

Slika bolesti može zaista biti vrlo šarolika te zbuniti i iskusne liječnike. Prvi znakovi bolesti mogu nastupiti već unutar pola sata po izronu, ali nikada odmah po izronu. Dekompresijska bolest ipak se najčešće javlja od šest do dvanaest sati po izronu. U rijetkim se slučajevima javlja i dva dana po ronjenju, ponekad čak i kasnije (3).

Dekompresijska bolest može nastati poslije svakog ronjenja na dubine veće od deset metara, iako vrijedi pravilo da što je veća dubina, to je veći rizik od dekompresijske bolesti. Za ukupnu dekompresijsku dozu važno je i vrijeme provedeno na nekoj dubini, a za ukupni dekompresijski stres niz čimbenika koji djeluju udruženo.

Čini se da su neki ronionci podložniji nastanku dekompresijske bolesti te da se u iste osobe osjetljivost mijenja, pa dekompresijska bolest može nastati i poslije onih profila ronjenja u kojima je ronilac ranije ronio sigurno. Ima pokazatelja po kojima se osjetljivost prema dekompresijskoj bolesti smanjuje s ponavljanim izlaganjem dubinama, odnosno tlakovima. Drži se da je nakon desetak dana uzastopnog izlaganja povišenom tlaku osjetljivost najmanja, ali da ronilac postane ponovno jednako osjetljiv nakon prekida ronjenja (3).

#### 1.7.3.1. Dob

Stariji su ronionci podložniji nastanku dekompresijske bolesti. Izgleda da je to vezano za loše stanje kvalitete zglobnih ploština u osoba zrelije dobi i veću zastupljenost masnoga tkiva u starijih i pretilih ronilaca (3).

#### 1.7.3.2. Tjelesna težina

Povećana tjelesna težina predstavlja čimbenik rizika s obzirom na to da je inertni plin dušik četiri puta topljiviji u mastima nego li u vodi (3).

#### 1.7.3.4. Hladnoća

Ronjenje u hladnim vodama ima za posljedicu povećani rizik od nastanka dekompresijske bolesti, posebno ako je ronilac neodgovarajuće zaštićen od pothlađivanja. Možda zvuči zbunjujuće, ali hladnoća tijekom ronjenja smanjuje unos inertnog plina zbog smanjene cirkulacije. Također, hladnoća na dekompresijskom zastanku smanjuje oslobađanje inertnog plina dušika. Teorijski, roniocu bi bilo najbolje kada bi mu bilo hladno tijekom ronjenja, a toplo na dekompresijskom zastanku ako ne dođe do formiranja mjehurića, Naime, zagrijavanje bi tada smanjilo topljivost dušika i povećalo rast mjehurića (3).

#### 1.7.3.4. Tjelesni napor

Veće tjelesno naprezanje tijekom ronjenja povećat će unos inertnog plina dušika zbog povećanog dotoka krvi mišiće, a to će olakšati nastanak dekompresijske bolesti. Izgleda da laka tjelesna aktivnost na dekompresijskom zastanku, primjerice polagano plivanje u krug, pomaže eliminaciji dušika te tako smanjuje rizik od nastanka dekompresijske bolesti. Tjelesno naprezanje poslije izrona (ali i prije ronjenja), primjerice iznošenje teške opreme uz strminu, povećava opasnost od nastanka dekompresijske bolesti, najvjerojatnije zbog aktiviranja tzv. plinskih klica jezgri nakupina plinskih molekula oko kojih se nakuplja inertni plin. Stoga je tijekom prvoga sata po izronu najpametnije odmarati se, posebno poslije dubokih ronjenja i ronjenja koja su zahtijevala profilaktičku dekompresiju (3).

#### 1.7.3.5. Spol

Prema nekim nesigurnim pokazateljima žene su osjetljivije za nastanak dekompresijske bolesti. Izgleda da su također osjetljivije i one žene koje uzimaju hormonske preparate protiv začeca (3).



#### 1.7.3.6. Profil ronjenja

Kod ronjenja na dubine veće od 20 metara, dugih ronjenja te ronjenja koja zahtijevaju profilaktičku dekompresiju veći je rizik od dekompresijske bolesti. Brzi izroni nekadašnjih 18 m/min te 100 % veća brzina ne ostavlja dovoljno vremena za eliminaciju dušika. Danas je najveća dopuštena brzina izrona ograničena na 9 m/min (3).

#### 1.7.3.7. Učestalost izrona

Svaki je izron i dekompresija, a česti izroni uglavnom znače i brže izrone. Tijekom takvih izrona najvjerojatnije će se formirati mjehurići koji su podrijetlom iz tzv. brzih tkiva. Izvjesno je da će neki od njih proći plućni filter jer će tijekom sljedećeg zarona biti komprimirani, a time i smanjeni, a posljedica toga je povećani rizik od nastanka dekompresijske bolesti (3).

Svako ponovljeno ronjenje (ronjenje unutar 12 sati od izrona poslije prethodnog ronjenja) počinje uz izvjesnu količinu otopljenog dušika zaostalu u tkivima od prethodnog ronjenja. Stoga treba računski korigirati vrijeme ronjenja za ponovljeno ronjenje koristeći tzv. „skupine ponavljanja“ u dekompresijskim tablicama. Također, svako ponovljeno ronjenje, čak i rutinsko, počinje s izvjesnim brojem „tihih“ ili „nijemih“ mjehurića zaostalih od prethodnog ronjenja. Ti mjehurići mogu biti jezgra rasta za inertni plin koji se nakuplja tijekom ponovljenog ronjenja, što povećava rizik od nastanka dekompresijske bolesti (3).

#### 1.7.4. Patofiziologija dekompresijske bolesti

Dekompresijska bolest može se pojaviti i nakon ronjenja na dah jer se kod povećanog parcijalnog tlaka dušika u stlačenim alveolama povećava količina dušika otopljenog u plazmi. Dušik je inertni plin koji voli meka tkiva, kožu, mišiće, uho, kosti i zglobove. Plin koji iz krvi ide u pluća i uzrokuje prezasićenost koja se tijekom dekompresije treba ponovno vratiti u sistemski krvotok. Izmjenu plinova uzrokuje difuzija. U istraživanju provedenom 1968. godine na ljudima jasno se vide mjehurići u plućnoj arteriji nakon dužega ronjenja (3).

Kod dekompresijske bolesti glavno patofiziološko obilježje u središnjem živčanom sustavu (SZS) jest ishemija. To je stanje nedovoljnog protoka krvi kroz neki organ ili dio tijela zbog začepjene ili sužene arterije. Također postoji mogućnost za masnu emboliju koji putuju kroz filter uzrokuju oštećenja krvno-moždane barijere i edem mozga. U kliničkoj slici DB tipa 2 najčešće je ispad paraplegija zbog oštećenja leđne moždine. Plin ili edem uzrokuju ishemiju leđne moždine. U kliničkoj slici jedan od najčešćih ispada u ronjenju jest paraplegija, jer prevelika koncentracija mjehurića dušika u krvotoku opterećuju leđnu moždinu. Također će u slučaju kontroliranja krvne slike biti vidljiv manji broj trombocita u prvih 24 sata, i to zbog pojačane ljepljivosti zbog povišene količine arahidonske kiseline (3).

Simptomi i znakovi dekompresijske bolesti ovise o mjestu zaustavljanja plinskih mjehurića u krvnom optoku i funkcionalnom značenju začepljenih krvnih žila. Obično se javljaju u razdoblju od nekoliko minuta do jednog sata, a neki čak šest i više sati nakon dekompresije (3).

Budući da nastaje zbog promjena tlaka dekompresijska bolest naziva se i disbarična bolest ili ozljeda. Postoje i druge disbarične ronilačke bolesti ili ozljede, primjerice pluća, uha, očiju, kože, crijeva ili zubi, ali te bolesti i ozljede ipak nisu najveći neprijatelji ronilaca. Iznimka bi bila barotrauma pluća, no ta je vrsta incidenta u ronjenju osobito rijetka (3).

Kad je u pitanju dekompresijska bolest sigurnih ronjenja nema. Čak ni ronjenja unutar tzv. „nedekompresijskih“ granica (engl. *no-decompression limits*), odnosno unutar krivulja sigurnosti nisu apsolutno sigurna, premda je mogućnost pojave dekompresijske bolesti pri režimima ronjenja unutar nedekompresijskih granica praktično nemoguća. Razlikuje se blaži i teži oblik bolesti (3).

#### 1.7.4.1. Blaži oblik dekompresijske bolesti

Blaži oblik dekompresijske bolesti jest kožni oblik bolesti sa sljedećim simptomima: svrab, peckanje, osip, ljubičasto - tamno plave mrlje, zglobovi sa simptomima umjerenog do vrlo jakog, neizdrživog bola u koljenima, lopaticama, ramenima, kukovima i mišićima (3).

#### 1.7.4.2. Teži oblik dekompresijske bolesti

U okviru težeg oblika dekompresijske bolesti razlikuju se cerebralni, medularni i respiracijski oblik. Simptomi cerebralnog oblika jesu opća slabost, nesvjestica, konvulzije, mučnina, povraćanje, vrtoglavica, nistagmus, pareza ili paraliza n. facijalisa, poremećaji govora i sluha, prolazni poremećaji vida. Simptomi medularnog oblika, pak, jesu ataksija, mišićna slabost ili nemogućnost pokreta ekstremiteta, paraliza mokraćnog mjehura. Simptomi respiracijskog oblika jesu bol u grudima, dispneja, gušenje i nesvjestica. Kod naglog izranjanja na površinu poslije dugog boravka u dubini nastaje najteži srčano-plućni oblik dekompresijske bolesti. Odmah nakon izranjanja javljaju se opća slabost, nemogućnost stajanja i sjedenja, pomračena svijest do potpune nesvjestice, šok karakteriziran hladnim ljepljivim znojenjem. Vidljive sluznice i koža izrazito su ljubičasti. Puls je ubrzano povišen tako da ga je teško opipati, a i disanje je ubrzano, povišeno i veoma otežano (3).

Brži nastup dekompresijske bolesti znači obično i njezin teži oblik, teže liječenje i neizvjesnu prognozu. Mjehurići mogu, na mjestu nastanka ili drugdje, izazvati nepovoljni učinak pritiskanjem okolnih struktura, primjerice krvnih žila ili živčanih vlakana, mogu izazvati krvarenje u okolno tkivo, što je osobito opasno ako se radi o leđnoj moždini ili unutarnjem uhu ili pak putovati krvlju kao plinski embolus te se zaustaviti u nekoj uskoj krvnoj žili i tako onemogućiti daljnji protok krvi kroz nju (3, 11).

