

# Dekompresijska bolest u ronilaca – iskustvo Zavoda za podvodnu i hiperbaričnu medicinu Kliničkog bolničkog centra Rijeka

## Decompression Sickness in Divers – Department of Underwater and Hyperbaric Medicine Clinical Hospital Center Experience

Sandra Sertić<sup>1,\*,+</sup>, Tanja Batinac<sup>1,2,\*,+</sup>, Branka Kurtović<sup>3</sup>, Marin Marinović<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup> Klinički bolnički centar Rijeka, Zavod za podvodnu i hiperbaričnu medicinu, Rijeka, Hrvatska

<sup>2</sup> Sveučilište u Rijeci, Fakultet zdravstvenih studija, Rijeka, Hrvatska

<sup>3</sup> Klinički bolnički centar Rijeka, Klinika za kirurgiju, Rijeka, Hrvatska

\* Autori su jednako pridonijeli radu.

**Sažetak. Cilj:** Ronilačka ili kesonska bolest (engl. *decompression illness*, DCI) zajednički je naziv za dva tipa oboljenja, arterijsku plinsku emboliju i dekompresijsku bolest (engl. *decompression sickness*, DCS). DCS se ovisno o kliničkoj slici klasificira u dva tipa, tip I i tip II. Cilj ovog rada bio je analizirati učestalost i karakteristike dekompresijske bolesti u ronilaca liječenih u Kliničkom bolničkom centru Rijeka. **Ispitanici i metode:** Ova retrospektivna studija obuhvatila je sve bolesnike liječene rekompresijskom i hiperbaričnom oksigenoterapijom u Zavodu za podvodnu i hiperbaričnu medicinu Kliničkog bolničkog centra Rijeka u periodu od 1. prosinca 2016. do 31. prosinca 2024. zbog dijagnoze DCS-a. Podatci su prikupljeni iz informatičkog bolničkog sustava (IBIS), i to: dob i spol ispitanika, godišnje doba prijama bolesnika, nacionalnost ronilaca, tip ronjenja, broj i dubina zarona, vrijeme latencije i ishod liječenja. Dobiveni rezultati prikazani su primjenom deskriptivne statistike, dok je razlika u zastupljenosti i povezanosti između analiziranih varijabli analizirana testom  $\chi^2$  i Spearmanovom korelacijskom analizom. Svi su testovi provedeni na razini statističke značajnosti  $p < 0,05$ . **Rezultati:** U promatranom osmogodišnjem periodu ukupno je u Zavodu za podvodnu i hiperbaričnu medicinu KBC-a Rijeka liječeno 114 ronilaca s dijagnozom DCS-a od čega su većinu činili ronionci muškog spola 98 (86,0%), u odnosu na 16 (14,0%) ženskog spola. U dvije trećine ronilaca manifestirala se klinička slika DCS-a tipa 2 (76 ili 66,7%), a tip 1 bio je prisutan kod 38 (33,3%) ronilaca. U dobnim skupinama od 31 do 40 i 41 do 50 godina broj oboljelih bio je jednak, a najveći broj oboljelih ronilaca imao je 31 godinu (27,2%). Najveći broj oboljelih ronilaca bio je tijekom ljetnih mjeseci (63 ili 55,30%). U većine bolesnika postignuto je potpuno izlječenje (86 ili 75,4%). **Zaključci:** Ronionci s DCS-om liječeni u Zavodu za podvodnu i hiperbaričnu medicinu većinom su bili rekreativni ronionci muškog spola s težom kliničkom slikom DCS-a tipa 2, u dobi od 31 do 50 godina, koji su ronili u ljetnim mjesecima te su postignuti izvrsni učinci liječenja sukladni rezultatima svjetskih centara izvrsnosti.

**Ključne riječi:** dekompresijska bolest; hiperbarična oksigenoterapija; kesonska bolest; ronjenje

**Abstract. Aim:** Caisson or diving sickness (decompression illness, DCI) is a common name for two types of diseases, arterial gas embolism and decompression sickness (DCS). According to the severity, DCS is classified into two types, type I and type II. The aim of this study was to determine the frequency and characteristics of DCS among divers treated at the Department of Underwater and Hyperbaric Medicine, University Hospital Center Rijeka.

**Subjects and methods:** All patients admitted to and treated at the Department of Underwater and Hyperbaric Medicine, University Hospital Center Rijeka, between December 1, 2016, and December 31, 2024, who were diagnosed with DCS were included in this retrospective study. Data were collected from the integrated hospital information system and included age, sex, season of admission, nationality, type of dive, number of dives, dive depth, latency period, and treatment outcome. The results were presented using descriptive statistics. Differences in the distribution and associations between variables were analysed using the  $\chi^2$  test and Spearman's correlation analysis. All tests were

### \*Dopisni autor:

Izv. prof. dr. sc. Tanja Batinac, dr. med.  
Klinički bolnički centar Rijeka, Zavod za podvodnu i hiperbaričnu medicinu  
Tome Stričića 3, 51000 Rijeka, Hrvatska  
E-mail: tanja.batinac@uniri.hr

<http://hrcak.srce.hr/medicina>

conducted at a statistical significance level of  $p < 0.05$ .

**Results:** During the evaluated eight-year period, a total of 114 patients were treated for DCS at the Department of Underwater and Hyperbaric Medicine, University Hospital Center Rijeka. The majority were male divers (98; 86.0%), with significantly fewer female divers (16; 14.0%). Two-thirds of the treated patients presented with severe, or type II, DCS (76; 66.7%), while type I DCS was diagnosed in 38 divers (33.3%). The highest and equal number of divers was observed in the 31–40 and 41–50 age groups (31; 27.2% each). A significantly higher number of divers were admitted during the summer months (63; 55.3%). Complete recovery was achieved in the majority of patients (87; 76.3%).

**Conclusions:** Divers treated at the Department of Underwater and Hyperbaric Medicine were predominantly recreational male divers aged 31 to 50 years, most commonly presenting with severe type II DCS during the summer months. Excellent treatment outcomes for DCS were achieved, comparable to those reported by leading international centers.

**Keywords:** caisson disease; decompression sickness; hyperbaric oxygen therapy; diving

## UVOD

Ronilačka ili kesonska bolest (engl. *decompression illness*, DCI) zajednički je naziv za dvije disbarične bolesti, dekompresijsku bolest (DCS) i arterijsku plinsku emboliju<sup>1,2</sup>, koje su, iako različitih patofizioloških mehanizama nastanka, karakterizirane nastankom mjehurića kao primarnog vektora ozljede, potencijalnim preklapanjem simptoma i terapijskim protokolom<sup>1,3</sup>. Recentne studije slučajeva pokazale su da je učestalost DCS-a u ronilaca značajno viša nego učestalost arterijske plinske embolije<sup>3–5</sup>. DCS je potencijalno životno ugrožavajuće stanje uzrokovano nastankom mjehurića inertnog plina (obično dušika kod ronjenja na komprimirani zrak) u tkivima i krvotoku, uslijed brze promjene ambijentalnog tlaka i prelaska s povišenog na normalni ili s normalnog na vrlo niski tlak te se može javiti tijekom ronjenja, leta na visokim visinama ili boravka u svemiru<sup>1,3</sup>. Tijekom ronjenja inertan plin, obično dušik iz komprimiranog zraka, apsorbira se u tkivima, a količina ovisi o dubini i dužini zarona<sup>3</sup>. Tijekom izrona, parcijalni tlak otopljenog plina u tkivima može prevršiti ambijentalni tlak (supersaturacija) zbog čega dolazi do stvaranja malih mjehurića plina u tkivima i intravaskularno, veličine obično od 20 do 200  $\mu\text{m}$ <sup>6</sup>. Mjehurići inertnog plina ili venski plinski embolusi (engl. *venous gas emboli*, VGE) javljaju se učestalo nakon ronjenja, obično

