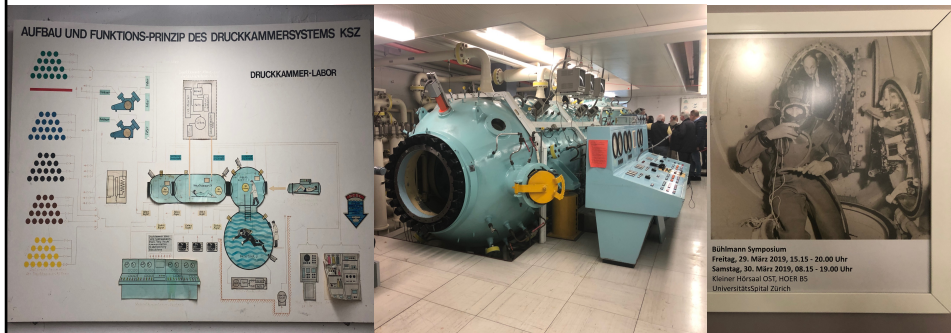




## The DAN Europe Diving Data Base

Alessandro Marroni, MD, MSc, FUHM, FECB



## Buehlmann Memorial Symposium Zuerich, 30-31 March, 2019





#### Premessa

Non esiste alcun organismo centrale, in Svizzera, per il controllo dell'attrezzatura sportiva, ma diversi istituti, per esempio la Compagnia d'Assicurazione Nazionale Svizzera (CNA), raccolgono regolarmente dati. La banca dati più completa, in Svizzera, è quella in possesso della Clinica Medica dell'Ospedale Universitario di Zurigo, sui cui dati si basano le affermazioni che seguono.

Ci sono circa 10.000 subacquei sportivi in attività in Svizzera. Questi si immergono, mediamente, più di 10 volte all'anno ciascuno, per un totale di 200.000 - 400.000 immersioni annue, sia in Svizzera che all'estero. I dati che abbiamo raccolto a Zurigo si riferiscono sia agli incidenti mortali che a quelli non mortali.

La Tabella I mostra una media di 3 incidenti mortali all'anno, nel periodo di osservazione fra il 1981 ed il 1990, rispetto a 67 incidenti mortali all'anno per dieci sport acquatici, come il nuoto, la canoa, ecc., e 175 incidenti mortali per gli sport alpini, come sci, racca, sci, ecc. L'aumento è la causa più frequente di morte durante l'immersione subacquea, ma il rischio di incidenti, mortali e non, è decisamente più elevato in montagna che in immersione.

Tabella I - Incidenti Sportivi Mortali in Svizzera Media Annuale dal 1981 al 1990	
Sport Alpini (Sci, Sci, ecc.)	175
Sport Acquatici (Nuoto, Canoa, ecc.)	67
Sport Subacquei (Apnea e APO)	3
10.000 subacquei attivi in Svizzera 200.000 - 400.000 immersioni per anno	

Dal 1969 la maggior parte delle vittime di incidenti subacquei, seri ma non mortali, avvenuti in Svizzera, sono stati ricoverati presso l'Ospedale Universitario di Zurigo. Durante gli ultimi 10 anni abbiamo trattato, ogni anno, 3 - 4 subacquei sportivi colpiti da ferite di lacerazione o di decompressione di tipo traumatico, a carico dell'encefalo, del midollo spinale, dell'occhio o dell'orecchio interno.

Il numero dei pazienti da noi trattati è sufficientemente elevato per consentire di trarre alcune conclusioni a riguardo delle abitudini d'immersione dei subacquei colpiti da seri incidenti d'immersione in Svizzera. 30 dei 50 subacquei che presentavano danni importanti a carico dell'orecchio interno o del midollo spinale, avevano sofferto di barotrauma dell'orecchio o del polmone, rispettivamente.

Il barotrauma del polmone può provocare un'embolia gassosa a carico del cervello, dell'occhio e del midollo spinale. Il barotrauma polmonare avviene, in genere, fra la profondità di 10 metri e la superficie.

La causa è l'impedimento dell'equilibrio di pressione fra bocca e orecchio medio, per il barotrauma dell'orecchio e fra la bocca ed una parte del polmone, a causa di un'ostruzione, totale o parziale, di un bronco, per il barotrauma polmonare.

Tabella II - Barotrauma dell'orecchio con vertigine, nausea, vomito, ipocousia e timbo Clinica Medica di Zurigo, 1971 - 1990	
Pazienti	18
Immersioni "normali"	15
Profondità maggiore di 50 m.	3
Risultato d'emergenza	3

L'irritazione e l'edema delle membrane mucose del naso respiratorio è un significativo fattore di rischio per l'insorgenza di barotrauma.

Tabella III - Barotrauma del polmone Embolia Gassosa Arteriosa a carico del midollo spinale Clinica Medica di Zurigo, 1971 - 1990	
Pazienti	18
Immersioni "normali"	15
Profondità maggiore di 50 m.	3
Risultato d'emergenza	6

La migliore tabella di decompressione ed il più sofisticato computer subacqueo non possono evitare il fenomeno del barotrauma. Nel lavoro subacqueo professionale, per esempio, il barotrauma dell'orecchio o del polmone è raro, la diversa motivazione all'immersione fra sportivi e lavoratori subacquei può forse spiegare la differenza.

Tabella IV - Malattia da Decompressione Clinica Medica di Zurigo, 1969 - 1990	
Pazienti	14
Immersioni "normali"	1
Profondità maggiore di 50 m.	3
Risultato d'emergenza	13

Il barotrauma dell'orecchio, come anche quello del polmone in risalita, sono possibili a seguito di immersioni poco profonde, di immersioni profonde, di immersioni brevi oppure di lunga durata. La formazione di microbolle nel midollo spinale - la cosiddetta Malattia da Decompressione o MDD - invece, è estremamente rara se vengono rispettate le regole di decompressione prescritte dalle moderne tabelle di decompressione o dagli attuali computer subacquei. 13 dei 14 subacquei sportivi, trattati a Zurigo, colpiti da forme di severa MDD a carico del midollo spinale, avevano compiuto una risalita d'emergenza dopo immersioni fra 30 ed i 100 metri di profondità. Il panico, il pianto di tristezza o la vertigine (segni di narcosi da azoto), il disorientamento, il congelamento dell'organo e l'aumento della riserva d'aria sono fra le cause più frequenti della risalita d'emergenza.