Takozvana tradicionalna podjela disbaričnih ronilačkih bolesti koristi se najčešće i danas. Ta je podjela najjednostavnija i najpoznatija, premda možda ne i najegzaktnija, ali je ronionci i ronilački liječnici najlakše razumiju i pamte.

#### 1.7.5. Učestalost dekompresijske bolesti

Dekompresijska bolest je bez obzira na to što se javlja u samo 1 % od ukupnog broja svih ronjenja opasna ronilačka bolest koja može dovesti do trajnog invaliditeta, pa i smrtnog ishoda. U hrvatskom se dijelu Jadrana još uvijek često roni bez minimalnih

sigurnosnih mjera. Iako je dekompresijska bolest u Hrvatskoj rijetkost (10 do 15 nesreća godišnje), raščlamba ronilačkih nesreća ukazuje da je nepoštivanje mjera prevencije čest uzrok tih nesreća (3).

Dakle, učestalost dekompresijske bolesti je rijetka. Dekompresijska bolest ranije je bila profesionalna opasnost ograničena na profesionalne ronioce. Međutim, povećanjem popularnosti rekreativnog ronjenja počela je uključivati sve šire slojeve stanovništva (12, 13). Procjene za sportsko ronjenje iznose tri slučaja na 10 000 urona. Učestalost među komercijalnim roniocima može biti veća, odnosno u rasponu od 1,5 do 10 na 10 000 ronjenja. Očekivano, incidencija ovisi o duljini i dubini ronjenja (14).

Dekompresijska bolest je klinička dijagnoza T70.3. Budući da je cilj liječenja svih pacijenata sa simptomatskom dekompresijskom bolesti koristiti hiperbarični kisik s naglaskom na rekompresiju, ne bi trebalo biti odgode u liječenju radi daljnje dijagnostičke obrade. Iznimka je rendgenska snimka prsnog koša, jer su neliječeni pneumotoraksi apsolutna kontraindikacija za dekompresijsku bolest (15).

#### **1.7.6. Komplikacije dekompresijske bolesti**

Komplikacije dekompresijske bolesti obuhvaćaju : barotraumu pluća, oštećenja središnjeg živčanog sustava, disbaričnu osteonekrozu, visinsku dekompresijsku bolest te određene kasne komplikacije dekompresijske bolesti.

##### **1.7.6.1. Barotrauma pluća**

Kod dekompresijske bolesti je važna reakcija pluća. Moguća komplikacija jest nekardijalni plućni edem. Do barotraume pluća dolazi kad ronilac razvije povećan volumen plina zarobljenog u alveolama tijekom izrona, pucanja zida alveola i istjecanje plina iz plućnih vena sa sistemskom plinskom embolijom. Barotrauma pluća je češća kod ronioca amatera (11, 16, 17).

#### 1.7.6.2. Oštećenja središnjeg živčanog sustava

Nakon barotraume pluća postoji mogućnost za arterijsku plinsku emboliju u kojoj bezbroj mjehurića plina putuje krvotokom te narušava krvotok mozga i izaziva ishemiju (16, 17).

#### 1.7.6.3. Disbarična osteonekroza

Disbarična nekroza koja može nastati nakon samo jednog ronjenja ili izlaganja povišenoga tlaka najčešća je u području kuka (glave bedrene kosti) ili ramena (glave nadlaktične kosti). Liječi se tijekom 40 seansi u barokomori udisanjem stopostotnog kisika 60 minuta.

#### 1.7.6.4. Visinska dekompresijska bolest

Od visinske dekompresijske bolesti najčešće obolijevaju zrakoplovci na visinama većim od 6098 metara (20 000 stopa). Najčešći simptomi su bolovi u zglobovima, glavobolja, smetnja vida, parestezija udova i mentalna konfuzija, mučnina, povraćanje te otežano disanje (2).

Obično se visinska dekompresijska bolest liječi kao i ronilačka. Međutim, puno sati letenja na velikim visinama zahtijeva protokol TT8 RMSAD koji se sastoji od disanja stopostotnog kisika na dvije apsolutne atmosfere (ATA) četiri puta po pola sata s desetominutnim pauzama disanja. Patofiziologija dekompresijske bolesti leđne moždine na HBOT ovisi o oštećenju živčanih stanica i krvarenja. Takvim pacijentima potrebno je dugotrajno liječenje s lošim ishodom s obzirom na DB leđne moždine. Najčešće se radi o oštećenju u unutarnjem uhu, poremećaju Eustahijeve tube tijekom dekompresije koji dovodi do povećanje tlaka, što uzrokuje ishemičku neuropraksiju facijalnog živca. HBOT je potvrđeno uspješna u liječenju Bellove pareze (2).

#### 1.7.6.5. Kasne posljedice dekompresijske bolesti

Kasni simptomi kao posljedice dekompresijske bolesti mogu se javiti i nekoliko godina iza ronjenja. Najčešći su simptomi uporni bolovi u zglobovima i udovima, aseptičke nekroze kosti, motorički poremećaji, periferne neuropatije, povećana sklonost bolestima srca i krvnih žila te neuropsihološki ispadi. Mjesta gdje se liječe nastradali zovu se barokomore. Razlikuju se jednomjesne i višemjesne (2). Kako im samo ime kaže, jednomjesne barokomore su za jednu osobu, u njima nije moguće pregledati pacijenta i u većini se ne može tlačiti iznad tri ATA. Najčešće takve barokomore koriste amateri ronionci i sportaši. Višemjesne barokomore su češće jer u njih može stati više pacijenata. Takve se barokomore koriste u Rijeci i Splitu. Višemjesna barokomora je prikazana na slici 2.



**Slika 2.** Liječenje HBOT sjedećih pacijenata u barokomori (18)

Osim u sjedećem položaju, kako je prikazano na prethodnoj slici, pacijente je u barokomori moguće liječiti u ležećem položaju, kako je vidljivo na slici 3.



**Slika 3.** Liječenje ležećeg pacijenta u barokomori (pregled prije terapije)(19)

### 1.7.7. Liječenje dekompresijske bolesti

Postoje različiti protokoli liječenja dekompresijske bolesti u hiperbaričnoj komori. Te se razlike temelje na stvarima kao što su ozbiljnost povrede i dostupnost kisika. Postoje i protokoli za rekompresiju koji se koriste u liječenju dekompresijske bolesti. Ti su protokoli osmišljeni s ciljem otapanja mjehurića plina prisutnih u tijelu i njihovog uklanjanja kroz pluća uz pomoć kisika. U Hrvatskoj se u tu svrhu uglavnom koriste terapijske tablice američke mornarice. Početni rekompresijski tretman za dekompresijsku bolest poznat je kao T-6 USN (20).

**Tablica 1.** Prvi rekompresijski tretman za DB T-6 USN (20)

Dubina (m)	Vrijeme (min.)	Dišni medij	Ukupno vrijeme (hr: min)
18	20	O <sub>2</sub>	0:20
18	5	Air	0:25
18	20	O <sub>2</sub>	0:45
18	5	Air	0:50
18	20	O <sub>2</sub>	1:10
18	5	Air	1:15

18 do 9	30	O2	1:45
30	15	Air	2:00
30	60	O2	3:00
30	15	Air	3:15
30	60	O2	4:15
9 do 0	30	O2	4:45

Uobičajeni protokol liječenja prikazano je u tablici 1. koji se provodi s kisikom pod tlakom od 2,8 ATA. U vodi je ponovna kompresija relativno visoko rizična, ali se uzima u obzir ako bi inače došlo do značajnih kašnjenja u liječenju, logističkih poteškoća ili drugih problema. Zahtijeva odgovarajuću obuku, opremu i prethodno planiranje. Neposredni tretman na površini s kisikom koristan je za poboljšanje ishoda i smanjenje rekompresijskih tretmana (2).

Liječenje dekompresijske bolesti korištenjem protokola liječenja s kisikom na 18 metara standard je skrbi. Značajno kašnjenje u liječenju, poteškoće s prijevozom i ustanove s ograničenim iskustvom mogu dovesti do razmatranja liječenja na licu mjesta. Pokazalo se da površinski kisik za prvu pomoć poboljšava učinkovitost rekompresije i smanjuje broja potrebnih rekompresijskih tretmana kada se daje manje od četiri sata nakon ronjenja (2).

Kada ronilac izroni naglo najčešće se posumnja na plinsku emboliju ili dekompresijsku bolest. Što brži transport ronioca (pri čemu treba izbjegavati visine iznad 300 metara) i započeta rekompresija spašavaju život. Ciljevi rekompresije uključuju brzo smanjenje veličine mjehurića, njihovu preraspodjelu i reapsorpciju u tjelesnim tekućinama, kao i smanjenje edema i hipoksije tkiva. Bolovi u zglobovima kod DB brzo se smanjuju. Stopostotni kisik na atmosferskom tlaku ima blagotvoran učinak i u DB tipa 2 te se primjenjuje u sklopu prve pomoći. Ako pacijent ne može oralno uzimati tekućinu, treba mu se dati i.v. infuzija (najčešće fiziološka otopina 0,9 %) koja je najbližnja ljudskoj krvi zbog dehidracije. Hidriranje pacijenata i razvodnjavanje preguste krvi da ne nastane tromb je prioritetno. Steroidi se koriste da se smanji otok na leđnu moždinu. Koriste se i lidokain za suzbijanje aritmije srca te lokalni anestetik (2).

Terapijske tablice TT5 i TT6 ratne mornarice SAD-a iz 1970. godine postaju standardni postupci. Povišeni tlak smanjuje volumen mjehurića za gotovo trećinu te



ublažava hipoksično-ishemičke učinke DB (2). Važno je napomenuti da tlak ne smije ići biti viši od 2,8 bara zbog opasnosti toksičnosti kisika koji uzrokuje konvulzije. DB tipa 1 liječi se po protokolu tablice TT 5 MRSAD. Protokol traje 135 minuta uz petominutne pauze disanja zraka prije simuliranog izranjanja iz dubine s 18 metara. Ako se simptomi ne povuku, liječenje se provodi po protokolu tablice TT6 MRSAD (2).

Na dubini od devet metara, dva puta po 60 minuta diše se stopostotni kisik između kojih je pauza od 15 minuta. Ukupno vrijeme protokola TT6 iznosi 285 min, ali se prema potrebi može produžiti za dodatnih 100 minuta. Za primjenu tog protokola najbolji je plin COMEX 30. Riječ je o mješavini helija i kisika u omjeru 50:50 (2). Lista indikacija za liječenje hiperbaričnom oksigenoterapijom na teret Hrvatskog zavoda za zdravstveno osiguranje (HZZO) prikazana je u tablici 2.