15 minuta do nekoliko sati nakon izrona<sup>3,7</sup>. VGE se uglavnom filtrira u kapilarama pluća, ali u slučaju nedostatnog kapaciteta filtriranja, prevelike količine mjehurića ili prisutnosti intrapulmonalnih i/ili intrakardijalnih desno-lijevih šantova, kao atrijski septalni defekt ili perzistirajući foramen ovale (PFO), mjehurići plina mogu dospjeti u arterijsku cirkulaciju<sup>1,3</sup>. Prisustvo PFO-a povećava vjerojatnost za nastanak cerebralnih i spinalnih simptoma, zahvaćanje unutarnjeg uha i pojavu kožnih manifestacija DCS-a<sup>8–10</sup>, zbog porasta arte-

Dekompresijska je bolest potencijalno životno ugrožavajuće stanje uzrokovano nastankom mjehurića inertnog plina u tkivima i krvotoku koje nastaje uslijed brze promjene ambijentalnog tlaka i prelaska s povišenog na normalni ili s normalnog na vrlo niski tlak.

rijaliziranih venskih plinskih embolusa u kapilarama supersaturiranih tkiva ili uslijed velikog broja i formiranja većih mjehurića, kao što je slučaj nakon značajno pozitivnog testa s mjehurićima kao kontrastom za PFO<sup>11</sup>. Uz PFO, desno-lijevi šant venskih plinskih embolusa može biti posljedica intrapulmonarnih šantova ili intrapulmonalnih arteriovenskih anastomoza<sup>12</sup> koje se ne mogu detektirati u mirovanju, ali se otvaraju tijekom fizičke aktivnosti<sup>13</sup> i mogu biti uzrokom DCS-a u ronilaca bez PFO-a<sup>1</sup>. Mjehurići plina u tkivima i intravaskularnom prostoru pokreću kompleksan lanac mehaničkih, ishemičnih, hematoloških, protrombotskih i upalnih zbivanja s posljedičnim nastankom niza simptoma uslijed potencijalnog zahvaćanja brojnih organskih sustava, od blagih do životno ugrožavajućih<sup>3,14,15</sup>. Dodatno, uzrokuju oštećenje endotelnih stanica krvnih žila<sup>16</sup> i povećanu permeabilnost endotela s curenjem plazme u ekstravaskularni prostor i posljedičnim nastankom edema, hipovolemije, poremećajem regulacije vaskularnog tlaka i konačno ishemije zahvaćenih organa<sup>17–19</sup>. Pokazano je da mjehurići plina aktiviraju trombocite<sup>19</sup>, komplement<sup>20</sup> i sustav koagulacije<sup>21</sup>. Leukociti adheriraju na mjehuriće<sup>19</sup> i aktivira ih oštećenje endotela uzrokovano mjehurićima plina<sup>22</sup>. Aktivacija upalnih mehanizama povezuje se s nastankom konstitucionalnih simptoma DCS-a kao što su umor i slabost. Dodat-

no, aktivacija imunoloških mehanizama i sustava koagulacije povezuje se s pojavom hemokoncepcije i šoka te diseminirane intravaskularne koagulacije i koagulopatije u teškim oblicima DCS-a<sup>23</sup>. S obzirom na kompleksnost patofiziologije, razumljivo je da se DCS očituje velikim spektrom kliničkih manifestacija i može utjecati na brojne organe i organske sustave uključujući mozak, leđnu moždinu, unutarnje uho, mišićno-koštano tkivo, kardiopulmonalni sustav i kožu<sup>3</sup>.

Tradicionalno, DCS se ovisno o kliničkim simptomima svrstava u dva klinička tipa – tip I koji podrazumijeva kožni i mišićno-koštano-zglobni oblik i tip II kao teža klinička forma DCS-a, koji uključuje neurološki, vestibularni i srčano-plućni oblik<sup>3</sup>. Simptomi uključuju kožne manifestacije (primarno svrbež i crvenilo), tegobe kostiju i zglobova (bol u udovima), srčano-plućne simptome (pad krvnoga tlaka, otežano disanje, pojava cijanoze ili čak stanja šoka) i neurološke simptome (malaksalost, vrtoglavica, mučnina s povraćanjem, oštećenje vida i sluha, tinitus, nistagmus, poremećaj koordinacije i eventualno poremećaj svijesti)<sup>1-3</sup>. Ponekad bolesnici s DCS-om imaju bolove u abdomenu, dispneju ili grudnu bol zbog zahvaćanja abdomena, medijastinuma ili pluća<sup>1-3</sup>. Arterijska plinska embolija po život je opasna komplikacija barotraume pluća koja nastaje zbog prodora mjehurića zraka u arterijsku cirkulaciju, s posljedičnim nastankom multifokalnih ishemijskih promjena<sup>3</sup>. Može nastati kao posljedica ronjenja, ijtrogeno direktnim unosom zraka u vaskularne strukture ili uslijed slučajne barotraume pluća<sup>3</sup>. Simptomi arterijske plinske embolije obično su dramatični i nastaju brzo, najčešće tijekom brzog izrona ili unutar pet minuta nakon izrona, iako se mogu manifestirati i nakon urednog izrona<sup>24</sup>. Arterijska plinska embolija obično se manifestira neurološkim simptomima zbog distribucije mjehurića u arterijama cerebrovaskularnog područja, uz gubitak svijesti, zbunjenost, vrtoglavicu, presinkopu, hemiplegiju, glavobolju, smetnje vida, disfaziju, konvulzije<sup>24</sup>. U oko 50 % slučajeva prisutni su simptomi barotraume pluća, a ruptura alveola uz visceralnu pleuru pri izronu može rezultirati razvojem pneumotoraksa. Temelj liječenja DCS-a i arterijske plinske embolije jest rekompresija i hiperbarična oksigenoterapija (HBOT). HBOT je terapijska metoda koji se temelji na izlaganju

pacijenta koncentriranom, čistom kisiku (O<sub>2</sub>) uz povišeni atmosferski tlak. Prema Podmorskom i hiperbaričnom medicinskom društvu (engl. *Undersea & Hyperbaric Medical Society*, UHMS), današnje smjernice liječenja preporučuju da pacijenti udišu 100-postotni kisik dok su zatvoreni u stlačenoj komori pod tlakom od najmanje dvije atmosfere<sup>25</sup>. Liječenje DCS-a i arterijske plinske embolije provodi se prema rekompresijskim protokolima američke ratne mornarice (*U. S. Navy Treatment*), obično protokolima USN6 i USN5 na 2,8 ATA<sup>15, 26-29</sup> uz visok stupanj potpune rezolucije simptoma<sup>30-34</sup>. Svrha rekompresijskog tretmana jest smanjenje volumena i eliminacija mjehurića inertnog plina zbog povišenog tlaka okoline i udisanja kisika u hiperbaričnim uvjetima<sup>1, 3, 5</sup>. U hiperbaričnim uvjetima povećava se količina kisika otopljenog u plazmi poboljšavajući oksigenaciju hipoksičnih tkiva<sup>35, 36</sup>. Dodatno, HBOT ima snažno imunomodulatorno i protuupalno djelovanje<sup>35, 36</sup>. DCS može utjecati na brojne organe i organske sustave, sa značajno varijabilnim intenzitetom simptoma i kliničkim manifestacijama bolesti. U rijetkim slučajevima, arterijska plinska embolija i DCS mogu uzrokovati smrt i trajne posljedice koje zahtijevaju dugotrajnu rehabilitaciju bolesnika<sup>3, 3</sup>. Budući da je temelj liječenja DCS-a i arterijske plinske embolije HBOT, koji se od prosinca 2016. provodi u Zavodu za podvodnu i hiperbaričnu medicinu Kliničkog bolničkog centra Rijeka, nameće se potreba utvrditi učestalost, trendove i karakteristike DCS-a te analizirati ishode liječenja u bolesnika liječenih u Zavodu za podvodnu i hiperbaričnu medicinu Kliničkog bolničkog centra Rijeka.

