DAN
DIVERS ALERT NETWORK EUROPE

Tauchmedizin 3.0

... *low bubbler*, *high bubbler,* das Immunsystem, dünnste Membranen und Hinweise zur Tauchsicherheit ....

Dr. med. Ulrich van Laak
DAN Europe Medical Director Deutschland und Österreich
9th Rebreather Reunion Hemmoor 2017
26. August2017

DAN
DIVERS ALERT NETWORK EUROPE

Dekompressionsunfall
Decompression Illness
DCI

⇩

Dekompressionskrankheit
Decompression Sickness
DCS → 80 % der schweren DCI-Fälle

DAN
DIVERS ALERT NETWORK EUROPE

Dekompressionsunfall
Decompression Illness
DCI

⇩

Arterielle Gasembolie
(Cerebral) Arterial Gas Embolism (C)AGE
AGE – 5% der schweren Ereignisse

Typischer „high bubbler“
→ schwere DCS Symptome Haut

Sicherheitserhöhung für “high bubbler“

15 Regeln des „low bubble diving“ *

1. Tauchgang mit größter Tiefe beginnen
2. Keine Jojo-Tauchgänge im 10 m Bereich
3. Aufstiegsgeschwindigkeit ab 10 m auf 5 m/min ↓
4. Sicherheitsstopp 3 bis 5 m Tiefe > 5 bis 10 min
5. „Nullzeit“ nicht ausreizen, keine „Deko-TGe“
6. Mindestens 4 h Oberflächenintervall Folge-TG
7. Maximal 2 TGe pro Tag
8. Mindestens 2 h Wartezeit bei Höhenwechsel ↑
9. Nach TG keine starke Hauterwärmung

* nach: Checkliste Tauchtauglichkeit, GTÜM, ÖGTH, 2. Auflage 2014, Stuttgart, Gentner Verlag, S.431

15 Regeln des „low bubble diving“ *

10. (Haut-) Kälte, Flüssigkeitsmangel vermeiden
11. Nitrox-Tauchen nach Lufttabellen
12. Sicherheitsmodus Tauchcomputer
13. Keinerlei Anstrengungen letzte 10 m des TGs
14. Keine Anstrengungen über 2 h nach dem TG (Klettern, Heben, Tragen, Pressen, Aufblasen ...)
15. Absolutes Tauchverbot bei Erkältungen (kein Husten und forcierter Druckausgleich ...)

* nach: Checkliste Tauchtauglichkeit, GTÜM, ÖGTH, 2. Auflage 2014, Stuttgart, Gentner Verlag, S.431

Die Schutzziele sind:

Die Gasbläschenzahl gering halten:
„less bubbles, less troubles“
→ Z. n. „unverdienter DCI“

Den Übertritt ins arterielle System verhindern:
→ “Shunts“ über Lungenfilter / Herzebene

15 Regeln des „low bubble diving“ *

1. Tauchgang mit größter Tiefe beginnen
2. Keine Jojo-Tauchgänge im 10 m Bereich
3. Aufstiegsgeschwindigkeit ab 10 m auf 5 m/min ↓
4. Sicherheitsstopp 3 bis 5 m Tiefe > 5 bis 10 min
5. „Nullzeit“ nicht ausreizen, keine „Deko-TGe“
6. Mindestens 4 h Oberflächenintervall Folge-TG
7. Maximal 2 TGe pro Tag
8. Mindestens 2 h Wartezeit bei Höhenwechsel ↑
9. Nach TG keine starke Hauterwärmung

* nach: Checkliste Tauchtauglichkeit, GTÜM, ÖGTH, 2. Auflage 2014, Stuttgart, Gentner Verlag, S.431

15 Regeln des „low bubble diving“ *

10. (Haut-) Kälte, Flüssigkeitsmangel vermeiden
11. Nitrox-Tauchen nach Lufttabellen
12. Sicherheitsmodus Tauchcomputer
13. Keinerlei Anstrengungen letzte 10 m des TGs
14. Keine Anstrengungen über 2 h nach dem TG (Klettern, Heben, Tragen, Pressen, Aufblasen ...)
15. Absolutes Tauchverbot bei Erkältungen (kein Husten und forcierter Druckausgleich ...)