**Tablica 2.** Lista indikacije za liječenje hiperbaričnom oksigenoterapijom na teret HZZO-a (2)

Indikacije	Maks. broj terapija
Akutne disbarične bolesti ronilaca - dekompresijska bolest - barotraumska plinska embolija	do maks. poboljšanja/izlječenja
Akutne plinske embolije jatrogenog ili traumatskog porijekla	do 14
Trovanje CO i drugih kod kojih je poremećen transport i utilizacija kisika (cijani, pesticidi)	do 20 – ponavljanje nakon 6 mj. i godinu dana

Lista indikacije za liječenje hiperbaričnom oksigenoterapijom kao dodatna metoda prikazana je u tablici 3.

**Tablica 3.** Lista indikacije za liječenje hiperbaričnom oksigenoterapijom kao dodatna metoda (2)

<b>HBOT KAO DODATNA METODA</b>	
Indikacije	maks. broj terapija
Akutne, subakutne i kronične ishemije različitog porijekla kritične lokalizacije i/ili opsega i/ili trajanja	do 30
Aseptična nekroza kosti	do 60
<i>Crush</i> i <i>compartment syndrome</i>	do 30
Dijabetičko stopalo	do 60
Iznenadna gluhoća	do 20
Iznenadna sljepoća	do 20
Kronične nedijabetičke rane - venski vrijed - ishemijski (bakterijski ili miješani) - vaskulitisi	do 60
Kronični refraktorni osteomijelitis	>100
Progredirajuće nekrotizirajuće infekcije mekih tkiva	do 30
Radijacijska oštećenja koštanih i mekih tkiva	do 60

## **1.8. VRSTE RONILACA**

Ronioci prema namjeni mogu biti vojni i civilni. Vojni ronioci mogu biti bojni, protuminski, brodski i ostali. Bojni vojni ronioci obuhvaćaju pomorske diverzante, protudiverzantske ronioce i ronioce pomorskih desantnih snaga. Osnovna je zadaća pomorskih diverzanata napadno djelovanje na neprijateljske ciljeve na vodi, obalnom rubu i pozadini. Oni najčešće rone s aparatima na kisik ili onima koji se mogu napajati kisikom i obogaćenim zrakom. Protudiverzantski ronioci mogu biti brodski i lučki, a štite brodove i vlastite luke od neprijateljskih djelovanja. Skupine posebno školovanih ronilaca u pomorskim desantnim snagama izviđaju, deaktiviraju i raščišćuju podvodne zapreke u području pomorskog desanta (2).

Protuminski ronioci djeluju u posebnim postrojbama ili skupinama namijenjenim otkrivanju, uništavanju ili deaktivaciji podvodnih minsko-eksplozivnih naprava. Za uništavanje eksplozivnih naprava koriste se posebnim, magnetskim i bešumnim ronilačkim aparatima, najčešće napajanim obogaćenim zrakom (1).

Brodski ronioci u ratnim mornaricama svijeta uobičajeno se novače među članovima brodskih posada. Ronjenje im je sekundarna dužnost. Rone do dubine od 12 metara radi pregleda i manjih radova na brodskom koritu. U ratnim uvjetima sudjeluju u protudiverzantskoj obrani broda (1).

Civilno ronjenje najčešće se provodi preko klubova koji omogućuju ronjenje tako da vrše osnovnu obuku te opskrbljuju ronioce amatere i rekreativce opremom. Unatoč tome što se ronjenje za početnike odvija uz pratnju i prethodnu obuku nužno je postrožiti uvjete zarona. Prilikom ronjenja civilni ronilac treba biti punoljetna osoba i treba znati izjednačiti tlak, odnosno držati se protokola.

## **1.9. BAROKOMORA**

Rekompresijska komora služi za liječenje dekompresijske bolesti. Kako izgleda barokomora izvana prikazano je na slici 4.



**Slika 4.** Barokomora danas (21)

Nakon svakog ronjenja ronilac je obavezan izvijestiti zapovjednika o dubini i trajanju ronjenja, o vremenu zadržavanja na različitim dubinama i provedenoj dekompresiji. Zapovjednik je dužan kod svakog kršenja dekompresijskih pravila poduzeti mjere za okončanje profilaktičke dekompresije ili u rekompresijskoj komori ili reimerzijom u vodi (21).

Terapijska rekompresija sastoji se od ponovnog tlačenja oboljelog (rekompresije) uz disanje kisika ili zraka, određenog zadržavanja na maksimalnom tlaku rekompresije i potom postupne, programirane dekompresije. Maksimalni tlak rekompresije i duljina zadržavanja pod tlakom ovise o težini bolesti i tlaku na kojem su iščezle subjektivne tegobe i znakovi bolesti, a ne na dubini na kojoj se ronilo prije obolijevanja. Pacijenti koji su imali dekompresijsku bolest mogu biti izloženi povećanom riziku od sličnih događaja u budućnosti. Prognoza ovisi o ozbiljnosti i o raznim čimbenicima kao što su vrijeme do rekompresije, dostupnost i vrijeme do izlaženja kisika na površinu te potporna njega (21).

Uporaba dekompresimetara (u što spadaju popularna i skupa ronilačka računala) ozbiljan je čimbenik rizika za nastanak dekompresijske bolesti. Na tržištu još nema dovoljno sigurnih računala, pa zbunjuje činjenica da se golemi broj ronilaca, od kojih dobar dio dugo i duboko roni, bira koristiti računala umjesto tablice. Izvjesno je da će mnoga računala omogućiti duže vrijeme pod morem u odnosu na vrijeme koje bi ronionci za isto ronjenje očitili u konzervativnim tablicama.

## 1.10. HIPERBARIČNA OKSIGENACIJA

Terapija hiperbaričnim kisikom uključuje udisanje čistog kisika u okruženju pod tlakom. Terapija hiperbaričnim kisikom dobro je uspostavljen tretman za dekompresijsku bolest. U komori za hiperbaričnu terapiju kisikom tlak zraka je dva do tri puta veći od normalnog tlaka zraka. U tim uvjetima pluća mogu prikupiti puno više kisika nego što bi bilo moguće udisanjem čistog kisika pri normalnom tlaku zraka (2).

Za detaljniju dijagnostiku dekompresijske bolesti najčešće se nema vremena. U liječenju disbaričnih ronilačkih bolesti vrijedi pravilo: „Čim prije rekomprimirati!“. Lako je dijagnosticirati dekompresijsku bolest u slučaju jasnih bolova u okrajinama, najčešće u ramenima i laktovima, pri bolovima koji ne mijenjaju intenzitet pri promjenama položaja okrajina te kod jasnih znakova ozljede živčevlja leđne moždine, uha ili nekog moždanog živca. Treba imati na umu da se moždano oštećenje izazvano dekompresijskom bolesti može manifestirati tek kao teško prepoznatljiv poremećaj ličnosti, a to bi se moglo utvrditi jedino detaljnim psihološkim ispitivanjima (2).

Stoga treba biti uvijek oprezan kada je riječ o dekompresijskoj bolesti. Dekompresijsku bolest može pogoršati nedostatak tekućine i elektrolita u tijelu, a dehidracija koja je u ronilaca posljedicom pojačanog mokrenja. U ronilaca ga izazivaju uronjenost i hladnoća. U slučaju da ronilac ostane pri svijesti, važno je osigurati mu dovoljno tekućine kao što su voda, voćni sok, mineralna voda ili neki drugi dostupni osvježavajući napici.



**Slika 5.** Procjene i protokoli te provođenje mjera sigurnosti (22)

Ako je ronilac izgubio svijet, nužno je intravenozno putem infuzije dati mu fiziološku ili Ringerovu otopinu. Taj je postupak rezerviran samo za kvalificirano medicinsko osoblje. Bilo da se liječi dekompresijska bolest ili prekomjerna inflacija pluća, glavno uporište liječenja jest rekompresija zahvaćenog ronioca u hiperbaričnoj komori sa stopostotnim kisikom pri visokim parcijalnim tlakovima. To odmah smanjuje veličinu mjehurića i proizvodi povećani gradijent difuzije inertnog plina (obično dušika) iz mjehurića (23).

To dovodi do ublažavanja ishemije i hipoksije i vraća normalnu funkciju tkiva. Sve dok komorama upravlja dobro obučeno osoblje i poduzimaju se mjere za ublažavanje bilo kakvih štetnih učinaka dekompresijske terapije, HBOT ima potencijal smanjiti mortalitet i morbiditet u većini slučajeva dekompresijske bolesti (6).

#### **1.10.1. Toksičnost kisika**

Kisik (O<sub>2</sub>) jest plin lišen bilo kakve boje, mirisa ili okusa. Terapija kisikom primjenjuje se u različite svrhe, uključujući prevenciju akutne ili kronične hipoksije, upravljanje klaster glavoboljama i hiperbarično liječenje teških slučajeva trovanja ugljičnim monoksidom (2).

Liječenje hiperbaričnim kisikom od iznimne je važnosti kada se radi o trovanju ugljičnim monoksidom. Osobito je potreban pacijentima koji su doživjeli gubitak svijesti, koji imaju neurološke simptome, kardiovaskularno zatajenje ili tešku acidozu te kod trudnica. Neovisno o koncentraciji karboksihemoglobina, u tim se specifičnim slučajevima primjenjuje hiperbarično liječenje. Dodatno, hiperbarično liječenje neophodno je za liječenje dekompresijske bolesti i zračne/plinske embolije koja proizlazi iz različitih uzroka, kao i u liječenju osteoradionekroze. Štoviše, služi kao pomoćna terapija za plinsku gangrenu, stanje koje karakterizira nekroza mišića uzrokovana infekcijom bakterijom roda *Clostridium* (2, 24).

Hipoksemija jest stanje u kojem parcijalni tlak kisika u arterijskoj krvi (PaO<sub>2</sub>) padne ispod 10 kPa (<70 mmHg). Zatajenje disanja nastaje kada parcijalni tlak kisika padne na 8 kPa (55-60 mmHg). Za liječenje hipoksemije primjenjuje se zrak obogaćen kisikom. Odluka o uvođenju terapije kisikom ovisi o težini hipoksemije i individualnoj

toleranciji na doze kisika. Cilj je koristiti najnižu učinkovitu koncentraciju kisika u udahnutom zraku koja održava PaO<sub>2</sub> od 8 kPa (60 mmHg) ili zasićenje arterijske krvi kisikom (SpO<sub>2</sub>) ≥ 90 %. Trebalo bi dati više koncentracije kisika u najkraćem mogućem trajanju, nakon čega bi se napravila analiza plina u krvi. Ako se kisik pomiješan s drugim plinom, udio kisika u udahnutom zraku (FiO<sub>2</sub>) treba biti najmanje 21 % (2).