Il medico subacqueo non può che confermare i principi di sicurezza di ogni buon istruttore subacqueo: " Considerate il Rischio: SEMPRE - Ignorate il Rischio: MAI "

61

62

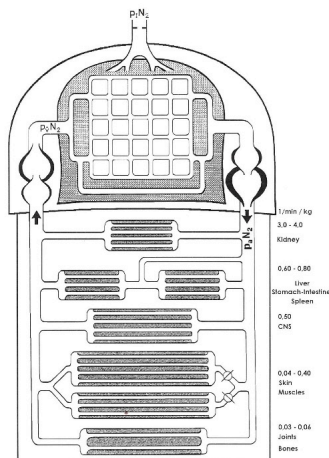


Figura 1. Descrizione schematica del modello multi-tissuto con polmone, circolazione e sei tessuti con diversa e variabile perfusione. La perfusione è correlata al tempo di ematizzazione.

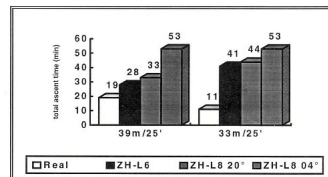


Figura 2. Confronto fra il modello ZH-L6 (Aladin Pro) ed il modello ZH-L8 (Aladin Pro) per immersioni sportive in ambiente ad acqua fredda. Nessun sintomo di MDD dopo la prima immersione. Somma dei tempi di MDD in 4 subacquei su 5 nella seconda immersione osservando i tempi di risalita "specie" indicati come "Real". Le altre colonne si riferiscono ai tempi indicati dal modello ZH-L6 e dal modello ZH-L8 per temperature d'acqua di 20 °C e di 4 °C.

La figura 3 illustra un'immersione multilivello in acqua calda. Alla profondità di 8 metri è registrato un carico di lavoro elevato che dura 10 minuti, mentre l'immersione continua fino a 28 metri. Durante la risalita ci sono solo brevi periodi di elevato carico di lavoro. Non c'è risalita rapida e non ci sono violazioni delle tabelle di decompressione. Il raffreddamento è modesto, inizia dopo 18 minuti ed aumenta dopo 39 minuti di immersione. In quest'immersione il periodo fra il 6° ed il 20° minuto è controllato e predefinito dalla modalità auto-adattante del sistema.

Ritengo che il nuovo Computer Subacqueo Auto-Adattante rappresenti una nuova generazione di computer subacquei. La ricerca sulla fisiologia della decompressione e la Medicina Subacquea, fin dai tempi di Haldane, è stata condotta con il metodo "Trial and Error" (tentativo - Tentativo ed Errore, NOT ed i progressi vengono conseguiti per gradi. Come dice Cicerone: "Errare humanum est, diabolus est perseverare".

#### Riferimenti Bibliografici:

Balchmann AA, Fischelmann J. 3rd Edition. Springer-Verlag 1993

66



**A. Maroni**  
Desidero spiegarvi come è nato questo premio. Due anni fa, purtroppo, il nostro sport è stato funestato dalla morte di un subacqueo apneaista, Santino Curzolo. I suoi familiari, i suoi amici, hanno voluto, dopo la morte di Santino, inviare al DAN un contributo, con la preghiera che fosse utilizzato per migliorare la sicurezza dell'immersione. Così è nata l'idea di creare un premio che stimolasse la ricerca e che premiasse quanti si sono adoperati per rendere la nostra attività sempre più sicura. Non sempre, purtroppo, si è realizzata l'auspicabile vicinanza tra il mondo scientifico e il mondo degli utenti dei prodotti della ricerca scientifica. Facilitare questa vicinanza è uno degli scopi principali del DAN, perché riteniamo che solo attraverso un contatto efficace tra coloro che hanno dedicato la vita a studiare questi argomenti e coloro che utilizzano i risultati della ricerca, si possa ottenere lo scopo di migliorare la sicurezza dell'immersione, di evitare danni, di salvaguardare la salute.

Le persone che hanno dedicato la loro vita alla ricerca, quindi, devono ricevere da voi tutto il supporto e la gratitudine possibili, e dal DAN, organizzazione tramite tra mondo scientifico e mondo subacqueo, devono ricevere un'appropriate gratificazione.

Questo è lo scopo del "DAN Europe International Award" che viene consegnato quest'anno per la

#### "DAN EUROPE INTERNATIONAL AWARD 1993" Prof. Albert A. Bühlmann

Il primo "DAN Europe International Award" va ad una persona che da anni si occupa, con estremo valore scientifico, di medicina subacquea, interessandosi a tutti gli aspetti relativi all'immersione professionale e ricreativa.

E' uno scienziato che ha compiuto ricerche avanzate, da cui sono derivate le attuali conoscenze di fisiologia dell'immersione subacquea, un medico estremamente attivo in termini clinici, che ha prestato la sua opera per la cura e la riabilitazione di moltissimi subacquei, portati alla sua attenzione presso l'ospedale dell'Università di Zurigo. La persona a cui il DAN Europe intende, con orgoglio, consegnare il primo "DAN Europe International Award" è il Prof. Albert Bühlmann che, ora, non richiede ulteriore presentazione.

**PROF. ALBERT A. BÜHLMANN**

Il "DAN Europe Decennial Award 1983-1993" è il secondo ed importantissimo premio che celebra il nostro primo decennio di attività. Viene consegnato alla persona che, più di ogni altra, ha aiutato noi, e me in particolare, a progredire questa strada, stimolandoci a fare sempre meglio e dandoci tutto il suo supporto. E' una persona che, come il Prof. Bühlmann, ha dedicato la vita allo studio della fisiologia dell'immersione ed è tra i più insigni studiosi della penetrazione umana profonda in mare. E' la persona che nel 1980 ha deciso che i subacquei sportivi avevano bisogno di una struttura come quella di cui voi adesso siete qui a testimoniare la vitalità e la presenza internazionale: il Prof. Peter Bennett.

#### P. Bennett

Desidero, ovviamente, ringraziare me, soprattutto, esprimerne il privilegio che rappresenta per me ricevere questo Award. Dovete sapere che il DAN, iniziò quando un mio amico, il Colonnello Jeff Davis, scomparso alcuni anni fa, mi telefonò per chiedermi se me la sentivo di attivare una Hotline per subacquei sportivi, per continuare il servizio che lui aveva iniziato presso la Base Aerea di Brooks (il LEO-FAST, N.D.R.) e che non poteva più portare avanti.

Da quella sfida nacque e crebbe il DAN USA: ora abbiamo una cosa meravigliosa come il DAN Europe ed un International DAN che sta crescendo.