* nach: Checkliste Tauchtauglichkeit, GTÜM, ÖGTH, 2. Auflage 2014, Stuttgart, Gentner Verlag, S.431

Thematischer Ausflug:

Unerwünschtes „low bubbling“ beim Champagner

Wissenschaft · Technik

York

IE

Birke, Al

L: Und Mischung sollten angepflanzt werden?
mehr als zehn Prozent der von einer Art sein. Zudem Bäume überwiegend groß sein, nglebig und krankheitsresistent.
L: Worin liegt der Gewinn für die Ein- r der Städte?
on: Ein guter Mix maximiert die Auf- von CO_2, verringert die Abgabe von gen Kohlenwasserstoffen durch die en und sorgt für eine größtmögliche ng im Sommer. Kohlenwasserstoffe opren fördern die Ozonbildung, des- muss man sie begrenzen. Unser hlener Mix würde die Emission von nwasserstoffen gegenüber dem heuti- aumbestand in Syracuse um 88 Pro- enken und die CO_2-Aufnahme um zent erhöhen.

PHYSIK

Ohne Fusseln kein Sprudeln

Flusen im Glas sind die Ursache für das langanhaltende Perlen des Champagners. „So erstaunlich es klingen mag, aber in einem absolut sauberen Glas würde ein Champagner nicht sprudeln", hat Gérard Liger-Belair, Dozent an der Universität Reims, herausgefunden. Der Physiker erklärt das Phänomen so: An den Fusseln haften winzige Luftbläschen. Diese wiederum bilden die Keime für die Enstehung immer weiterer Bläschen. Freunden kräftigen Sprudelns rät der Physiker daher, die Sektflöten vor Gebrauch mit einem Geschirrtuch abzureiben – wodurch zahlreiche Fasern von einem Zehntel Millimeter Länge und einem Hundertstel Millimeter Dicke im Glas zurückbleiben. Und sage niemand, der Wissenschaftler aus der Champagner-Region habe sich nur über sein heimisches Getränk Gedanken gemacht: „Die Ergebnisse sind übertragbar auf alles, was Kohlensäure enthält."

Perlender Sekt

Der Spiegel 42 / 2006

Moet&Chandon Forschung Reims

- CO_2 ↑ durch Zuckervergärung zu C_2H_5OH
- Überdruck von 5 bar (Flasche)
- Ohne weiteres entstehen keine typischen Bläschen im Champagner
- Die erforderliche CO_2 Bläschenbildung beim Öffnen benötigt „Geburtshilfe"
- Stoff- oder Zellulosefusseln sind für CO_2 Mikrobläschen die Geburtsstätte
- Wachstum durch CO_2 Eindiffusion, Ablösung von Flaschenwand, weiteres ↑ ↑
- 30 Vorgänge pro Sekunde (Bier 10)
- Nur < 0,001 sec stabil an Oberfläche

Unerwünschtes „low bubbling“ beim Champagner

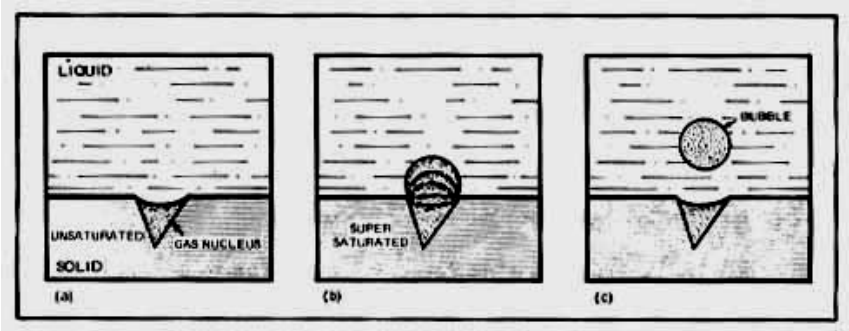
- Durch moderne Glasgeschirrspülmaschinen keine Fusseln mehr im Champagnerkelch.
- Ohne Fusseln keine CO_2-Bläschen.
- Lösung für erwünschtes „high bubbling“: Gespülte Kelche mit frischem Baumwolltuch nachträglich gezielt „befusseln“.

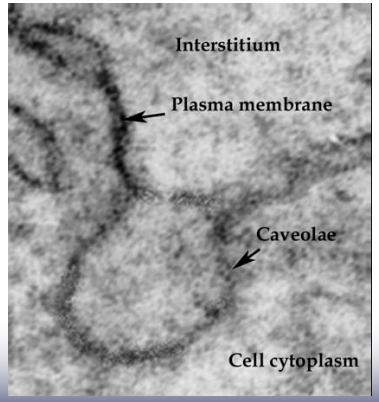
- Gasbläschen entstehen nicht einfach so.
- Physikalisch benötigen sie „Ursprungskerne“.