#### ISPITANICI I METODE

Ispitanici su svi ronilci s dijagnozom dekompresijske bolesti liječeni rekompresijskom i hiperbaričnom oksigenoterapijom u Zavodu za podvodnu i hiperbaričnu medicinu Kliničkog bolničkog centra Rijeka u razdoblju od 1. prosinca 2016. do 31. prosinca 2024.

U ovom retrospektivnom istraživanju analizirani su podatci prikupljeni iz elektronske medicinske dokumentacije integriranog bolničkog informacijskog sustava (IBIS). Podatci koji su analizirani jesu dob i spol ispitanika te godišnje doba prijama

bolesnika, i to prema sljedećoj podjeli: proljeće (ožujak, travanj, svibanj), ljeto (lipanj, srpanj, kolovoz), jesen (rujan, listopad, studeni) i zima (prosinac, siječanj, veljača) te tip DCS-a. Dodatno su analizirani podatci o nacionalnosti, tipu ronjenja (rekreativni ili profesionalni), broju i dubini zarona, vremenu latencije od izrona do pojave simptoma DCS-a, kao i ishodu liječenja.

Postupci istraživanja provedeni su u skladu s etičkim standardima povjerenstva KBC-a Rijeka i najnovijom revizijom Helsinške deklaracije. Budući da je ovo istraživanje retrospektivno i anonimno, a informacije koje mogu otkriti identitet ispitanika nigdje nisu navedene, nije bio potreban informirani pristanak ispitanika.

Za ovo istraživanje dobivena je suglasnost Etičkog povjerenstva KBC-a Rijeka (Klasa: 003-05/25-01/66; Uredžbeni broj: 2170- 29-02/15-25-2).

### Statistika

Podatci prikupljeni u razdoblju od 1. prosinca 2016. do 31. prosinca 2024. uneseni su i statistički analizirani primjenom računalnog programa *Microsoft Excel* (verzija 11, *Microsoft Corporation*, SAD) i programa *Statistica 14.0.0.15* (*TIBCO Software Inc.*). Dobiveni rezultati prikazani su primjenom deskriptivne statistike, dok je razlika u zastupljenosti i povezanosti između analiziranih varijabli analizirana testom  $\chi^2$  i Spearmanovom korelacijskom analizom. Svi su testovi provedeni na razini statističke značajnosti  $p < 0,05$ .

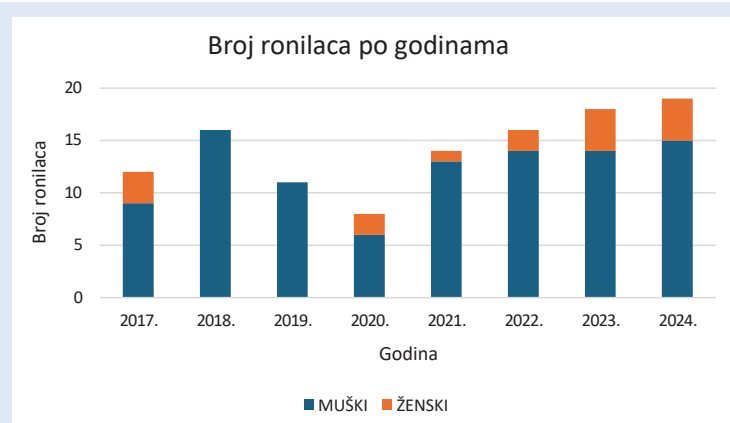
## REZULTATI

U razdoblju od 1. prosinca 2016. do 31. prosinca 2024. u Zavod za podvodnu i hiperbaričnu medicinu Kliničkog bolničkog centra ukupno je zbog DCS-a hiperbaričnom oskigenoterapijom i rekompresijskim tretmanima liječeno 114 ronilaca.

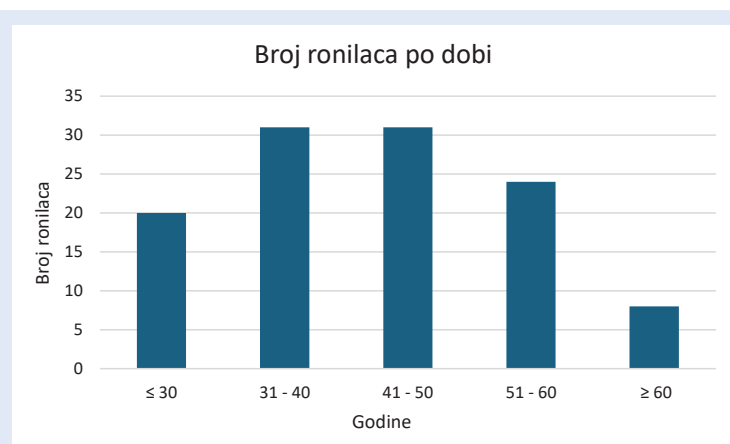
Značajnu većinu ispitanika činili su ronionci muškog spola 98 (86,0 %), dok ih je ženskog spola bilo 16 (14,0 %). Broj ronilaca po godinama u ispitivnom razdoblju od 1. prosinca 2016. do 31. prosinca 2024. prikazan je na Slici 1.

Starosna dob ronilaca kretala se od 18 do 74 godine, dok je srednja dob bila 42,26 (SD  $\pm$  12,76) godina. Radi statističke obrade podataka ispitanici su podijeljeni u dobne skupine, i to:  $\leq 30$  godina, 31 – 40 godina, 41 – 50 godina,  $\geq 61$  godina.

U dobnim skupinama od 31 do 40 godina i 41 do 50 godina bio je jednak broj oboljelih ronilaca (31 ili 27,2 %), u dobi od 51 do 60 godina bilo je 24 ili 21,1 % ronilaca, dok je mlađih od 30 godina bilo 20 ili 17,5 %. Najmanji broj ronilaca bio je stariji od 61 godine, njih samo 8 (7 %). Značajno najveća učestalost DCS-a utvrđena je u ispitanika u dobi od 31 do 50 godina ( $\chi^2 = 15,912$ ,  $p < 0,001$ ). Raspodjela ispitanika po dobi prikazana je na Slici 2. Prema nacionalnosti, najveći broj ronilaca bio je iz Hrvatske (37 ili 32,5 %), zatim slijede ronionci iz Njemačke (36 ili 31,6 %) koji ukupno čine gotovo dvije trećine ispitanika. Značajno manji broj ronilaca bio je iz Italije (12 ili 10,5 %), Austrije (10 ili 8,8 %), Slovenije (7 ili 6,1 %) te po tri (2,6 %) ronionci iz Mađarske i Belgije. S obzirom na mali



**Slika 1.** Prikaz broja ronilaca s DCS-om po godinama – liječenih u razdoblju od 1. prosinca 2016. do 31. prosinca 2024. u Zavodu za podvodnu i hiperbaričnu medicinu KBC-a Rijeka



**Slika 2.** Raspodjela ispitanika s DCS-om po dobi – liječenih u razdoblju od 1. prosinca 2016. do 31. prosinca 2024. u Zavodu za podvodnu i hiperbaričnu medicinu KBC-a Rijeka

broj ispitanika, ronionci iz ostalih država (Češka, Poljska, Slovačka i Švicarska) prikazani su u kategoriji ostali (N = 6, 5,45). U Tablici 1 prikazana je raspodjela ispitanika po nacionalnosti.