Međutim, prilikom liječenja kisikom potreban je oprez. Sigurno liječenje kisikom moguće je provoditi u sljedećim uvjetima:

- do 100 % kisika manje od šest sati
- 60 do 70 % kisika tijekom 24 sata
- 40 do 50% kisika tijekom iduća 24 sata.

Hiperbarično liječenje kisikom koristi se u liječenju osteoradionekroze uzrokovane oštećenjem zračenjem. Taj tretman uključuje sesije u trajanju od 90 do 120 minuta, koje se provode u rasponu od približno 40 dana, s rasponom tlaka od 2,0 do 2,5 ATA.

U slučaju plinske gangrene preporučuje se podvrgnuti 90-minutnom tretmanu tlaka od 3,0 ATA unutar prva 24 sata. Nakon toga, sljedećih četiri do pet dana, tretman se primjenjuje dvaput dnevno dok ne dođe do vidljivog poboljšanja (2).

Neliječeni pneumotoraks, uključujući konzervativno liječenje te bolesti, bez torakalnog drena, apsolutna je kontraindikacija za hiperbaričnu terapiju kisikom.

Neophodno je da kvalificirano osoblje u specijaliziranim centrima, opremljeno potrebnim znanjem i opremom, provodi liječenje hiperbaričnim kisikom kako bi se osiguralo poduzimanje odgovarajućih mjera opreza. Pažljivo izvođenje faza kompresije i dekompresije ključno je za smanjenje mogućnosti ozljeda izazvanih pritiskom, kao što je barotrauma. Pacijenti koji se liječe u hiperbaričnoj komori mogu doživjeti tjeskobu i klaustrofobiju zbog skućenog prostora. Stoga je imperativ temeljito procijeniti omjer koristi i rizika hiperbarične terapije kisikom u osoba s klaustrofobijom, teškom anksioznošću i psihozama (2).

HBOT može poremetiti metabolizam glukoze kod osoba kojima je dijagnosticiran dijabetes. Uz to, vazokonstriksijska svojstva hiperbarične terapije mogu spriječiti potkožnu apsorpciju inzulina, što dovodi do hipoglikemije kod pacijenata. Uočeno je da se razina glukoze u krvi može smanjiti tijekom liječenja HBOT-om. Stoga je

preporučljivo pomno pratiti razinu glukoze u krvi prije početka HBOT-a u bolesnika s dijabetesom.

Tijekom hiperbarične terapije proces dekompresije uzrokuje povećanje volumena plina i smanjenje tlaka u komori. Ta promjena tlaka potencijalno može dovesti do razvoja ili pogoršanja djelomičnog pneumotoraksa. U bolesnika koji već imaju nedrenirani pneumotoraks dekompresija može čak rezultirati razvojem tenzijskog pneumotoraksa. Kako bi se spriječile te komplikacije važno je drenirati pleuralnu šupljinu prije započinjanja terapije i, u nekim slučajevima, nastaviti postupak drenaže tijekom cijelog tijeka HBOT-a. Osim toga, osobe s loše kontroliranom astmom, emfizemom, kroničnom opstruktivnom plućnom bolešću (KOPB) ili nedavnom torakalnom operacijom trebaju proći temeljitu procjenu omjera koristi i rizika HBOT-a zbog mogućnosti širenja plina tijekom dekompresije (2).

### **1.10.2. Toksičnost za središnji živčani sustav**

Kada pacijenti udišu čisti kisik pod tlakom iznad 2 atmosfere, može se toksičnost za središnji živčani sustav. Prvi znakovi toksičnosti uključuju zamućen vid, smanjenje perifernog vida, tinitus, respiratorne probleme i lokalizirane mišićne grčeve, posebno u području očiju, usta i čela. Dugotrajna izloženost može izazvati vrtoglavicu i mučninu, praćene promjenama u ponašanju poput anksioznosti, konfuzije, razdražljivosti i na kraju generaliziranih napadaja. Vjeruje se da su oštećenja uzrokovana nedostatkom kisika reverzibilna, ali mogu ostaviti trajne neurološke posljedice koje nestaju nakon smanjenja tlaka kisika. Štetni događaji povezani s postupkom hiperbarične oksigenacije jesu sljedeći (2):

- barotrauma, koja je posljedica brze kompresije i dekompresije, može se primijetiti kod pacijenata koji su podvrgnuti liječenju kisikom, kao i kod zdravstvenih radnika izloženih hiperbaričnom ambijentalnom zraku
- osjećaj tjeskobe koji se javlja u zatvorenim prostorima, a koji nije izravni učinak kisika.
- progresivna miopija



- prijevremeno rođena djeca koja su bila izložena visokim razinama kisika mogu razviti retrolentalnu fibroplaziju.

Pospješujući pojačanu apsorpciju kisika u krvotok, posebno u dio koji nije vezan za hemoglobin, liječenje hiperbaričnim kisikom učinkovito povećava opskrbu tjelesnih tkiva kisikom (2).

### **1.10.3. Farmakokinetička svojstva**

Izmjena kisika između atmosfere i organizma odvija se u plućima, na razini alveokapilarne membrane plućnih alveola uz pomoć pasivne difuzije. Oksihemoglobin je glavni prijenosnik kisika u krvi. Otopljeni kisik može se naći u plazmi u malim količinama (fiziološki do 3 % ukupnog kisika u arterijskoj krvi). Kisik je neophodan u staničnom metabolizmu za nastajanje energije (sinteza ATP-a u mitohondrijima kroz stanično disanje). Nakon tih reakcija sav apsorbirani kisik je metaboliziran (25).

### **1.10.4. Posebne mjere pri čuvanju lijeka**

Kod skladištenja i korištenja medicinskog kisika ključno je poštovati tehničke propise i standarde. Ispravno skladištenje medicinskog kisika uključuje njegovo držanje u dobro prozračenom prostoru koji je pokriven i zaštićen od izravne Sunčeve svjetlosti i drugih izvora topline. Dodatno, treba ga skladištiti dalje od zapaljivih materijala i održavati na temperaturi do +50°C (2).

Boce sa stopostotnim kisikom nužno je učvrstiti u gnijezdima kako bi se spriječilo prevrtanje. Strogo je zabranjeno bacanje ili nasilno udaranje po ventilima boca. Također, strogo je zabranjeno skladištenje boca na stubištima, hodnicima, prolazima ili prostorima gdje se konzumira. Zloupotreba tlačnog spremnika ili pokušaj ponovnog punjenja strogo je zabranjen, a dopušteno je samo originalno punjenje. Sve popravke ili održavanje na ventilima boca, uređajima za smanjenje tlaka ili drugoj tehničkoj opremi smiju obavljati samo ovlaštene stručnjaci (2).

Važno je osigurati da je ventil na bočici zatvoren nakon što je upotrijebite. U blizini prostora za skladištenje medicinskog kisika strogo je zabranjeno pušenje i prisutnost otvorenog plamena. Prilikom čišćenja spremnika ključno je izbjegavati korištenje bilo kakvih tvari koje mogu izazvati pospanost, izazvati anesteziju ili nadražiti dišni sustav. Neophodno je ne koristiti medicinski kisik nakon isteka roka valjanosti navedenog na pakiranju. Za održavanje čistoće potrebno je redovito uklanjati sva ulja ili masnoće iz cjevovoda i armatura. Na kraju, prilikom vraćanja boca na ponovno punjenje boce treba podvrgnuti minimalnom pritisku od dva bara (2).

## **1.11. TIMSKI RAD U LIJEČENJU DEKOMPRESIJSKE BOLESTI INTERVENCIJE MEDICINSKE SESTRE/TEHNIČARA I SKRB PRILIKOM HIPERBARIČNE OKSIGENACIJE**

Na Odjelu za pomorsku, podvodnu i hiperbaričnu medicinu radi 11 djelatnika, točnije pet doktora medicine, tri medicinske sestre (dvije prvostupnice), jedan časnik za održavanje te dva rukovoditelja sredstva. Pacijenti dolaze helikopterskom službom Hrvatske vojske iz Divulja preko KBC-a Split gdje ih prethodno pregledaju neurolozi, odnosno kirurzi, ovisno o kakvom se oštećenju radi. Specijalist u KBC-u Split koji pregledava pacijenta postavlja dijagnozu dekompresijske bolesti i javlja svoja saznanja hitnom intervencijskom timu koji je dežuran. Pacijenta se nastoji što je prije moguće dovesti na Odjel za pomorsku, podvodnu i hiperbaričnu medicinu. Prije dolaska treba eliminirati hemopneumotoraks koji je indikacija za ulazak u hiperbaričnu komoru.

Uloga medicinske sestre/tehničara koja je dio medicinskog stručnog tima ključna je i nezamjenjiva u provođenju HBOT-a zbog sljedećeg (2):

- visoke educiranosti poželjna konstantnu stručna edukacija (seminare, kongrese, predavanja)
- educirat se o sigurnosnim uvjetima i tehnikama za rad u barokomori (treba imati napredno znanje o prepoznavanju bolesti, sposobnosti procjene pacijentova stanja te poznavati kako radi barokomora, odnosno tlačenje, zakone, nuspojave, rastlačivanje)

- priprema pacijenta prije barokomore
- pratnja pacijenta tijekom tretmana u barokomori
- otpust pacijenta nakon određenog tretmana/ili određenoga broja odrađenih terapija.

Protokol prije ulaska u barokomoru:

- mjerenje krvnog tlaka (ako je tlak visok onda ne ulazi)
- mjerenje GUK-a (dijabetičarima)
- brzi fizikalni pregled da se utvrdi je li bilo sve u redu tijekom prošlog tretmana u barokomori.

Moguće nuspojave tijekom tlačenja i rastlačivanja jesu sljedeće (2):

- nuspojave tlaka s nekim lijekovima (kod Chronove bolesti, tlaka i dijabetesa)
- nuspojave trovanje kisikom (miopija, omaglica)
- barotraume uha.

Prilikom HBOT-a podrazumijeva se proces izjednačavanja tlaka u srednjem uhu, odnosno tzv. „Valsalvin manevar“ tako što će pomaknuti donju čeljust stiskanjem nosa i usta s ciljem prolaska zraka da se tlak izjednači u uhu. Tlak se može izjednačiti zijevanjem, gutanjem sline te pijenjem vode. Ako postoji poteškoća zbog koje se pacijentu ne može izjednačiti tlak u ušima, treba mu se ugraditi cjevčica koja glumi spontani proces izjednačavanja tlakova (2).