## Gas Bubbles in recreational Scuba Diving: prospective field studies.



## DCS = bubble disease ?

- D. Elliott (2003): *“After more than 100 years of decompression sickness research, we can be fairly sure of one thing – than bubbles have something to do with it !”*
- “Silent” bubbles – without overt symptoms of DCS – suspected to be present since 1939 (Behnke et al.) – detected since 1970’s (Spencer et al.)
- BUT...recent research shows that symptoms of DCS are caused by much more than bubbles alone





## Asymptomatic Circulating Bubbles



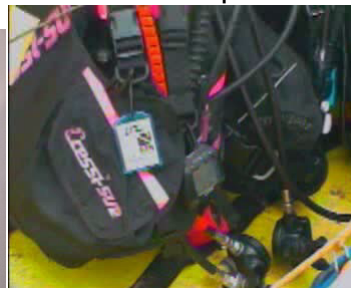
Bubble Grades - Spencer: 0 - 4



From Safe Dive to DSL 1994 – 2000

Research Project Development

Dives recorded for time/depth profile by “DAN Europe Black Boxes” – modified dive computers - which are worn by the divers to assure objective dive profile recording and the availability of data ready for mathematical analysis of the computed tissue saturation.





### From Safe Dive to DSL 1994 – 2000

Research Project Development

DSL was the natural extension of the **Safe Dive** initiative



Precordial Doppler Recording by specially trained volunteer divers with a 3,5 MHz probe connected to an MP3 digital recorder.

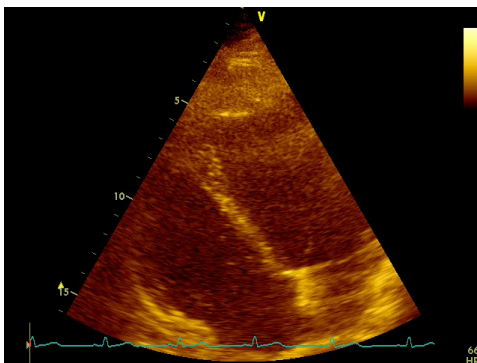




1 minute recording every 15 minutes up to 90 minutes after surfacing  
followed by double blind laboratory evaluation .

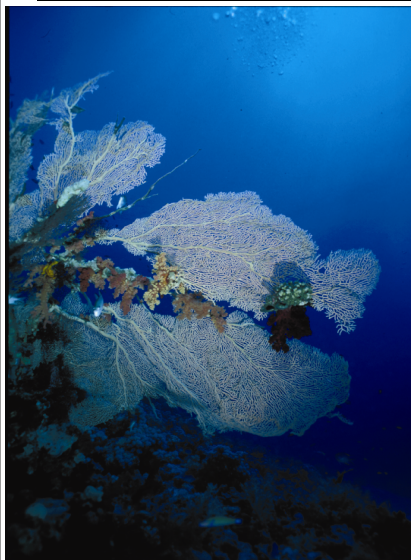


### Ecocardiography 25m/25min Dive





1996 – first analysis of 1100 electronic dive profiles  
Vs.  
precordial doppler bubble data



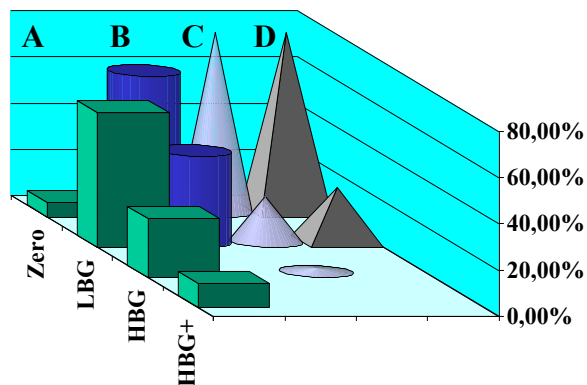
“High Bubble  
Grades” relate to

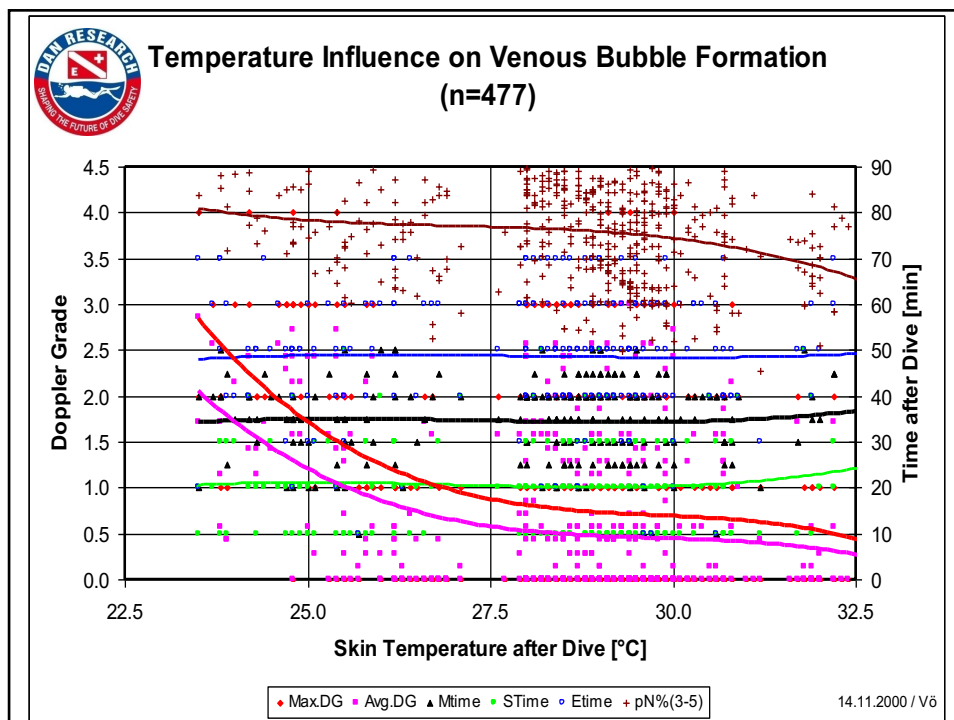
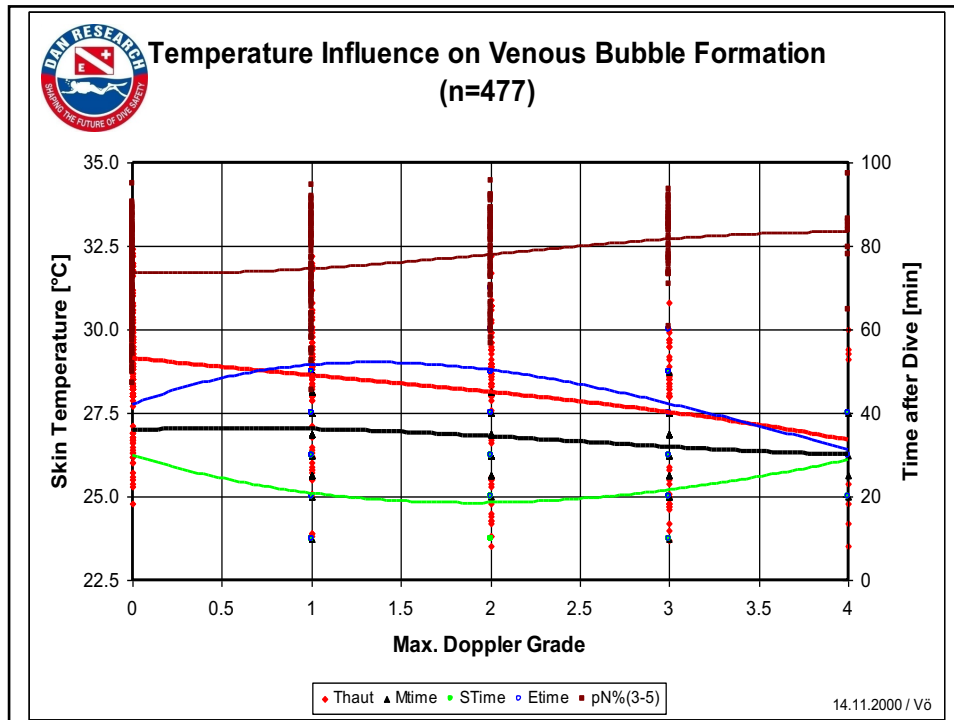
- “Fast Tissues”
- $\text{PltN}_2 > 80\%$  of  
M Value