Većina ronilaca s DCS-om liječenih u Zavodu za podvodnu i hiperbaričnu medicinu KBC-a Rijeka bili su rekreativni ronionci (86 ili 75,4 %), u odnosu na manji udio profesionalnih ronilaca (28 ili 24,6 %). Od 114 ronilaca, većina je na dan incidenta imala dva zarona (98 ili 86 %), dok ih je samo 16 (14 %) provelo jedan zaron. Dubina zarona varirala je od 7 do 66 metara, s prosječnom dubinom zarona  $32,117 \pm 11,5$  metara. Većina ronilaca 111 (97,36 %) provela je izron sukladno preporučenim profilima ronjenja u skladu s algoritmima dekompresije, bez propuštanja dekompresijskih zastoja, dok su samo tri (2,63 %) ronionci prijavila nagli izron.

Vrijeme latencije od izrona do pojave simptoma DCS-a bilo je tijekom izrona kod pet ili 4,38 % ronilaca, unutar 10 min od izrona u 59 ili 51,75 % slučajeva, unutar 30 minuta u 70 ili 61,4 % sluča-

jeva, unutar jednog sata u 86 ili 75,43 % slučajeva, unutar tri sata u 102 ili 89,47 % slučajeva, unutar šest sati u 107 ili 93,85 % slučajeva, unutar 24 sata u 113 ili 99,12 % slučajeva te unutar više od 24 sata u 114 ili 100 % slučajeva. Raspodjela ispitanika prema duljini latentnog perioda po tipu DCS-a prikazana je u Tablici 2. Od ukupno 114 ronilaca, većina ronilaca prezentirala se kliničkom slikom dekompresijske bolesti tipa 2 (76 ili 66,7 %), dok je tip 1 bio zastupljen kod 38 (33,3 %) ronilaca, uz statistički značajnu razliku između učestalosti dekompresijske bolesti tipa 1 i tipa 2 ( $\chi^2 = 12,667$ ,  $p < 0,001$ ). Prikaz ispitanika po tipu DCS-a predočen je u Tablici 3. Sukladno činjenici da je najveći broj zarona bio rekreativnog karaktera, najveći broj ronilaca liječen je zbog DCS-a tijekom ljetnih mjeseci (63 ili 55,30 %), dok je značajno manji broj bolesnika liječen u jesen (27 ili 23,7 %) i u proljeće (19 ili 16,7%), a najmanji tijekom zime (5 ili 4,40 %). Dodatnom statističkom obradom utvrđena je statistički značajna pozitivna korelacija između tipa dekompresijske bolesti i tipa ronilaca ( $r = 0,288$ ,  $p = 0,002$ ), između tipa dekompresijske bolesti i dubine zarona ( $r = 0,213$ ,  $p = 0,023$ ) te između tipa dekompresijske bolesti i broja zarona ( $r = 0,196$ ,  $p = 0,036$ ), što govori u prilog češćoj pojavi dekompresijske bolesti tipa 2 kod ronilaca s dva zarona. Pozitivna korelacija između tipa dekompresijske bolesti i ishoda liječenja nije dosegla statističku značajnost ( $r = 0,058$ ,  $p = 0,542$ ), što navodi na zaključak podjednakih ishoda liječenja ronilaca s tipom 1 i tipom 2 dekompresijske bolesti. Od ukupno 114 ronilaca liječenih zbog DCS-a u Zavodu za podvodnu i hiperbaričnu medicinu KBC-Rijeka u razdoblju od 1. prosinca 2016. do 31. prosinca 2024., u većine bolesnika postignuto je potpuno

**Tablica 1.** Raspodjela ispitanika s DCS-om po nacionalnosti – liječenih u razdoblju od 1. prosinca 2016. do 31. prosinca 2024. u Zavodu za podvodnu i hiperbaričnu medicinu KBC-a Rijeka

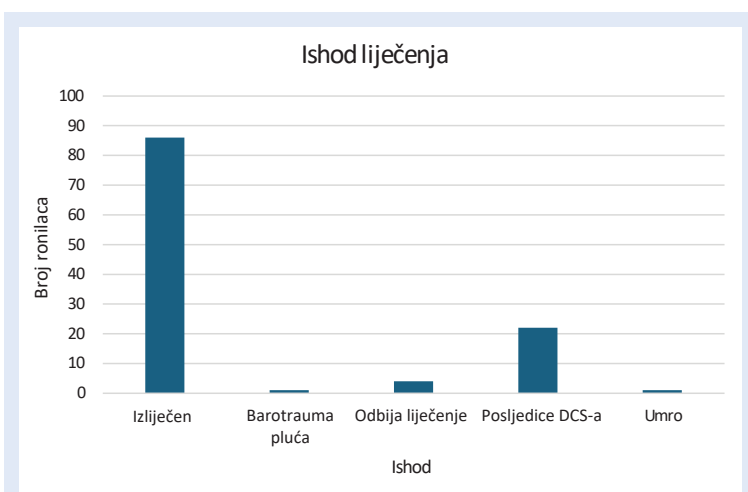
Nacionalnost ronilaca	N	%
Hrvatska	37	32,5
Njemačka	36	31,6
Italija	12	10,5
Austrija	10	8,8
Slovenija	7	6,1
Mađarska	3	2,6
Belgija	3	2,6
Ostali	6	5,4

**Tablica 2.** Raspodjela ispitanika s DCS-om prema duljini latentnog perioda po tipu DCS-a u bolesnika – liječenih u razdoblju od 1. prosinca 2016. do 31. prosinca 2024. u Zavodu za podvodnu i hiperbaričnu medicinu KBC-a Rijeka

Period latencije do pojave simptoma	Tijekom izrona N (%)	Unutar 10 min N (%)	Unutar 30 min N (%)	Unutar 1 sata N (%)	Unutar 3 sata N (%)	Unutar 6 sati N (%)	Unutar 24 sata N (%)	> 24 sata N (%)
DCS tipa 1	1 (0,87)	16 (14,03)	19 (16,66)	29 (25,43)	35 (30,70)	35 (30,70)	38 (33,33)	38 (33,33)
DCS tipa 2	4 (3,5)	43 (37,71)	51 (44,73)	57 (50,0)	67 (58,77)	72 (63,15)	75 (61,78)	76 (66,66)
Ukupno	5 (4,38)	59 (51,75)	70 (61,40)	86 (75,43)	102 (89,47)	107 (93,85)	113 (99,12)	114 (100)