Porastom tlaka raste i temperatura u barokomori i do 42 °C. Međutim, temperatura se izregulira ventiliranjem jedne do tri minute, pa se temperatura spusti na ugodnih 28 °C. Najvažnije je pravilno postaviti masku, odnosno spojiti crijevo na zrak i odvod na cijev za odvod CO<sub>2</sub>. Najčešće jedan tretman traje 60 minuta. Tretman započinje postavljanjem zadnje maske u komori zadnjem pacijentu. Nakon isteka vremena rastlačivanje najčešće traje četiri minute, i to zadnjih šest metara. Tada ne treba puhati da bi se tlak izjednačio, već to ide normalno (2).

Hitne intervencije za HBOT terapiju jesu sljedeće:

- dekompresijska bolest
- akutno trovanje CO<sub>2</sub>
- trovanje cijanidima
- trovanje nitratima
- trovanje pesticidima
- smrzotine
- plinska gangrena
- komplikacije dijabetesa (dijabetičko stopalo)
- ulcerozne rane
- subakutne ishemije.

Apsolutne kontraindikacije za primjenu HBOT jesu sljedeće:

- tenzijski pneumotoraks
- cerebralni apsces
- iznenadna gluhoća
- iznenadna sljepoća
- radionekroza tkiva
- nekrotizirajuće i anaerobne bakterije
- COVID-19 (zbog smanjenog imuniteta).

Liječenje bolesnika s dekompresijskom bolešću najbolje je provoditi među profesionalnim timom. Rana identifikacija i upućivanje u hiperbarični centar važni su za dobre ishode teške dekompresijske bolesti (26).

## 2. CILJEVI RADA

Glavni je cilj istraživanja analizirati prevalenciju i tipove dekompresijske bolesti na Odjelu za pomorsku, podvodnu i hiperbaričnu medicinu u Splitu od 2010. do 2020.

Specifični ciljevi istraživanja jesu sljedeći:

1. prikazati podatke o ronionicima koji su 2010. do 2020. tretirani na Odjelu za podvodnu i hiperbaričnu medicinu u Splitu prema sljedećim obilježjima:
  - broju intervencija
  - tipu dekompresijske bolesti (tip 1 i tip 2)
  - dubini zarona
  - ishodu liječenja
  - sociodemografskim podacima (spolu, dobi i nacionalnosti)
2. ispitati razlike u tipu dekompresijske bolesti s obzirom na dob, spol i dubinu zarona
3. ispitati povezanost dubine zarona i ishoda liječenja.

U skladu s tim ciljevima postavljaju se sljedeće istraživačke hipoteze:

H1: Pretpostavlja se da se broj medicinskih intervencija poduzetih za liječenje dekompresijske bolesti na Odjelu za podvodnu i hiperbaričnu medicinu u Splitu povećao od 2010. do 2020. godine.

H2: Pretpostavlja se da je tip 1 dekompresijske bolesti češći u odnosu na tip 2 te bolesti među pacijentima tretiranim na Odjelu za podvodnu i hiperbaričnu medicinu u Splitu od 2010. do 2020.

H3: Pretpostavlja se da je većina ispitanih pacijenata tretirana na Odjelu za podvodnu i hiperbaričnu medicinu u Splitu od 2010. do 2020. prilikom razvoja dekompresijske bolesti ronila na dubinama do 40 metara.

H4: Pretpostavlja se da je većina pacijenata tretiranih na Odjelu za podvodnu i hiperbaričnu medicinu u Splitu od 2010. do 2020. zbog dekompresijske bolesti izliječena.

H5: Pretpostavlja se da je s obzirom na spol većina pacijenata muškog spola među tretiranimi na Odjelu za podvodnu i hiperbaričnu medicinu u Splitu od 2010. do 2020. zbog dekompresijske bolesti.

H6: Pretpostavlja se da je s obzirom na dob većina pacijenata među tretiranimi na Odjelu za podvodnu i hiperbaričnu medicinu u Splitu od 2010. do 2020. zbog dekompresijske bolesti u dobi od 41 godine i više.

H7: Pretpostavlja se da su s obzirom na nacionalnost većina pacijenata među tretiranimi na Odjelu za pomorsku, podvodnu i hiperbaričnu medicinu u Splitu od 2010. do 2020. zbog dekompresijske bolesti Hrvati.

H8: Pretpostavlja se da postoji statistički značajna razlika između tipova dekompresijske bolesti i dubine zarona, spola i dobi ispitanika među pacijentima liječenim na Odjelu za pomorsku, podvodnu i hiperbaričnu medicinu u Splitu od 2010. do 2020. zbog dekompresijske bolesti.

H9: Pretpostavlja se da postoji statistički značajna povezanost između dubine zarona i ishoda liječenja dekompresijske bolesti među pacijentima tretiranimi na Odjelu za pomorsku, podvodnu i hiperbaričnu medicinu u Splitu od 2010. do 2020. zbog dekompresijske bolesti.

### **3. IZVORI PODATAKA I METODE**

#### **3.1. ISPITANICI**

Riječ je o retrospektivnom istraživanju u okviru kojeg su pregledani zdravstveni kartoni pacijenata koji su se od 2010. do 2020. liječili na Odjelu za pomorsku, podvodnu i hiperbaričnu medicinu u Splitu zbog dekompresijske bolesti (neovisno o tipu bolesti koji im je dijagnosticiran) koje je uzrokovalo ronjenje. U istraživanju je pregledan 141 zdravstveni karton. Pritom je u istraživanje uključeno 114 muškaraca i 27 žena. Ispitanici koji su sudjelovali u istraživanju nisu bili vojni ronionci, već civili, i to profesionalni i amaterski ronionci. Istraživanje je provedeno anonimno. Prije provođenja istraživanja zatraženo je odobrenje Ministarstvo obrane i oružanih snaga Republike Hrvatske (MORH), s obzirom na to da su u svrhu istraživanja korišteni podaci MORH-a.

#### **3.2. METODE**

Za prikupljanje podataka korištena je medicinska dokumentacija iz zdravstvenih kartona hitnih intervencija oboljelih ronionca od dekompresijske bolesti te pristanak za statističku obradu u svrhu napretka liječenja i usvajanja novih smjernica.

Prikupljeni podaci obrađeni su statističkim alatom IBM SPSS Statistics 25. Varijable su kategorijskog tipa, pa su opisane frekvencijama i postocima. Prilikom testiranja odnosa određenih pokazatelja i sociodemografskih značajki ispitanika korišten je Hi-kvadrat test. Kao razina značajnosti korištena je vrijednost od 5 % ( $p < 0,05$ ).

#### **3.3. ETIČKA PITANJA**

Provođenje istraživanja odobrilo je Ministarstvo obrane i oružanih snaga Republike Hrvatske, odnosno Zapovjedništvo za potporu (KLASA: 811-01/23-05/1, URBROJ: 3415-41-23-7) 6. veljače 2023. godine.



## 4. REZULTATI

U ovom se poglavlju prikazuju i analiziraju rezultati istraživanja s obzirom na postavljene specifične ciljeve.

### 4.1. BROJ MEDICINSKIH INTERVENCIJA, DUBINA ZARONA, TIPOVI DEKOMPRESIJSKE BOLESTI I ISHODI MEDICINSKIH INTERVENCIJA OD 2010. DO 2020. GODINE

U tablici 4. prikazani su podaci vezani za broj medicinskih intervencija na Odjelu pomorsku, podvodnu i hiperbaričnu medicinu u Splitu od 2010. do 2020. godine.

**Tablica 4.** Broj medicinskih intervencija vezanih za dekompresijsku bolest na Odjelu za podvodnu i hiperbaričnu medicinu u Splitu od 2010. do 2020.

		N	%
Godina	2010.	5	3,5
	2011.	7	5,0
	2012.	10	7,1
	2013.	16	11,3
	2014.	5	3,5
	2015.	13	9,2
	2016.	16	11,3
	2017.	14	9,9
	2018.	18	12,8
	2019.	20	14,2
	2020.	17	12,1
	Ukupno	141	100,0

Vidljivo je kako je tijekom promatranih godina zabilježen porast broja medicinskih intervencija zbog dekompresijske bolesti, pri čemu je najveći broj medicinskih intervencija zabilježen od 2016. do 2020. godine. Podaci vezani za tip dekompresijske bolesti među ispitanim pacijentima prikazani su u tablici 5.

**Tablica 5.** Zastupljenost pacijenata prema tipu dekompresijske bolesti (tip 1 i tip 2) od 2010. do 2020.

		N	%
Tip dekompresijske bolesti	DB1	33	23,4
	DB2	108	76,6
	Ukupno	141	100,0

Pokazalo se da je u promatranom razdoblju značajno veći udio ispitanika bolovao od DB tipa 2, koja je i teži tip bolesti. Točnije, od DB tipa 1 bolovalo je 23,4 % ispitanika, a od DB tipa 2 njih 76,6 %. Zastupljenost pacijenata s obzirom na dubinu zarona u trenutku razvoja dekompresijske bolesti prikazana je u tablici 6.

**Tablica 6.** Zastupljenost pacijenata s obzirom na dubinu zarona u trenutku razvoja dekompresijske bolesti

		N	%
Dubina zarona	0-40	89	63,1
	41 i više	52	36,9
	Ukupno	141	100,0

Vidljivo je da je s obzirom na dubinu zarona 63,1 % ispitanika u trenutku ronilačke nesreće ronila na dubinama do 40 metara, dok je preostalih 36,9 % ronilo na 41 i više metara. Ishodi medicinskih tretmana dekompresijske bolesti od 2010. do 2020. prikazani su u tablici 7.

**Tablica 7.** Ishodi medicinskih tretmana dekompresijske bolesti od 2010. do 2020.

		N	%
Ishod liječenja	Izliječen/a	131	94,2
	Nastavak liječenja	3	2,2
	Prekid liječenja (loše)	2	1,4
	Recidiv	3	2,2
	Ukupno	139	100,0

Kada je riječ o ishodu liječenja 94,2 % pacijenata su izliječeni, njih 2,2 % nastavili su liječenje, 1,4 % pacijenata je prekinulo liječenje (ishodi su loši), dok preostalih 2,2 % pacijenata je imalo recidiv bolesti.

#### **4.2. OBILJEŽJA PACIJENATA KOJI SE LIJEČE OD DEKOMPRESIJSKE BOLESTI S OBZIROM NA DOB, SPOL I NACIONALNU PRIPADNOST**

Zastupljenost pacijenata prema spolu od 2010. do 2020. prikazana je u tablici 8.