DSL Project 1-2001 - **PMR**  
210 Man-dives - 388 Doppler Recordings

DBG	Zero	LBG	HBG	HBG+
Dives A	6,3%	58,2%	25,3%	10,2%
Dives B	60,8%	39,2%	---	---
Dives C	77,3%	19,4%	0,97%	---
Dives D	76,8%	23,2%	---	---





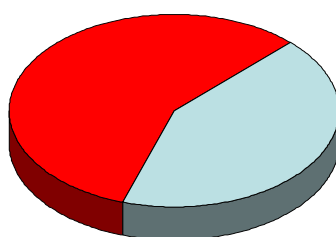




## ***DAN Europe Database “Undeserved DCI”***

**“Undeserved”**

**57,6%**  
(no error)



**“Deserved”**

**42,4%**  
(error)



- ✓ DCS can occur in SCUBA diving after “regular recreational dives”
- ✓ Notwithstanding current decompression algorithms are respected



## Why Monitoring Bubbles?

Venous Gas Bubbles can transit through the Pulmonary Filter, in case of considerable volumes or rapid delivery of venous gas to the lungs.

This can happen even without a R-to-L by-pass such as PFO or anastomotic shunts, and is facilitated by the relative small Volume of decompression gas bubbles (25-300  $\mu\text{m}$ )

The amount of delivered venous gas depends on the ascent and decompression profile.

Powell 1978, Brubakk 1986, Vik 1993, Balestra 1998, Barthelemy 2006



## Why Monitoring Bubbles?

The amount of arterialized gas depends on the increase of pressure in the right side of the heart

Considerable and rapid deliveries of gas bubbles ( $> 0.03$  cc/kg/min) causes significant increase of right heart pressure.

The right heart pressure increase caused by Decompression bubbles is significant and rapid, although transitory.

In such circumstances, arterialization of venous gas bubbles can

happen even during “innocent” dives, particularly when facilitated by effort, exercise, cough, or forced Valsalva

Powell 1978, Brubakk 1986, Vik 1993, Balestra 1998, Barthelemy 2006

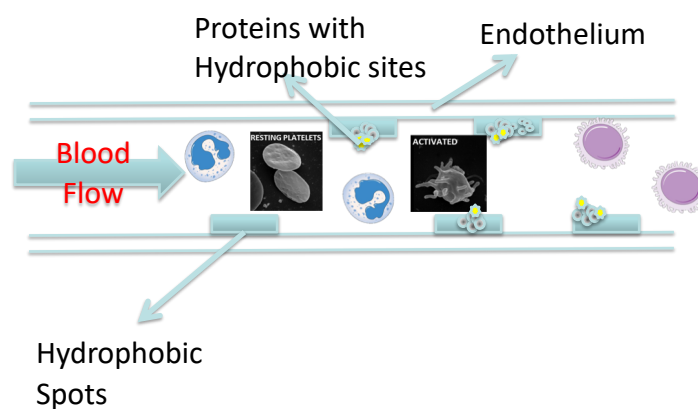


## More reasons why monitoring bubbles

Bubbles,  
besides directly causing symptoms,  
are also the first trigger  
of complex pathophysiological reactions  
accompanying and worsening  
the cascade of phenomena initiated by  
an excess of circulating gas.



## Blood Cell activation, Inflammation...





### Dive Risk Factors in Scuba Diving: analysis of 39099 dives from the DAN Europe Data Base.

---

**39099** open circuit SCUBA Dives made by 2629 European Divers over five years (2189 male 83.3%, 440 female 16.7%) were retrospectively statistically analysed.

**970** dives were also investigated for bubble formation by post-dive precordial Doppler.

**327** DCS cases were also investigated



### Diving Community Habits

---

#### **All Dives were made in a “safe zone”**

- ✓ Average depth 27.1 m,
- ✓ Average GF 0.66,
- ✓ Average ascent speed lower than the currently recommended “safe” one.
- ✓ Few deco omissions occurred;

This indicates that divers tend to dive very conservatively.



## Diving Community Habits

### Prevalence of diver and equipment related problems 6.3%

**BUT** Serious problems for safety out of the 39,099 dives occurred in only:

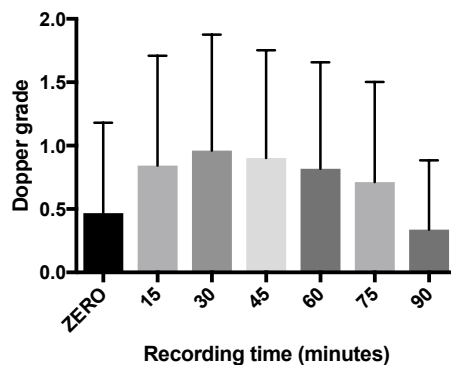
- ✓ Breathing Apparatus problems: **103** dives
- ✓ Deco omission: **20** dives
- ✓ Rapid ascent: **109** dives

All together the serious problem sum up to less than 0.6 %  
of all recorded dives.