DCS – dekompresijska bolest

izlječenje (86 ili 75,4 %), a u manjeg broja bolesnika (22 ili 19,3 %) registrirani su rezidualni simptomi i posljedice DCS-a kao što su naglušnost, bolovi u zglobovima, smetnje mokrenja, parestezije, pareza i slabost mišića, znaci oštećenja središnjeg živčanog sustava, vrtoglavica, glavobolja, poremećaj ravnoteže i nestabilnost u hodu. Manji broj bolesnika nakon inicijalnog rekompresijskog tretmana odbio je dalje liječenje hiperbaričnom oksigenoterapijom (4 ili 3,5 %), u jednog bolesnika dijagnosticirana je barotrauma pluća (1 ili 0,9 %), a je jedan bolesnik preminuo od posljedica teškog oblika DCS-a (1 ili 0,9 %) i srčanog udara ubrzo nakon što je dovezen helikopterom iz Zadra ne dočekavši rekompresijski tretman. Raspodjela ispitanika s DCS-om prema ishodu liječenja, liječenih u razdoblju od 1. prosinca 2016. do 31. prosinca 2024. u Zavodu za podvodnu i hiperbaričnu medicinu KBC-a Rijeka, prikazana je na Slici 3. Utvrđena je statistički značajna pozitivna korelacija između dobi i tipa dekompresijske bolesti ( $r = 0,200$ ,  $p = 0,033$ ), kao i između dobi i ishoda liječenja ( $r = 0,270$ ,  $p = 0,004$ ), što govori u prilog blagog porasta pojavnosti teških oblika DCS-a s porastom dobi, kao i nepovoljnijih ishoda liječenja. Pozitivna korelacija nije dosegla statističku značajnost između dobi, vrste ronilaca, broja



**Slika 3.** Raspodjela ispitanika s DCS-om prema ishodu liječenja – liječenih u razdoblju od 1. prosinca 2016. do 31. prosinca 2024. u Zavodu za podvodnu i hiperbaričnu medicinu KBC-a Rijeka

zarona, kao ni dubine zarona. Nije utvrđena povezanost spola s tipom dekompresijske bolesti, brojem zarona, vrstom ronilaca, dubinom zarona i ishodom liječenja.

## RASPRAVA

Posljednjih nekoliko desetljeća bilježi se porast ronilačkih aktivnosti, kako u svijetu tako i u Hrvatskoj, s posljedicom kontinuiranog povećanja broja disbaričnih ronilačkih bolesti<sup>4, 37–39</sup>. Incidencija DCS-a u rekreativnom ronjenju procjenjuje se na 0,4 do 1 slučaj na 10 000 ronilaca<sup>4, 40</sup>, uz veći rizik pri dužim i dubljim zaronima te u slučajevima neadekvatne dekompresije pri izronu<sup>3</sup>. Simptomi DCS-a mogu se manifestirati već tijekom dekompresije nakon dugih i dubokih zarona, ali najčešće nakon povratka na površinu, prema različitim studijama, unutar 10 minuta u 21,3 % slučajeva, unutar 30 minuta u 48,3 % slučajeva, unutar jednog sata u 50 do 79,8 % slučajeva, unutar tri sata u 96,6 % slučajeva, unutar šest sati u 90 do 98,9 % slučajeva te unutar 24 sata u 98 do 99,8 % slučajeva nakon završetka ronjenja<sup>3, 41, 42</sup>. Rezultati našeg istraživanja usporedivi su s rezultatima ranijih s obzirom na to da je vrijeme latencije do pojave simptoma bilo unutar 10 min od izrona u 51,75 % slučajeva, unutar 30 minuta u 61,4 % slučajeva, unutar jednog sata u 75,43 % slučajeva, unutar tri sata u 89,47 % slučajeva, unutar šest sati u 93,85 % slučajeva, unutar 24 sata u 99,12 % slučajeva. Kraća latencija povezuje se s težim

**Tablica 3.** Raspodjela ispitanika s DCS-om po tipu DCS-a – liječenih u razdoblju od 1. prosinca 2016. do 31. prosinca 2024. godine u Zavodu za podvodnu i hiperbaričnu medicinu KBC-a Rijeka

Tip DCS-a	N	%
	<b>114</b>	<b>100</b>
Tip 1	38	33,3
Tip 2	76	66,7

DCS – dekompresijska bolest

**Tablica 4.** Prikaz ispitanika prema godišnjem dobu – liječenih u razdoblju od 1. prosinca 2016. do 31. prosinca 2024. u Zavodu za podvodnu i hiperbaričnu medicinu KBC-a Rijeka

Godišnje doba	N	%
	<b>114</b>	<b>100</b>
Proljeće	19	16,7
Ljeto	63	55,3
Jesen	27	23,7
Zima	5	4,4

simptomima DCS-a<sup>42</sup>. Neurološki simptomi u oko 85 % slučajeva manifestiraju se unutar jednog sata nakon izrona, dok se kožne promjene i zglobni simptomi mogu pojaviti kasnije<sup>41</sup>.

Rekompresija terapija i hiperbarična oksigenoterapija primjenjuje se kao konačno liječenje kesonske bolesti. Rekompresijska terapija smanjuje volumen mjehurića zraka smanjujući simptome uzrokovane mehaničkom disrupcijom tkiva i smanjenjem ishemije redistribucijom intravaskularnih mjehurića<sup>1,3,5</sup>. Rekompresija uz udisanje

Dekompresijska bolest može utjecati na brojne organe i organske sustave. Kliničke manifestacije bolesti, kao i intenzitet simptoma značajno variraju – od blagih do životno ugrožavajućih. Liječenje dekompresijske bolesti i arterijske plinske embolije provodi se prema rekompresijskim protokolima američke ratne mornarice, obično protokolima USN6 i USN5.

100-postotnog kisika povećava difuzijski gradijent inertnog plina iz mjehurića u krv. Hiperbarični kisik djeluje protuupalno smanjujući adherenciju leukocita<sup>43</sup> i mikročestica<sup>44</sup>. Liječenje DCS-a i arterijske plinske embolije započinje obično prema protokolu američke ratne mornarice (*U. S. Navy Treatment*) – USN6 na 2,8 ATA<sup>15,26–29</sup>. Terapija se može produžiti ili ponavljati u slučaju da je slabe učinkovitosti liječenja u teškim kliničkim slučajevima.

U Zavodu za podvodnu i hiperbaričnu medicinu Kliničkog bolničkog centra Rijeka u periodu od 1. prosinca 2016. do 31. prosinca 2024. ukupno je zbog DCS-a liječeno 114 ronilaca. Dijagnoza DCS-a tipa 2 utvrđena je u dvije trećine ronilaca (66,7 %) u odnosu na značajno nižu pojavu tipa 1 u 33,3 % ronilaca ( $p < 0,001$ ). Ranije provedena studija u Hrvatskoj utvrdila je podjednaku učestalost DCS-a tipa 2, uz porast tipa 2 u odnosu na tip 1, što je pripisano povećanju broja neiskusnih rekreativnih ronilaca s većom učestalošću pogrešaka pri ronjenju, popularnosti ronilačkih kompjutera, većim dubinama zarona i češćoj primjeni mješavina plinova pri ronjenju<sup>38</sup>. U rekreativnih ronilaca učestalost DCS-a tipa 2 značajno je viša i procjenjuje se na oko 80 %, za razliku od profesionalnih i vojnih ronilaca u kojih se u oko 85 % javlja tip 1

DCS-a<sup>38</sup>. Značajno nižu učestalost težeg oblika DCS-a u iskusnih ronilaca, s 400 i više zarona, utvrdili su Klingdmann i suradnici u istraživanju provedenom među 429 rekreativnih ronilaca s ciljem dobivanja podataka o učestalosti pojave dekompresijske bolesti tijekom života ovisno o iskustvu ronioaca. Znanstvenici su prijavili pojavu težeg oblika DCS-a u samo 27 % slučajeva, s incidencijom u iskusnih ronilaca ovisno o broju zarona s omjerom 1 : 22 280<sup>45</sup>.