**Tablica 8.** Zastupljenost pacijenata prema spolu od 2010. do 2020.

		N	%
Spol	M	114	80,9
	Ž	27	19,1
	Ukupno	141	100,0

S obzirom na spol vidljivo je da je 80,9 % ispitanika muškog spola, dok je preostalih 19,1 % ženskog spola. Prema tome, u promatranom razdoblju je značajno veći broj nastradalih muškaraca među ronionicima u odnosu na žene. Zastupljenost pacijenata s obzirom na dob prikazana je u tablici 9.

**Tablica 9.** Zastupljenost pacijenata s obzirom na dob od 2010. do 2020.

		N	%
Dob	do 40	28	19,9
	41 i više	113	80,1
	Ukupno	141	100,0

Vidljivo je da je većina ispitanika u dobi od 41 godine i više. Točnije, u toj je dobi nešto više od četiri petine ispitanika. Zastupljenost pacijenata prema nacionalnosti prikazana je u tablici 10.

**Tablica 10.** Zastupljenost pacijenata prema nacionalnosti

	N	%
AUSTRIJA	4	2,8
BIH	4	2,8
ČEŠKA	4	2,8
DANSKA	1	0,7
ENGLESKA	1	0,7
ESTONIJA	1	0,7
FINSKA	1	0,7
HRVATSKA	49	34,8
ITALIJA	2	1,4
JAPAN	1	0,7
LITVA	1	0,7
MAĐARSKA	4	2,8
MALTA	2	1,4
NIZOZEMSKA	2	1,4
NJEMAČKA	11	7,8
POLJSKA	35	24,8
RUSIJA	2	1,4
SLOVAČKA	1	0,7
SLOVENIJA	7	5,0
ŠVEDSKA	1	0,7
ŠVICARSKA	1	0,7
UKRAJINA	1	0,7
SAD	2	1,4
VELIKA BRITANIJA	3	2,1

Ukupno	141	100,0
--------	-----	-------

S obzirom na nacionalnost ispitanika vidljivo je da je najveći udio ispitanika iz Hrvatske (34,8 %) i Poljske (24,8 %).

#### 4.3. RAZLIKE U TIPU DEKOMPRESIJSKE BOLESTI S OBZIROM NA DOB, SPOL I DUBINU ZARONA

U tablici 11. vidljiva je usporedba ispitanih pokazatelja s obzirom na tip dekompresijske bolesti.

**Tablica 11.** Broj i postotak tipova dekompresijske bolesti s obzirom na demografske pokazatelje, dubinu zarona i ishode liječenja

		Tip dekompresijske bolesti			
		DB tipa 1		DB tipa 2	
		N	%	N	%
Godina	2010.	1	3,0	4	3,7
	2011.	1	3,0	6	5,6
	2012.	4	12,1	6	5,6
	2013.	1	3,0	15	13,9
	2014.	3	9,1	2	1,9
	2015.	2	6,1	11	10,2
	2016.	2	6,1	14	13,0
	2017.	1	3,0	13	12,0
	2018.	8	24,2	10	9,3
	2019.	5	15,2	15	13,9
	2020.	5	15,2	12	11,1
		Ukupno	33	100,0	108
Dob	do 40	13	39,4	15	13,9
	41 i više	20	60,6	93	86,1
	Ukupno	33	100,0	108	100,0
Spol	M	24	72,7	90	83,3
	Ž	9	27,3	18	16,7
	Ukupno	33	100,0	108	100,0
Dubina zarona	0-40 m	23	69,7	66	61,1

	41 m i više	10	30,3	42	38,9
	Ukupno	33	100,0	108	100,0
Ishod liječenja	Izliječen/a	32	100,0	99	92,5
	Nastavak liječenja	0	0,0	3	2,8
	Prekid liječenja (loše)	0	0,0	2	1,9
	Recidiv	0	0,0	3	2,8
	Ukupno	32	100,0	107	100,0
	Nacionalnost	AUSTRIJA	1	3,0	3
	BIH	1	3,0	3	2,8
	ČEŠKA	1	3,0	3	2,8
	DANSKA	1	3,0	0	0,0
	ENGLESKA	0	0,0	1	0,9
	ESTONIJA	0	0,0	1	0,9
	FINSKA	1	3,0	0	0,0
	HRVATSKA	13	39,4	36	33,3
	ITALIJA	0	0,0	2	1,9
	JAPAN	0	0,0	1	0,9
	LITVA	1	3,0	0	0,0
	MAĐARSKA	0	0,0	4	3,7
	MALTA	1	3,0	1	0,9
	NIZOZEMSKA	0	0,0	2	1,9
	NJEMAČKA	1	3,0	10	9,3
	POLJSKA	9	27,3	26	24,1
	RUSIJA	0	0,0	2	1,9
	SLOVAČKA	0	0,0	1	0,9
	SLOVENIJA	2	6,1	5	4,6
	ŠVEDSKA	1	3,0	0	0,0
	ŠVICARSKA	0	0,0	1	0,9
	UKRAJINA	0	0,0	1	0,9
	SAD	0	0,0	2	1,9
	VELIKA BRITANIJA	0	0,0	3	2,8
	Ukupno	33	100,0	108	100,0

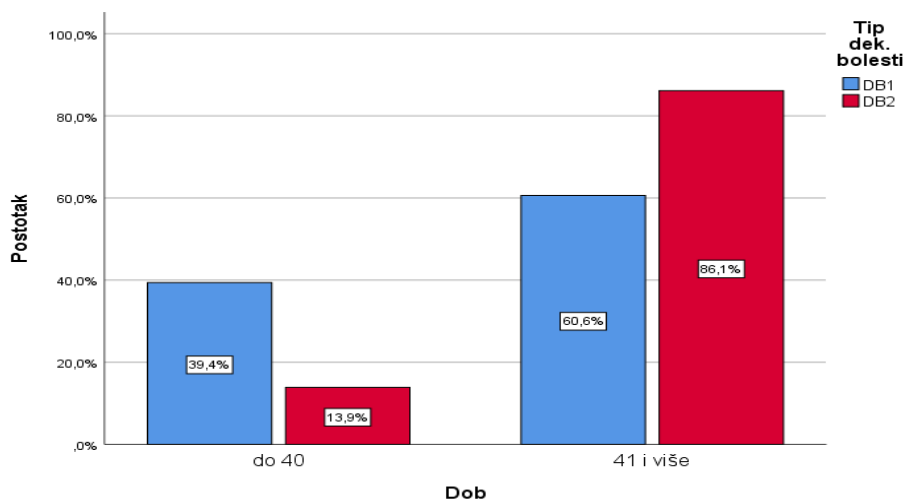
U tablici 12. prikazani su rezultati Hi-kvadrat testa za usporedbu odabranih pokazatelja, i to dobi, spola i dubine zarona s tipom dekompresijske bolesti

**Tablica 12.** Razlike u tipu dekompresijske bolesti s obzirom na dob, spol i dubinu zarona

		Tip dekompresijske bolesti
Dob	Chi-square	10,332
	df	1
	Sig.	,001*
Spol	Chi-square	1,837
	df	1
	Sig.	,175
Dubina zarona	Chi-square	,800
	df	1
	Sig.	,371

\*. The Chi-square statistic is significant at the ,05 level.

Pogleda li se razina značajnosti usporedbe dobi pacijenata s tipom dekompresijske bolesti može se uočiti kako vrijednost  $\chi^2$ -testa iznosi  $\chi^2=10,332$ ,  $p<0,05$ , što znači da je uočena statistički značajna razlika s obzirom na tip dekompresijske bolesti. Drugim riječima, pacijenti koji su liječeni zbog DB tipa 2 su značajno stariji od onih koji su liječeni od DB tipa 1. Nadalje, statistički značajna razlika s obzirom na spol i dubinu zarona s tipom dekompresijske bolesti nije uočena. Odnos dobi i tipa dekompresijske bolesti prikazana je na slici 7.



**Slika 6.** Odnos dobi i tipa dekompresijske bolesti

Vidljivo je da kod DB tipa 1 39,4 % ispitanika ima do 40 godina, dok 86,1 % ispitanika s DB tipa 2 ima 41 i više godina. Prema tome, viša životna dob povezana je s

DB tipom 2 bolesti, koji je i teži tip dekompresijske bolesti.

#### 4.4. POVEZANOST DUBINE ZARONA I ISHODA LIJEČENJA DEKOMPRESIJSKE BOLESTI

U nastavku su prikazani rezultati usporedbe dubine zarona i ishoda liječenja bolesti među ispitanicima.

**Tablica 13.** Broj i postotci ispitanika s obzirom na dubine zarona i ishode liječenja dekompresijske bolesti

			Dubina zarona		Ukupno	
			0-40	41 i više		
Ishod liječenja	Izliječen/a	N	84	47	131	
		%	96,6	90,4	94,2	
	Nastavak liječenja	N	0	3	3	
		%	0,0	5,8	2,2	
	Prekid liječenja (loše)	N	0	2	2	
		%	0,0	3,8	1,4	
	Recidiv	N	3	0	3	
		%	3,4	0,0	2,2	
	Ukupno		N	87	52	139
			%	100,0	100,0	100,0

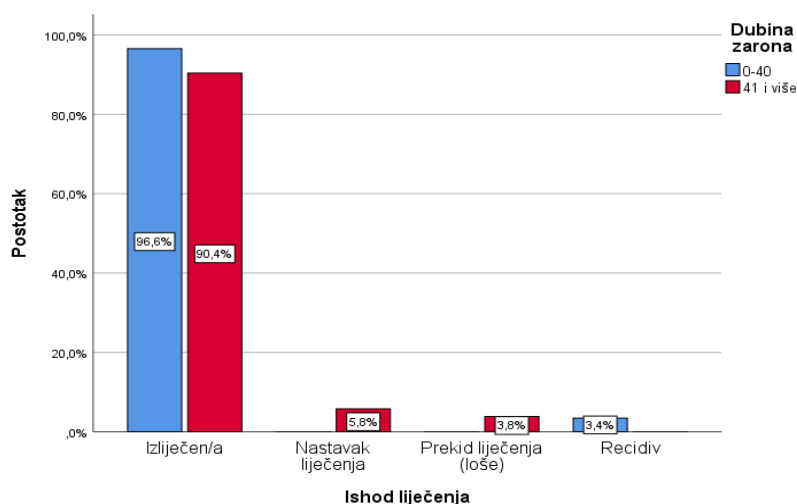
Vrijednosti Hi kvadrat testa za testiranje povezanosti dubine zarona i ishoda liječenja dekompresijske bolesti prikazane su u tablici 14.