## Bubbles

### Bubble peak occurs between 30 and 45 minutes after surfacing



Take-home message:  
Avoid efforts during  
this post-dive  
time interval

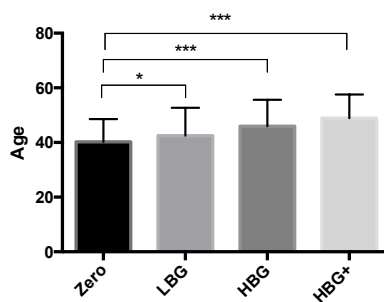




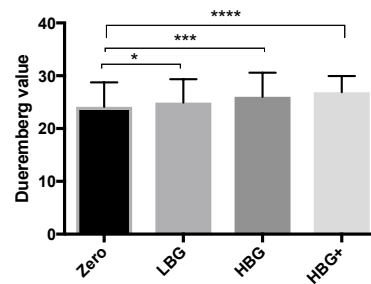
## Bubbles

We found a significant difference in **Age** and **Fat Mass** when comparing grade Zero Bubble Grade Vs. higher grades

Bubbles and Age



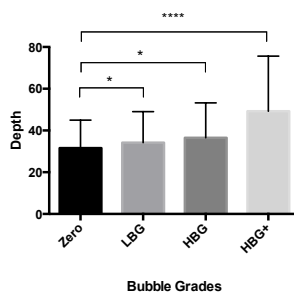
Bubbles and Fat Mass



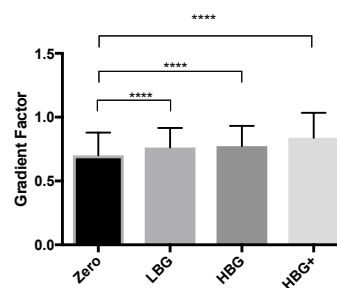
## Bubbles

We found a significant difference in Diving Exposure when comparing grade Zero Bubble Grade Vs. higher grades

Bubbles and Depth



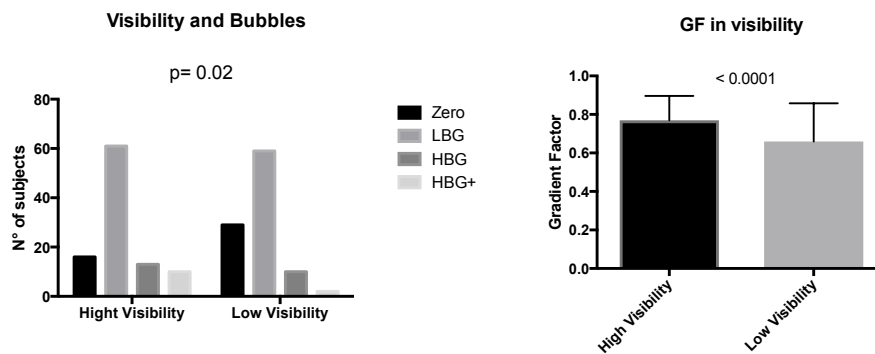
Bubbles and GF





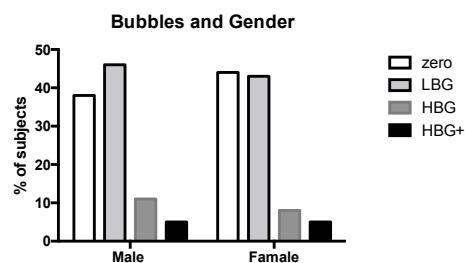
## Bubbles

Some risk factors showed a statistically different effect  
as to bubble formation  
BUT this effect was associated to and influenced by diving  
exposure and consequently by GF



## Bubbles

The other investigated risk factors did not show any significant  
relation with High Bubble Grades



$p = 0.80$

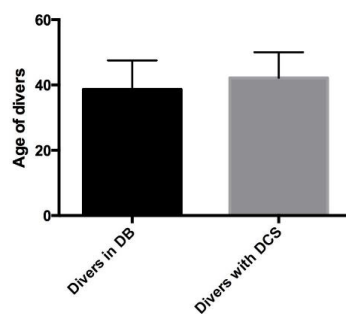


## DCS

We found a significant difference in **Age** and **Fat Mass** between DCS affected and non affected Divers

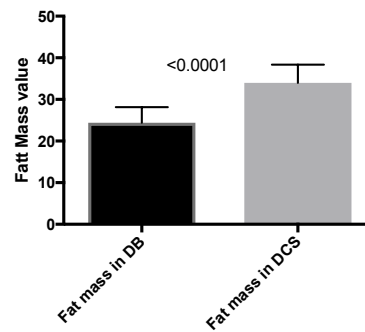
Age and DCS

P&lt;0.0001



Fat mass Deurenberg Vs. DCS

&lt;0.0001

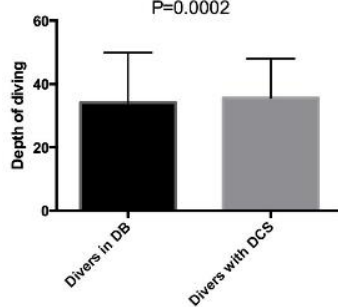


## DCS

We found a significant difference in Diving Exposure when comparing DCS affected and non affected Divers

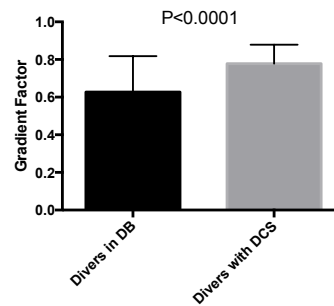
DCS and depth

P=0.0002



DCS and GF

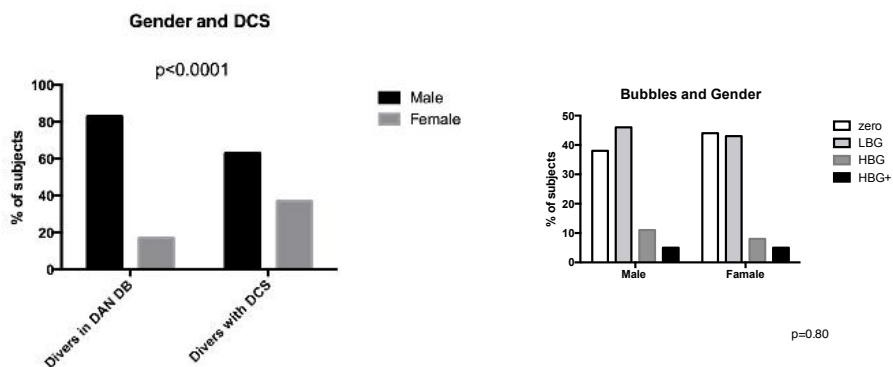
P&lt;0.0001





## DCS

Females appeared more affected by DCS  
**EVEN IF**  
 showing similar bubble grades