Velika studija analizirala je 5278 bolesnika s DCS-om u ribarskoj regiji sjeverne Kine u periodu od 10 godina te je utvrđen najviši udio blage kliničke slike u 3831 slučaju, potom umjerene kliničke slike u 1124 slučaju te teške kliničke slike u 323 slučaju, od čega 33 smrtna slučaja<sup>45</sup>. U studiji su slučajevi DCS-a klasificirani u tri kategorije – blagi, umjereni i teški oblik. Prisustvo kožnih simptoma, blaga do umjerena bol u mišićima i kostima, konstitucijski simptomi i jasno odsustvo pogrešaka kod izrona klasificirano je kao blagi DCI. Izrazita bol u mišićima i kostima, blagi kardiorespiratorni simptomi, žarišni ispad osjeta u ekstremitetima klasificiran je kao umjereni DCI, dok je prisustvo umjerenih i teških kardiorespiratornih i simptoma perifernog živčanog sustava uz simptome audio-vesibularnog i središnjeg živčanog sustava klasificirano kao teški DCI. U slučaju blagih i umjerenih simptoma uz propuštenu dekompresiju pri izronu dijagnosticiran je umjereni ili teški DCI<sup>42</sup>. U ovom istraživanju učestalost DCS-a bila je značajno viša ( $p < 0,001$ ) u ronilaca muškog spola (86,0 %), nego u onih ženskog spola (14,0 %). Nije utvrđena povezanost spola s tipom dekompresijske bolesti, brojem zarona, vrstom ronilaca, dubinom zarona i ishodom liječenja. Iako se ženski spol smatra jednim od čimbenika rizika za nastanak dekompresijske bolesti, rezultati ovog rada, kao i neke druge studije govore u prilog činjenici da nema statistički značajne razlike u incidenciji dekompresijske bolesti ovisno o spolu<sup>46</sup>. Retrospektivna studija provedena u Švedskoj utvrdila je značajno nižu učestalost simptoma DCS-a. U studiju su bila uključena ukupno 1742 ispitanika, i to 1556 muškaraca i 226 žena, a simptome DCS-a prijavilo je 190 ronilaca. Nije utvrđena razlika u pojavi simptoma DCS-a ovisno o spolu, dobi, starosti, astmi, pretilosti ili zlorabi alkohola<sup>46</sup>. U ovom je istraživanju DCS najčešće utvrđen kod

ronilaca u dobnim skupinama od 31 do 40 godina i 41 do 50 godina starosti (27,2 %), potom u skupini ispitanika u dobi od 51 do 60 godina (21,2 %). Dodatno, utvrđena je statistički značajna pozitivna korelacija između dobi i tipa dekompresijske bolesti ( $p = 0,033$ ) i između dobi i ishoda liječenja ( $p = 0,004$ ), što govori u prilog činjenici da s porastom dobi ronilaca blago raste vjerojatnost nastanka težih kliničkih manifestacija DCS-a s nepovoljnijim ishodima liječenja. Smerz je analizirao podatke o pridruženim rizicima rekreativnog ronjenja u 889 slučajeva ronilaca liječenih zbog DCS-a između 1983. i 2003. godine prema dobnim skupinama i usporedio ih s podacima ozlijeđenih ronilaca istih dobnih skupina prema izvješću Mreže za upozorenje ronilaca (DAN). Studija je pokazala da starenje povećava rizik od ozljeda općenito, posebno teških, i smanjuje potencijal oporavka<sup>47</sup>. Utvrđena statistički značajna pozitivna korelacija između tipa dekompresijske bolesti i tipa ronilaca ( $p = 0,002$ ) ukazuje na češću pojavu težih oblika DCS-a u rekreativnih, neiskusnih ronilaca. Također, u istraživanju je utvrđena značajna pozitivna korelacija između tipa dekompresijske bolesti i dubine zarona ( $p = 0,023$ ), kao i između tipa dekompresijske bolesti i broja zarona ( $p = 0,036$ ), sugerirajući veću mogućnost nastanka težih oblika DCS-a nakon dubljih i većeg broja zarona, sukladno činjenici da količina inertnog plina koji se apsorbira u tkivima ovisi o dubini i dužini zarona<sup>3</sup>. Pojava DCS-a ovisi o brojnim čimbenicima, ali svakako je najbitniji čimbenik nepridržavanje preporučenih ronilačkih tablica pri ronjenju, prilagođenih dubini zarona, trajanju zarona i dužina izrona kako bi se spriječila supersaturacija i ograničilo stvaranje mjehurića<sup>4,3</sup>. U većine bolesnika postignuto je potpuno izlječenje uz potpunu regresiju simptoma (75,4 %), dok su u manjeg broja bolesnika zaostale sekvele DCS-a i pretežno blaži rezidualni simptomi DCS-a (19,3 %). Nekoliko bolesnika odbio je nastavak liječenja hiperbaričnom oksigenoterapijom nakon provedene rekompresijske terapije (3,5 %), u jednog ronioca utvrđena je barotrauma pluća, dok je u jednog nastupio smrtni ishod kao posljedica teškog oblika DCS-a (0,9 %). Ranije studije pokazale su da dodatna HBO terapija, nakon inicijalnog rekompresijskog liječenja, ima središnju ulogu u dodatnom poboljšanju simptoma kesonske bole-

sti u bolesnika sa sekvelama<sup>48</sup>, s uspješnošću takvog liječenja do 98 %<sup>43</sup>. Nažalost, pokazano je da se nastavak liječenja nakon rekompresijskog tretmana često prekida zbog financijskih razloga, ignoriranja vlastitog zdravlja ili nastavka liječenja u većim centrima, što značajno smanjuje uspješnost liječenja DCS-a uz potpuni oporavak u 80 %<sup>49</sup>, 86<sup>34</sup> do 89,8 %<sup>42</sup>, što je sukladno rezultatima ovog istraživanja. Sukladno prethodnim istraživanjima<sup>5</sup>, ronionci s DCS-om najčešće su proveli izron sukladno preporučenim profilima ronjenja u skladu s algoritmima dekompresije, bez puštanja dekompresijskih zastoja, osim u rijetkim slučajevima naglog izrona, što potvrđuju rezultati ovog istraživanja. Pojava DCS-a u ovih ronilaca pripisuje se postojanju desno-lijevog šanta, najčešće velikog PFO, ili u 5–10 % slučajeva intrapulmonalnog šanta<sup>50–52</sup> koji omogućuje prodor mjehurića plina u sustavnu cirkulaciju s posljedicom razvoja paradoksalne embolije zrakom. U ronilaca amatera većina slučajeva DCS-a s neurološkim i kožnim simptomima, kao i kardiorespiratorni oblik smatraju se posredovani šantom<sup>50,51,53</sup>. Nagli izron ili provokativno ronjenje bez preporučenih dekompresijskih pauza<sup>50,51,53</sup> i arterijska plinska embolija smatraju se rijetkim uzrokom neuroloških simptoma DCS-a<sup>50,53</sup>. Muskuloskeletni DCS često se javlja nakon provokativnih profila ronjenja ili vrlo dubokih zarona, čak i bez jasnih odstupanja od dekompresijskih algoritama<sup>53</sup>. Iako je incidencija DCS-a relativno niska, treba imati na umu da ronionci često iz različitih razloga imaju tendenciju da zanemaruju i umanjuju prisutnost simptoma DCS-a. Potrebno je naglasiti da važnost DCS-a proizlazi iz potencijalnog nastanka trajnih posljedica i invaliditeta, a u rijetkim slučajevima i smrtnog ishoda, stoga i minimalni simptomi zahtijevaju rekompresijsko liječenje<sup>4,3</sup>. Ronionci koji su preboljeli kesonsku bolest, moraju proći pažljivi pregled kako bi se isključili značajni srčani šantovi ili plućna bolest kao predispozicija za recidiv bolesti<sup>54</sup>, a rijetko je potrebno provesti zatvaranje PFO-a prije povratka ronjenju<sup>55,56</sup>.