**Tablica 14.** Povezanost dubine zarona i ishoda liječenja dekompresijske bolesti

	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)
Pearson Chi-Square	10,290	3	<b>,016</b>
Likelihood Ratio	12,776	3	,005
Linear-by-Linear Association	,121	1	,728
N of Valid Cases	139		

Pogleda li se razina značajnosti kod ishoda liječenja može se uočiti kako vrijednost Hi kvadrat testa iznosi ( $\chi^2=0,016$ ,  $p<0,05$ ), što znači da je uočena statistički značajna povezanost dubine zarona i ishoda liječenja. Odnos između dubine zarona i ishoda liječenja prikazan je i na slici 7.



**Slika 7.** Odnos dubine zarona i ishoda liječenja

Vidljivo je da su svi ispitanici koji su imali nastavak liječenja i prekid liječenja (bili su loše) bili na dubini od 41 metra i većoj. Među pacijentima kod kojih se javio recidiv svi su bili na dubini do 40 metara, a među izliječenim pacijentima više je onih koji su bili na dubini do 40 metara (96,6 %) u odnosu na one koji su bili na dubini od 41 metra i većoj (90,4 %). Dakle, veće dubine zarona kod ronilaca koji su bolovali od dekompresijske bolesti povezane su s lošijim ishodima liječenja.

## 5. RASPRAVA

U istraživanju prevalencije i broja evidentiranih slučajeva dekompresijske bolesti od 2010. do 2020. prikupljeni su podaci 141 ronioca, od toga 113 muškog i 27 ženskog spola koji su zaprimljeni kao hitna intervencija na Zavod za pomorsku, podvodnu i hiperbaričnu medicinu Zavoda za pomorsku medicinu u Splitu.

Na temelju prikazanih rezultata istraživanja vidljivo je da je u promatranom razdoblju broj ronjenja u kojima je bila nužna medicinska intervencija zbog dekompresijske bolesti gotovo neprestano rastao. Iznimka je 2014. godina kada je zabilježen manji broj intervencija u odnosu na prethodnu godinu. Također je manji broj intervencija zabilježen 2020. (18 intervencija) u usporedbi s 2019. godinom (20 intervencija), što je vjerojatno posljedica globalne epidemije bolesti COVID-19. Ipak, kada se promotre prva i posljednja godina, vidljivo je da je broj medicinskih intervencija u promatranom razdoblju značajno porastao (5 intervencija u odnosu na njih 18). U skladu s navedenim može se potvrditi prva istraživačka hipoteza prema kojoj se i pretpostavljalo da se broj medicinskih intervencija poduzetih za liječenje dekompresijske bolesti na Odjelu za podvodnu i hiperbaričnu medicinu u Splitu povećao od 2010. do 2020. Takvi rezultati nisu neočekivani s obzirom na to da neki podaci pokazuju da iz godine u godinu raste broj ronilaca. Ako raste broj ronilaca, logično je da raste i broj ronilačkih nesreća. Primjerice, 2022. godine je u SAD-u broj ronilaca iznosio 2,7 milijuna, što je porast od 7,3 % u odnosu na prethodnu godinu. Osim toga, porastao je broj povremenih ronilaca, i to za 12,1 % (27).

Nadalje, provedeno je istraživanje pokazalo da je DB tipa 2 (a to je teži tip bolesti) češći u usporedbi s DB tipom 1 među ispitanicima, i to tri puta češći. Na temelju navedenoga može se odbaciti druga istraživačka hipoteza u skladu s kojom se pretpostavljalo da je DB tipa 1 češći u odnosu na DB tipa 2. Ovakvi rezultati su neočekivani s obzirom na to da se obično DB tipa 1 češće javlja. Tako je i američka mornarica navela da je veći rizik od razvoja DB tipa 1 (2 %) u odnosu na DB tipa 2 (0,1 %)(28). Moguće je da na to koji će se tip dekompresijske bolesti kod ronilaca razviti utječe ronilačko iskustvo, dob ronilaca, dubina zarona, ali i broj zarona i sl. U stručnoj literaturi, nažalost, nisu pronađeni podatci kojima bi se potvrdile takve pretpostavke.

Isto tako se pokazalo da je gotovo dvije trećine ispitanika u trenutku ronilačke nesreće ronila na dubinama do 40 metara, dok su preostali ispitanici u trenutku nesreće ronili dublje. U skladu s time može se potvrditi treća istraživačka hipoteza u skladu s kojom se pretpostavljalo da je većina ispitanih pacijenata tretirana na Odjelu za pomorsku, podvodnu i hiperbaričnu medicinu u Splitu od 2010. do 2020. godine prilikom razvoja dekompresijske bolesti ronila na dubinama do 40 metara. Moguće je da bi bilo više slučajeva dekompresijske bolesti u promatranom razdoblju da su ronionci zaronili na većim dubinama s obzirom na to da vrijedi pravilo da što je dubina veća, veći je rizik od dekompresijske bolesti. Međutim, manji je udio ronilaca općenito koji rone na tako velikim dubinama, odnosno na dubinama većima od 40 metara, posebno rekreativnih ronilaca.

Nadalje, pokazalo se da je većina pacijenata koji su tretirani na Odjelu za pomorsku, podvodnu i hiperbaričnu medicinu u Splitu u promatranom razdoblju zbog dekompresijske bolesti izliječena. Naime, u manje od 5 % slučajeva oba tipa dekompresijske bolesti pacijenti su bili upućeni na daljnje liječenje ili unutar države ili u inozemstvo ili su ponovno podvrgnuti dekompresiji. U skladu s istaknutim rezultatima može se potvrditi i četvrta istraživačka hipoteza. Kod ronjenja na zrak u dubinama većim od 30 metara rizik za dekompresijsku bolest značajno se povećava, ali rano prepoznavanje simptoma i žurno zbrinjavanje pacijenata s dekompresijskom bolesti važno je kako bi se što više smanjile štetne posljedice dušika. U svojem istraživanju Kirby zaključio je da se dekompresijska bolest nižeg stupnja može javiti s atipičnim simptomima, pri čemu hiperbarična terapija kisikom ostaje primarni tretman za dekompresijsku bolest (29). Istraživanje koje su proveli Lemaitre i suradnici pokazalo je da neki ronionci redovito izvode ponavljana ronjenja do 30 ili 40 metara ili jednokratno ronjenja do više od 200 metara, a to sve može utjecati na koncentraciju dušika koji izaziva simptome dekompresijske bolesti. Zabilježeni su neurološki problemi kod ljudi nakon jednokratnog ili ponovljenog ronjenja (30). U ovom istraživanju, nažalost, ne postoje podaci o tome jesu li ronjenja bila ponavljana.

Rezultati provedenog istraživanja pokazali su i da su većina ispitanika bili muškarci. Takvi rezultati nisu neočekivani s obzirom na činjenicu da se muškarci češće bave ronjenjem i da se ronjenje promatra kao „muški“ sport. Provedeno istraživanje pokazalo je da su žene bile pacijenti u promatranom razdoblju na Odjelu za pomorsku,

podvodnu i hiperbaričnu medicinu u Splitu tek u petini slučajeva. U skladu s navedenim može se potvrditi i peta istraživačka hipoteza.

Analizirala se i dob pacijenata koji su tretirani u promatranom razdoblju zbog dekompresijske bolesti. Rezultati su pokazali da su ispitanici pretežno bili u dobi od 41 godine i više. Stoga se šesta istraživačka hipoteza, u okviru koje se pretpostavljalo da je s obzirom na dob većina pacijenata među tretiranima na Odjelu za podvodnu i hiperbaričnu medicinu u Splitu od 2010. do 2020. zbog dekompresijske bolesti u dobi od 41 godine i više također potvrđuje. Naime, pretpostavlja se da će većina ispitanika biti starije životne dobi jer su, kako je istaknuto u teorijskom dijelu rada, stariji roniaci podložniji nastanku dekompresijske bolesti zbog, kako se pretpostavlja, lošije kvalitete zglobnih ploština i veće zastupljenosti masnog tkiva (3).

Predmet istraživanja bila je i nacionalnost pacijenata koji su u promatranom desetogodišnjem razdoblju bili primljeni na Odjel za pomorsku, podvodnu i hiperbaričnu medicinu u Splitu povećao zbog dekompresijske bolesti. Logično je bilo pretpostaviti s obzirom na to da su pacijenti liječeni u Republici Hrvatskoj da će većina pacijenata zaprimljenih u tom razdoblju biti hrvatske nacionalnosti, a ta je pretpostavka i potvrđena. Tako se pokazalo da Hrvati značajno prednjače među pacijentima zaprimljenima zbog dekompresijske bolesti u promatranom razdoblju 2010.-2020-g. u odnosu na pacijente ostalih nacionalnosti. Na temelju navedenoga potvrđuje se sedma istraživačka hipoteza. Pripadnici drugih nacionalnosti vjerojatno su bili turisti koji su se tijekom ljetnih mjeseci bavili rekreativnim ronjenjem.

Kada je riječ o razlikama u tipovima dekompresijske bolesti u odnosu na dob, spol i dubinu zarona, statistički značajna razlika pokazala se samo između dobi i tipova dekompresijske bolesti. Točnije, pokazalo se da je viša životna dob povezana s DB tipom 2 bolesti, koji je teži tip dekompresijske bolesti. Naime, 86,1 % ispitanika s DB tipa 2 imalo 41 i više godina. Međutim, statistički značajne razlike nisu utvrđene između dubine zarona i spola s tipovima dekompresijske bolesti. U skladu s time, osma istraživačka hipoteza prema kojoj se pretpostavljalo da postoji statistički značajna razlika između dubine zarona, spola i dobi ispitanika i tipa dekompresijske bolesti među ispitanicima zbog dekompresijske bolesti može se samo djelomično potvrditi. Nisu pronađena ni slična provedena istraživanja koja upućuju na zaključak da je dubina zarona povezana s određenim tipom dekompresijske bolesti. Ono što istraživanja pokazuju jest samo da

dubina zarona itekako utječe na razvoj dekompresijske bolesti, pa veća dubina predstavlja veći rizik od razvoja te bolesti (29). Kada je riječ o odnosu spola i dekompresijske bolesti istraživanje nije pokazalo na postojanje razlika. Međutim, pretpostavlja se da će se u tom pogledu pokazati veza jer u stručnoj literaturi postoje neki navodi ukazuju da spol igra određenu ulogu u razvoju dekompresijske bolesti. Naime, žene su opreznije pa donose sigurnije odluke kada je riječ o ronjenju (31). U ovom istraživanju je zastupljenost žena u promatranom uzorku puno manja, pa se postavlja pitanje bi li odnos spola i tipova dekompresijskih bolesti bio drugačiji da je broj omjer ispitanika po spolu bio drugačiji, tj. da je bilo više žena.