## DCS

Conversely some other risk factors showed significant differences as to DCS  
**EVEN IF**  
 they have no influence on bubble grades

- ✓ Lake diving  $p = 0.004$
- ✓ Strong current and low visibility  $p < 0.0001$  and  $p = 0.026$
- ✓ Heavy exercise before diving  $p < 0.0001$
- ✓ Heavy workload during diving  $p < 0.0001$

This seems to indicate that the stress effect induced by some risk factors,  
 might increase deco-stress and bubble susceptibility.



## DCS

only 8 DCS cases (2.5%) had a GF > 1  
 14 cases (4.4%) had a GF > 0.9

236 cases (73.7%) showed GF values between 0.70 and 0.90

46 cases (14.4%) showed a GF lower than 0.70  
 10 cases (3.4%) showed a GF lower than 0.60

13 DCS cases showed a GF lower than 0.50



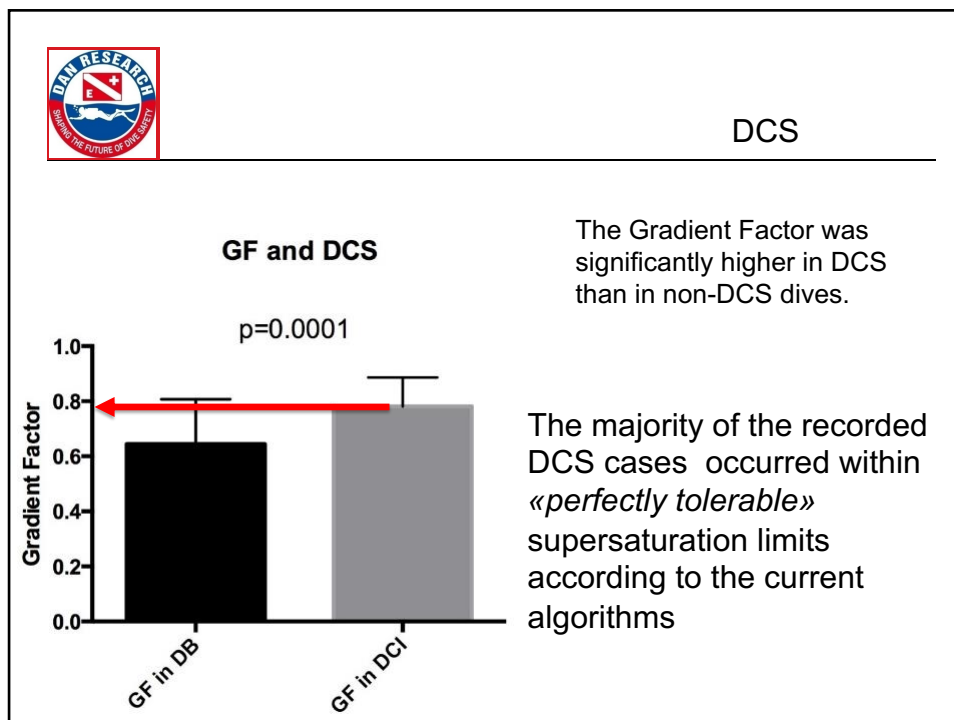
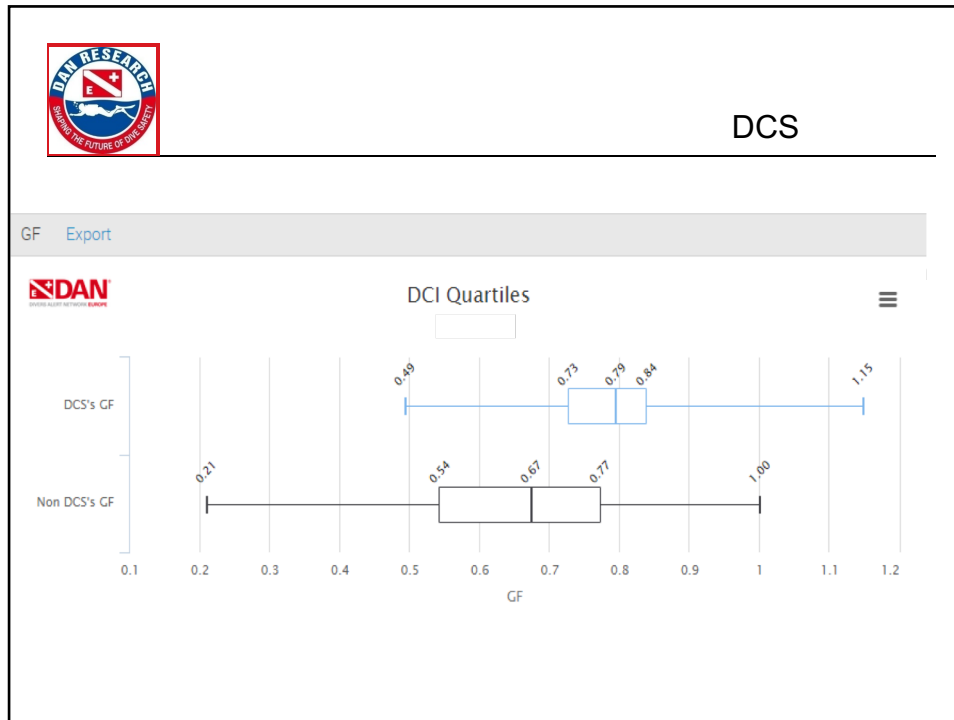
## DCS

The 8 DCS cases exceeding GF 1.0 (the “deserved” ones)

Involved fast (8 and 12.5 min.) and slow (54.3 min. )  
 HT Compartments

The majority of DCS cases showed GF Values lower  
 than 1.0 (“underserved”!) and involved medium HT  
 Compartments







## Bubbles (VGE) and DCS risk

- Spencer scale
- Eftedal & Brubakk Score

**Table 15.8**

**Bubbles vs decompression illness for compressed air dives:** precordial bubbles at rest (from Spencer & Johanson, 1974; graded according to Spencer Code).