## ZAKLJUČCI

U Hrvatskoj kao turističkoj zemlji koju posjećuje veliki broj ronilaca, posebice onih rekreativnog karaktera, često s ograničenim ronilačkim isku-

stvom, s tendencijom provođenja dubljih i dužih zarona uz primjenu različitih mješavina plinova, DCS nije rijetka pojava. Registrirali smo porast slučajeva DCS-a nakon 2020. godine, u kojoj se evidentno smanjenje broja slučajeva može pripisati manjem broju dolazaka ronilaca zbog pandemije COVID-19. U rekreativnih ronilaca DCS tipa 2 značajno je češći nego tip 1, za razliku od komercijalnih i profesionalnih ronilaca. S obzirom na značajan porast ronilačkih aktivnosti posljednjih desetljeća u svijetu i u Hrvatskoj, ne smijemo zaboraviti činjenicu da u slučaju rekreativnog ronjenja trenutna rekompresija često nije moguća zbog udaljenosti mjesta ronjenja ili tendencije ronilaca da zanemaruju pojavu simptoma DCS-a<sup>1,3</sup>, što povećava vrijeme od ozljede do rekompresije, a od posebne je važnosti u bolesnika s teškim slučajevima DCS-a.

**Napomena:** Ovaj je rad dorađeni dio diplomskog rada.

**Izjava o sukobu interesa:** Autori izjavljuju kako ne postoji sukob interesa.

#### LITERATURA

- Mitchell SJ. Decompression illness: a comprehensive overview. *Diving Hyperb Med* 2024;31:54(1Suppl):1-53.
- Mitchell SJ. DCS or DCI? The difference and why it matters. *Diving Hyperb Med* 2019;49:152-3.
- Mitchell SJ, Bennett MH, Moon RE. Decompression sickness and arterial gas embolism. *N Eng J Med* 2022;386:1254-64.
- Denoble PJ, editor. DAN Annual Diving Report 2019 Edition: A report on 2017 diving fatalities, injuries, and incidents [Internet]. Durham (NC): Divers Alert Network; 2019. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK562527/>
- Edge CJ, Wilmshurst PT. The pathophysiology of diving diseases. *BJA Educ* 2021;21(9):343-348.
- Hills BA, Butler BD. Size distribution of intravascular air emboli produced by decompression. *Undersea Biomed Res* 1981; 8:163-70.
- Dunford RG, Vann RD, Gerth WA, Pieper CF, Huggins K, Wacholtz C et al. The incidence of venous gas emboli in recreational diving. *Undersea Hyperb Med* 2002;29:247-59.
- Cantais E, Louge P, Suppini A, Foster PP, Palmier B. Right-to-left shunt and risk of decompression illness with cochleovestibular and cerebral symptoms in divers: case control study in 101 consecutive dive accidents. *Crit Care Med* 2003;31:84.
- Hartig F, Reider N, Sojer M, Hammer A, Ploner T, Muth CM, et al. Livedo racemosa — the pathophysiology of decompression-associated cutis marmorata and right/left shunt. *Front Physiol* 2020;11:994.
- Germonpre P, Lafere P, Portier W, Germonpre F-L, Marro ni A, Balestra C. Increased risk of decompression sickness when diving with a right-to-left shunt: results of a prospective single-blinded observational study (the “Carotid Doppler” study). *Front Physiol* 2021;12:763408.
- Banham ND, Saw J, Hankey GJ, Ghia D. Cerebral arterial gas embolism proven by computed tomography following transthoracic echocardiography using bubble contrast. *Diving Hyperb Med* 2020;50:300-2.
- Madden D, Ljubkovic M, Dujic Z. Intrapulmonary shunt and SCUBA diving: another risk factor? *Echocardiography* 2015;32 Suppl 3:S205-10.
- Eldridge MW, Dempsey JA, Haverkamp HC, Lovering AT, Hokanson JS. Exercise-induced intrapulmonary arteriovenous shunting in healthy humans. *J Appl Physiol* (1985) 2004;97:797-805.
- Lambrechts K, Pontier J-M, Mazur A, et al. Mechanism of action of antiplatelet drugs on decompression sickness in rats: a protective effect of anti-GPIIb/IIIa therapy. *J Appl Physiol* (1985) 2015;118:1234-9.
- Moon RE, Mitchell S. Hyperbaric treatment for decompression sickness: current recommendations. *Undersea Hyperb Med* 2019;46(5):685-693.
- Sobolewski P, Kandel J, Klinger AL, Eckmann DM. Air bubble contact with endothelial cells in vitro induces calcium influx and IP3-dependent release of calcium stores. *Am J Physiol Cell Physiol* 2011;301(3):C679-C686.
- Nossum V, Koteng S, Brubakk AO. Endothelial damage by bubbles in the pulmonary artery of the pig. *Undersea Hyperb Med* 1999;26:1-8.
- Brunner FP, Frick PG, Buehlmann AA. Post-decompression shock due to extravasation of plasma. *Lancet* 1964;1:1071-3.
- Philp RB. A review of blood changes associated with compression-decompression: relationship to decompression sickness. *Undersea Biomed Res* 1974;1:117-50.
- Ward CA, Koheil A, McCullough D, Johnson WR, Fraser WD. Activation of complement at plasma-air or serum-air interface of rabbits. *J Appl Physiol* (1985) 1986;60:1651-8.
- Hallenbeck JM, Bove AA, Moquin RB, Elliott DH. Accelerated coagulation of whole blood and cell-free plasma by bubbling in vitro. *Aerosp Med*. 1973;44:712-4.
- Helps SC, Gorman DF. Air embolism of the brain in rabbits pre-treated with mechlorethamine. *Stroke* 1991;22:351-4.
- Trytko B, Mitchell SJ. Extreme survival: a deep technical diving accident. *SPUMS Journal* 2005;35:23-7.
- Leitch DR, Green RD. Pulmonary barotrauma in divers and the treatment of cerebral arterial gas embolism. *Aviat Space Environ Med* 1986;57:931-8.
- UHMS Position Statement: Low-Pressure Fabric Hyperbaric Chambers Title: Low- Pressure Fabric Hyperbaric Chambers [Internet]. 2017. Available from: [https://www.uhms.org/images/Position-Statements/UHMS\\_Position\\_Statement\\_LP\\_chambers\\_revised.pdf](https://www.uhms.org/images/Position-Statements/UHMS_Position_Statement_LP_chambers_revised.pdf)
- Department of the Navy. Volume 5: Diving medicine and recompression chamber operations. In: U.S. Navy diving manual, revision 7. Washington, D.C.: Naval SeaSystems Command, 2016: 17-44. Available from: ([https://www.navsea.navy.mil/Portals/103/Documents/SUPSALV/Diving/US%20DIVING%20MANUAL\\_REV7.pdf?ver=2017-01-11-102354-393](https://www.navsea.navy.mil/Portals/103/Documents/SUPSALV/Diving/US%20DIVING%20MANUAL_REV7.pdf?ver=2017-01-11-102354-393)).