Isto tako, već je istaknuto da su, u skladu s nekim pokazateljima, žene osjetljivije za nastanak dekompresijske bolesti, posebno žene koje uzimaju hormonske preparate protiv začeca (3). Međutim, u stručnoj literaturi nema navoda da spol igra ikakvu ulogu u razvoju određenog tipa dekompresijske bolesti.

U radu se ispitivala i statistički značajna povezanost između dubine zarona i ishoda liječenja dekompresijske bolesti. Rezultati provedenog istraživanja pokazali su da među ispitanicima postoji povezanost kada je riječ o dubini zarona i ishoda liječenja bolesti. Svi pacijenti koji su trebali nastaviti liječenje ili su prekinuli liječenje u trenutku razvoja dekompresijske bolesti bili su na dubini od 41 metra i većoj. Na temelju navedenog zaključuje se da su veće dubine zarona povezane s lošim ishodima liječenja ronilaca. Stoga se može potvrditi i deveta istraživačka hipoteza.

Očito je da je ronjenje opasno i da ronionci trebaju znati kako roniti i izroniti na površinu s ciljem sprječavanja razvoja dekompresijske bolesti. Zdravstveni tim koji sudjeluje u liječenju pacijenata oboljelih od dekompresijske bolesti treba posjedovati specifična znanja i vještine. Dio tog tima je i medicinska sestra/tehničar koja/i uz navedeno treba posjedovati i verbalne sposobnosti, poznavati više stranih jezika (jer je vidljivo da su ronionci često i pripadnici drugih nacionalnosti) te psihološko-pedagoški individualni pristup svakom pacijentu. Osim toga, nužno je postrožiti zakonske uvjete i uvesti obavezan liječnički pregled za sve koji žele roniti.

Provedeno istraživanje pruža vrijedne podatke o incidenciji dekompresijskih bolesti u Republici Hrvatskoj i čimbenicima koji mogu utjecati na težinu bolesti. Svakako se dobiveni rezultati mogu koristiti u osmišljavanju preventivnih programa kojima se educiraju ronionci o mogućim rizicima ronjenja, ali i prilikom obučavanja voditelja

ronilačkih aktivnosti. Ograničenje ovog istraživanja odnosi se na relativno mali broj ispitanika koji su njime obuhvaćeni, ali i ograničenjima zaključaka koji proizlaze iz korištenih statističkih analiza. Također bi bilo zanimljivo u budućim istraživanjima usporediti vrste ronilaca (profesionalni i rekreativni) kako bi se istražio odnos između ronilačkog iskustva, stupnja edukacije o ronjenju i incidenciji ronilačkih incidenata.

## 6. ZAKLJUČCI

Na temelju provedenog istraživanja donose se sljedeći zaključci:

- Broj medicinskih intervencija vezanih za dekompresijsku bolest na Odjelu za pomorsku, podvodnu i hiperbaričnu medicinu u Splitu od 2010. do 2020. porastao za više od tri puta (pet intervencija u 2010. u odnosu na 18 intervencija u 2020. godini). S obzirom na trend povećanja medicinskih intervencija nužno je planirati veći broj zaposlenih djelatnika, povećati budžet za zaposlenike i napraviti dodatne timove koji to mogu pokriti te obnoviti medicinska pomagala.
- Učestalost DB tipa 1 nasuprot DB tipa 2 pokazala je da je DB tipa 2 (teži tip bolesti) tri puta češći (23,4 % pacijenata s DB tipa 1, a 76,6 % pacijenata s DB tipa 2) među pacijentima na Odjelu za pomorsku, podvodnu i hiperbaričnu medicinu u Splitu od 2010. do 2020.
- Većina ispitanih pacijenata (63,1 %) prilikom razvoja dekompresijske bolesti ronila je na dubinama do 40 metara.
- Većina pacijenata (94,2 %) je izliječena. S obzirom na ukupan broj promatranih slučajeva to čini manje od 5 % ne izliječenih pacijenata, pa se može zaključiti da je dekompresijska bolest (oba tipa) u vrlo visokom postotku izlječiva bolest, ali je potrebna što ranija medicinska intervencija, odnosno rekompresija.
- Među pacijentima prevladavaju muškarci (80,9 %) te pacijenti u dobi od 41 godine i više (80,1 %).
- S obzirom na nacionalnost većina pacijenata (34,8 %) su hrvatskog državljanstva.
- Pokazalo se da postoji statistički značajna razlika između dobi pacijenata i tipa dekompresijske bolesti (stariji ispitanici češće obolijevaju od DB tipa 2, odnosno od težeg tipa bolesti), a statistički značajna razlika između tipova dekompresijske bolesti s dubinom zarona i spolom nije uočena.
- Dokazana je statistički značajna povezanost između dubine zarona pacijenata i ishoda liječenja dekompresijske bolesti. Veće dubine zarona kod ronilaca koji su

bolovali od dekompresijske bolesti češće rezultiraju lošijim ishodima liječenja te bolesti.



## 7. LITERATURA

1. Pavlina Ž, Komar Z. Vojna psihologija: knjiga treća: 2000. – 2005. Zagreb: Ministarstvo unutarnjih poslova Republike Hrvatske; 2005.
2. Jain KK. Udžbenik hiperbarične medicine. Pula: Poliklinika za baromedicinu i medicinu rada OXY; 2010.
3. Petri NM, Andrić D. Odabrana poglavlja iz medicine ronjenja: materijali za pohađanje tečaja poslijediplomskog usavršavanja iz medicine ronjenja za liječnike. Split; Hrvatski liječnički zbor; 2001.
4. TZ Brodarica - Krapanj. Spužvarstvo na Krapnju. Dostupno na: <https://visit-krapanjbrodarica.com/spuzvarstvo/> (pristupljeno 15. listopada 2023.)
5. Poliklinika za baromedicinu OXY, Povijesni razvoj HBOT u svijetu i Hrvatskoj. Dostupno na: <http://oxy.hr/hiperbaricna-oksigenacija-hbot/lijecenje-kisikom/povijesni-razvoj-hbot-u-svijetu-i-hrvatskoj> (pristupljeno 15. listopada 2023.)
6. Hall J. The risks of scuba diving: a focus on decompression illness. Hawaii J Med Public Health. 2014;73(11):13-16.
7. Poliklinika za baromedicinu OXY, Klasifikacija, etiologija, patofiziologija, klinička slika i liječenje ronilačkih bolesti. Dostupno na: <http://oxy.hr/index.php?/lijecenje-ronilackih-bolesti/lijecenje/klasifikacija-etilogija-patofiziologija-klinicka-slika-i-> (pristupljeno 15. listopada 2023.)
8. Miuntain A. Ronjenje. Rijeka: Dušević i Kršovnik; 1998.
9. Cheng L, Silva P, Dahab R. Dysbaric osteonecrosis of the humeral head in a patient with type 2 decompressive sickness. Spinal Cord Ser Cases. 2021;7:62.
10. Vann RD, Butler FK, Mitchell SJ, Moon RE. Decompression illness. Lancet. 2011;8;377(9760):153-164.
11. Beuster W, van Laak U. [Severe decompression sickness in divers]. Wien Med Wochenschr. 1999;151(5-6):111-116.
12. Murrison AW, Francis TJ. An introduction to decompression illness. Br J Hosp Med. 1991;46(2):107-110.

13. Hubbard M, Davis FM, Malcolm K, Mitchell SJ. Decompression illness and other injuries in a recreational dive charter operation. *Diving Hyperb Med.* 2018;48(4):218-223.
14. Geng M, Zhou L, Liu X, Li P. Hyperbaric oxygen treatment reduced the lung injury of type II decompression sickness. *Int J Clin Exp Pathol.* 2015;8(2):1797-1803.
15. Pollock NW, Bureau D. Updates in Decompression Illness. *Emerg Med Clin North Am.* 2017;35(2):301-319.
16. Hrvatska enciklopedija, Ishemija. Dostupno na: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=27901> (pristupljeno 15. listopada 2023.)
17. Barratt DM, Harch PG, Van Meter K. Decompression illness in divers: a review of the literature. *Neurologist.* 2002;8(3):186-202.
18. Zavod za podvodnu i hiperbaričnu medicinu KBC Rijeka, Barokomora. Dostupno na: <https://kbc-rijeka.hr/barokomora/> (pristupljeno 26. veljače 2024.)
19. Vojno zdravstveno središte ZzP OSRH. Dostupno na: <https://www.paluba.info/smf/index.php?topic=8045.15> (pristupljeno 10. listopada 2023.)
20. Franolić M. Dekompresijska bolest. Dostupno na: <https://www.scubalife.hr/disbaricne-ronilacke-bolesti/> (pristupljeno 10. listopada 2023.)
21. Safety and Regulations - Hvar Diving Viking - Where your SCUBA adventure starts. Dostupno na: <https://viking-diving.com/safety-and-regulations/> (pristupljeno 19. listopada 2023.)
22. Kostanjsak P. Zavod koji život znači – Hrvatski vojnik. Dostupno na: <https://hrvatski-vojn timer.hr/zavod-koji-zivot-znaci/> (pristupljeno 19. listopada 2023.)
23. Bove A, Davis J. *Diving Medicine.* Philadelphia: W. B. Saunders Company: 1990.
24. Blogg SL, Tillmans F, Lindholm F. The risk of decompression illness in breath-hold divers: a systematic review. *Diving Hyperb Med.* 2023;53(1):31-41.
25. Halmed.hr, Sažetak opisa svojstava lijekova: Medicinski kisik UTP, medicinski plin, stlačeni. Dostupno na: <https://halmed.hr/upl/lijekovi/SPC/Medicinski-kisik-UTP-stlaceni-SPC.pdf> (pristupljeno 1. listopada 2023.)
26. Cooper JS, Hanson KC. *Decompression Sickness.* Treasure Island: StatPearls; 2022.

27. Scuba life, Broj ronilaca ponovo u porastu. Dostupno na: <https://www.scubalife.hr/broj-ronilaca-ponovo-u-porastu/> (pristupljeno 29. veljače 2024.)
28. Howle LE, Weber PW, Hada EA, Vann RD, Denoble PJ. The probability and severity of decompression sickness. PLoS One. 2017;12(3):e0172665.
29. Kirby JP. The Diagnosis of Decompression Sickness in Sport Divers. Mo Med. 2019;116(3):195-197.
30. Lemaitre F, Fahlman A, Gardette B, Kohshi K. Decompression sickness in breath-hold divers: a review. J Sports Sci. 2009;27(14):1519-1534.
31. Divers Alert Network, Chapter 5: Factors Contributing to Decompression Stress. Dostupno na: <https://dan.org/health-medicine/health-resource/dive-medical-reference-books/decompression-sickness/contributing-factors/> (pristupljeno 26. veljače 2024.)