	Bubble grades				
	0	I	II	III	IV
No. of subjects (n=174)	110	27	18	14	5
No. with DCI (n=12)	1	1	3	6	4
Per cent incidence	1	4	17	43	80

**Table 2.** Results from the experimental dives

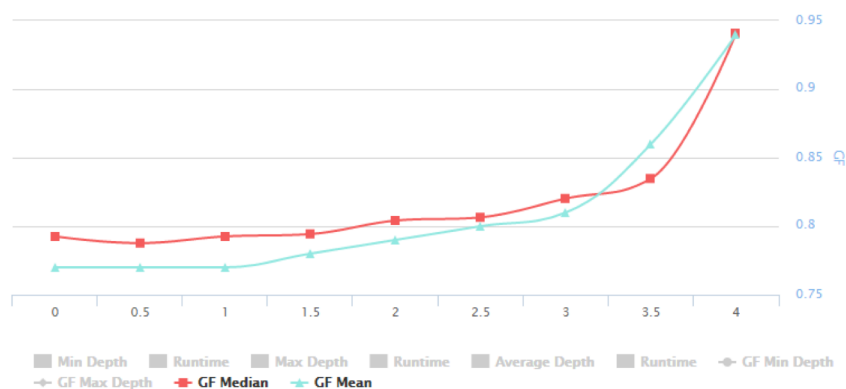
Bubble grade	Number of dives	Cases of AED	AED risk, %	
			Estimate	95% confidence interval
0	66	0	0	0.0 to 6.8
1	35	2	6	0.7 to 19.8
2	30	2	7	0.9 to 22.6
3	65	9	14	7.3 to 24.6
4	7	3	43	16.0 to 74.9
5	-	-	-	-



## Gradient Factor & Bubbles

Bubbles Trend - Total Survey [Export](#)

All Surveys





## Conclusion

---

- Considering that only 8 of the 327 DCS cases showed a Gradient Factor higher than 1, all the others should be considered as “undeserved” according to the current decompression algorithms
- This confirms our previous observations that there is an evident “grey area” in the current algorithms’ “mathematical” ability to predict DCS



## Conclusion

---

The analysis of the DAN DB shows clearly that most dives were made in a “safe zone”

Prevalence of diver and equipment related problems occurred only in a very limited fraction of these dives

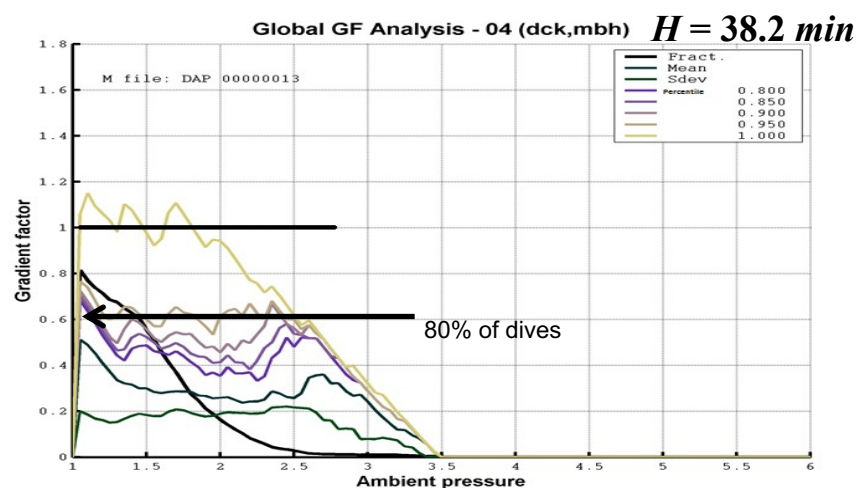


## Conclusion

Bubble peak occurs between 30 and 45 minutes after surfacing

Certain risk factors DO NOT influence bubble formation but appear to directly influence DCS occurrence.

Could such factors be considered as “Stress Factors” ?



Global DB Dive profile GF Analysis



frontiers  
in Psychology

ORIGINAL RESEARCH  
published: 13 September 2017  
doi: 10.3389/fpsyg.2017.01587



## Dive Risk Factors, Gas Bubble Formation, and Decompression Illness in Recreational SCUBA Diving: Analysis of DAN Europe DSL Data Base

Daniela Cialoni<sup>1\*</sup>, Massimo Pieri<sup>1</sup>, Costantino Balestra<sup>1,2</sup> and Alessandro Marconi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>DAN Europe Research Division, DAN Europe Foundation, Roselle High Abruzzo, Italy; <sup>2</sup>Environmental, Occupational and Aging Integrated Physiology Lab, Health Care Division, Robert, Brussels, Belgium

### OPEN ACCESS

#### Edited by:

François Guerin,  
University of Western Brittany, France

#### Reviewed by:

Thierry Michot,  
University of Western Brittany, France

Toshioa Murakami,  
Tokyo University, Japan

#### \*Correspondence:

Daniela Cialoni  
dcialoni@danurope.org

#### Specialty section:

This article was submitted to  
Movement Science and Sport  
Psychology,  
a section of the journal  
Frontiers in Psychology

#### Received:

26 June 2017

#### Accepted:

30 August 2017

#### Published:

13 September 2017

#### Citation:

Cialoni D, Pieri M, Balestra C and  
Marconi A (2017) Dive Risk Factors,  
Gas Bubble Formation, and  
Decompression Illness in Recreational  
SCUBA Diving: Analysis of DAN  
Europe DSL Data Base.  
Front. Psychol. 8:1587.  
doi: 10.3389/fpsyg.2017.01587

**Introduction:** The popularity of SCUBA diving is steadily increasing together with the number of dives and correlated diseases per year. The rules that govern correct decompression procedures are considered well known even if the majority of Decompression Sickness (DCS) cases are considered unexpected confirming a bias in the "mathematical ability" to predict DCS by the current algorithms. Furthermore, little is still known about diving risk factors and any individual predisposition to DCS. This study provides an in-depth epidemiological analysis of the diving community, to include additional risk factors correlated with the development of circulating bubbles and DCS.

**Materials and Methods:** An originally developed database (DAN DB) including specific questionnaires for data collection allowed the statistical analysis of 39,099 electronically recorded open circuit dives made by 2,629 European divers (2,189 males 83.3%, 440 females 16.7%) over 5 years. The same dive parameters and risk factors were investigated also in 970 out of the 39,099 collected dives investigated for bubble formation, by 1-min precordial Doppler, and in 320 sea-level dives followed by DCS symptoms.