27. Bird N. Treatment of Decompression Illness In: Denoble PJ, Bird N, Chimiak J (eds). Treatment of Decompression Illness in Recreational Diving. UHMS 2019: Proceedings of the UHMS Symposium Sponsored by Divers Alert Network; 2019 Jun 26; Rio Grande, Puerto Rico. Durham: Divers Alert Network, 2019.
28. Longphre JM, Denoble PJ, Moon RE, Vann RD, Freiburger JJ. First aid normobaric oxygen for the treatment of recreational diving injuries. *Undersea Hyperb Med* 2007;34:43-9.
29. Zwirewich CV, Müller NL, Abboud RT, Lepawsky M. Non-cardiogenic pulmonary edema caused by decompression sickness: rapid resolution following hyperbaric therapy. *Radiology* 1987;163:81-82.
30. Vann RD, Butler FK, Mitchell SJ, Moon RE. Decompression illness. *Lancet* 2011;377(9760):153-164.
31. Thalmann ED. Principles of US Navy recompression treatments for decompression sickness. In: Moon RE, Sheffield PJ, editors. Treatment of Decompression Illness. Kensington, MD: Undersea and Hyperbaric Medical Society 1996;75-95.
32. Hadanny A, Fishlev G, Bechor Y, Bergan J, Friedman M, Maliar A, Efrati S. Delayed recompression for decompression sickness: retrospective analysis. *PLoS ONE* 2015; 10(4):e0124919.
33. Chin W, Joo E, Ninokawa S, Popa DA, Covington DB. Efficacy of the U.S. Navy Treatment Tables in treating DCS in 103 recreational scuba divers. *Undersea Hyperb Med* 2017;44(5):399-405.
34. Ross JAS. Clinical audit and outcome Measures in the treatment of decompression illness in Scotland. A report to the National Health Service in Scotland Common Services Agency, National Services Division on the conduct and outcome of treatment for decompression illness in Scotland from 1991-1999. Aberdeen, UK: Department of Environmental and Occupational Medicine, University of Aberdeen Medical School; 2000: 27 April 2000.
35. Ortega, M.A.; Fraile-Martinez, O.; García-Montero, C.; Callejón-Peláez, E.; Sáez, M.A.; Álvarez-Mon, M.A.; García-Honduvilla, N.; Monserrat, J.; Álvarez-Mon, M.; Bujan, J.; et al. A General Overview on the Hyperbaric Oxygen Therapy: Applications, Mechanisms and Translational Opportunities. *Medicina* 2021, 57, 864.
36. Choudhury, R. Hypoxia and hyperbaric oxygen therapy: A review. *Int. J. Gen. Med.* 2018,11,431-442.
37. Monnot D, Michot T, Dugrenot E, Guerrero F, Lafère P. A survey of scuba diving-related injuries and outcomes among French recreational divers. *Diving Hyperb Med* 2019;49:96-106.
38. Andrić D, Petri NM, Stipancević H, Petri LV, Kovacević H. Change of occurrence of type 1 and type 2 decompression sickness of divers treated at the Croatian Naval Medical Institute in the period from 1967 to 2000. *Int Marit Health* 2003;54(1-4):127-34.
39. Azzopardi CP, Caruana J, Matity L, Muscat S, Meintjes WAJ. Increasing prevalence of vestibulo-cochlear decompression illness in Malta — an analysis of hyperbaric treatment data from 1987–2017. *Diving Hyperb Med* 2019; 49:161-6.
40. Hubbard M, Davis FM, Malcolm K, Mitchell SJ. Decompression illness and other injuries in a recreational dive charter operation. *Diving Hyperb Med* 2018; 48: 218-23.
41. Francis TJR, Pearson RR, Robertson AG, Hodgson M, Dutka AJ, Flynn ET. Central nervous system decompression sickness: latency of 1070 human cases. *Undersea Biomed Res* 1989;15:403e17.
42. Xu W, Liu W, Huang G, Zou Z, Cai Z, Xu W. Decompression illness: clinical aspects of 5278 consecutive cases treated in a single hyperbaric unit. *PLoS One* 2012;7(11):e50079.
43. Buras JA, Stahl GL, Svoboda KK, Reenstra WR. Hyperbaric oxygen downregulates ICAM-1 expression induced by hypoxia and hypoglycemia: the role of NOS. *Am J Physiol Cell Physiol* 2000;278(2):C292-C302.
44. Thom SR, Bhopale VM, Yang M. Microparticle-induced vascular injury in mice following decompression is inhibited by hyperbaric oxygen: effects on microparticles and interleukin-1 $\beta$ . *J Appl Physiol* (1985) 2019;126:1006-14.
45. Klingmann C, Gonnermann A, Dreyhaupt J, Vent J, Praetorius M, Plinkert PK. Decompression illness reported in a survey of 429 recreational divers. *Aviat Space Environ Med* 2008;79(2):123-8.
46. Hagberg M, Ornhagen H. Incidence and risk factors for symptoms of decompression sickness among male and female dive masters and instructors--a retrospective cohort study. *Undersea Hyperb Med* 2003;30(2):93-102.
47. Smerz RW. Age associated risks of recreational scuba diving. *Hawaii Med J* 2006;65(5):140-1,153.
48. Bennett PB, Moon RE. Diving accident management. Bethesda, MD: Undersea and Hyperbaric Medical society. Undersea and Hyperbaric Medical Society. Workshop (41st:1990:Durham, N.C.).
49. Thalmann ED. Principles of US Navy recompression treatments for decompression sickness. In: Moon RE, Sheffield PJ, editors. Treatment of Decompression Illness. Kensington, MD: Undersea and Hyperbaric Medical Society 1996;75-95.
50. Wilmshurst P, Bryson P. Relationship between the clinical features of neurological decompression illness and its causes. *Clin Sci* 2000;99:65e75.
51. Wilmshurst PT, Pearson MJ, Walsh KP, Morrison WL, Bryson P. Relationship between right-to-left shunts and cutaneous decompression illness. *Clin Sci* 2001;100:539e42.
52. Wilmshurst PT. The role of persistent foramen ovale and other shunts in decompression illness. *Diving Hyperb Med* 2015;45:98e104.
53. Wilmshurst PT, Byrne JC, Webb-Peploe MM. Relation between interatrial shunts and decompression sickness in divers. *Lancet* 1989;334:1302e6.
54. Smart D, Mitchell S, Wilmshurst P, Turner M, Banham N. Joint position statement on persistent foramen ovale (PFO) and diving. South Pacific Underwater Medicine Society (SPUMS) and United Kingdom Sports Diving Medical Committee (UKSDMC). *Diving Hyperb Med* 2015;45: 129e31.
55. Wilmshurst P, Walsh K, Morrison L. Transcatheter occlusion of foramen ovale with a button device after neurological decompression illness in professional divers. *Lancet* 1996; 348:752e3.
56. Wilmshurst PT, Morrison WL, Walsh KP, Pearson MJ, Nightingale S. Comparison of the size of persistent foramen ovale and atrial septal defects in divers with shunt-related decompression illness and in the general population. *Diving Hyperb Med* 2015;45: 89e93.