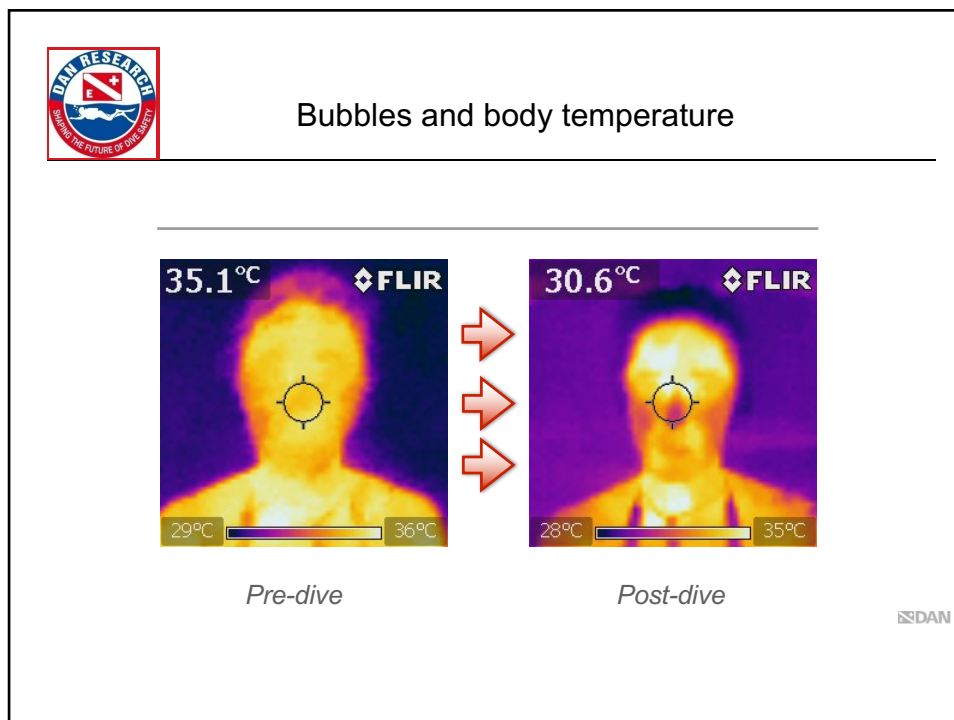
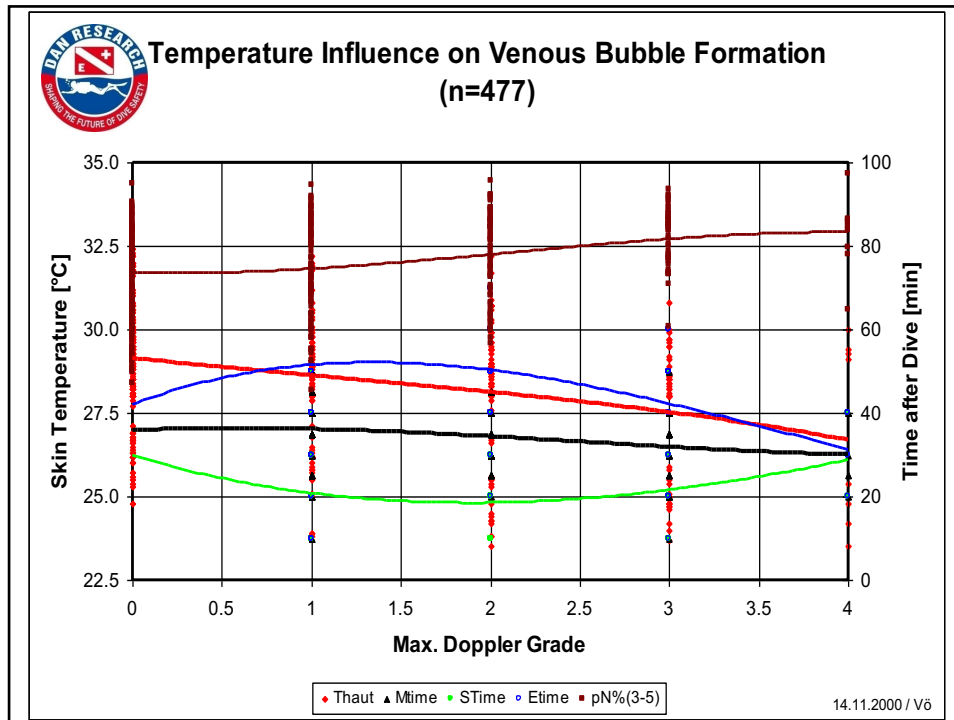
**Results:** Mean depth and GF high of all the recorded dives were 27.1 m, and 0.66, respectively; the average ascent speed was lower than the currently recommended "safe" one (9–10 m/min). We found statistically significant relationships between higher bubble grades and BMI, fat mass, age, and diving exposure. Regarding incidence of DCS, we identified additional non-bubble related risk factors, which appear significantly related to a higher DCS incidence, namely: gender, strong current, heavy exercise, and workload during diving. We found that the majority of the recorded DCS cases were not predicted by the adopted decompression algorithm and would have therefore been defined as "undeserved."



## Conclusions

- Less VGE → less risk for DCS : simple logic
- Recent research is unraveling an ever more complex network of physical, physiological, and biochemical interactions





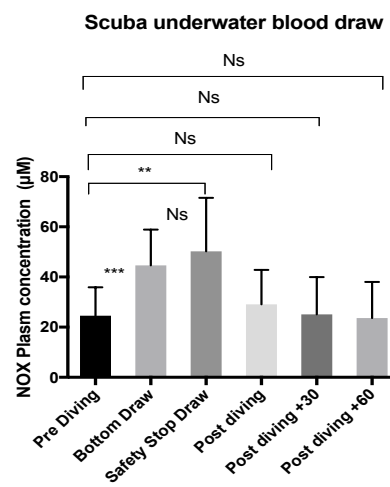
The collage consists of four images. The top-left image shows a wooden desk with a computer monitor, keyboard, and a small electronic device. The top-right image shows a diver underwater holding a circular display. The bottom-left image shows a close-up of a diver's head and mask. The bottom-right image shows a diver underwater holding a circular display.



THE IMPORTANCE OF REAL TIME MONITORING



### THE IMPORTANCE OF REAL TIME MONITORING



## IDENTITY CRISIS of a decompression bubble



Was I ever small ?  
Where did I come from ?  
Will I be absorbed soon ?  
Did I migrate or originate ?  
Why don't people feel me immediately ?