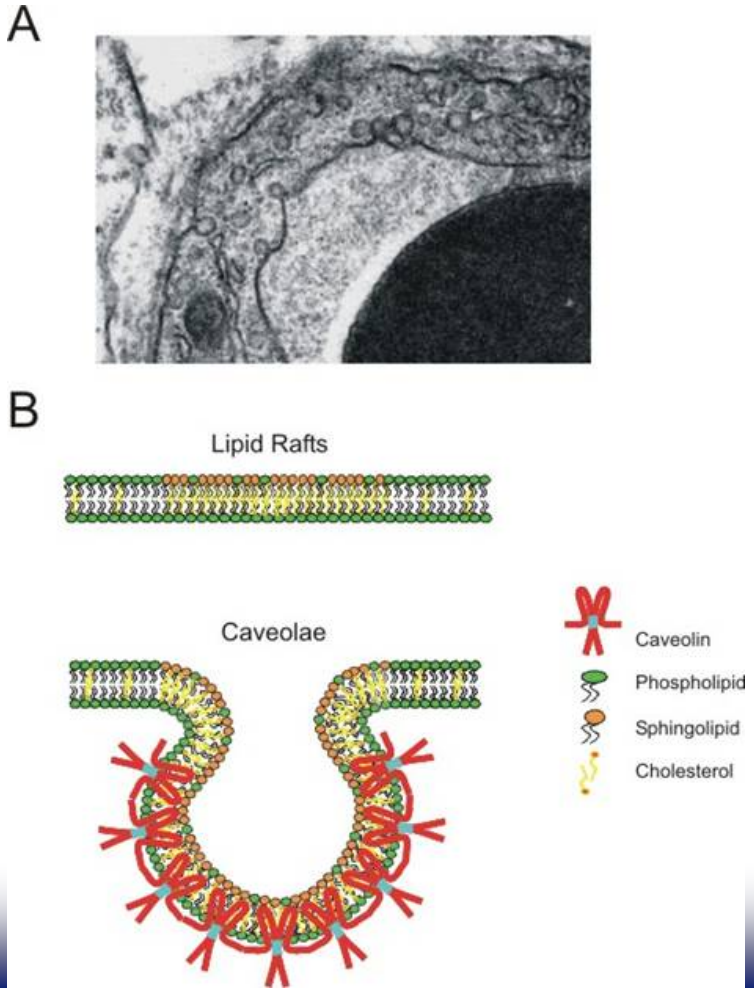
→ Wie sieht das im Körper des Tauchers aus ?

Nesthypothese für venöse Mikrogaskerne

1944 – “Alte Konzept” der Mikrogaskerne (McElroy & Harvey et al)







Diving Physiology Research

- J.S. Haldane 1906
  - Dekompression in Stufen
  - Minuten-Halbwertszeiten (5,10,20,40 & 75)
  - 2:1 Ratio

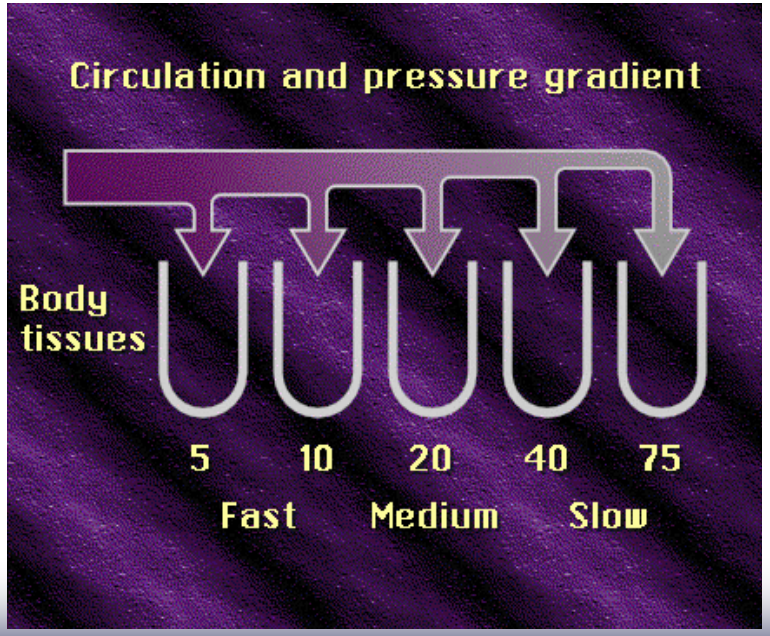


TABLE I.

g the Ascent of a Diver after ordinary
from Surface.

Time from Surface to beginning of Ascent.	Approximate Time to First Stop.	Stoppages in Minutes at d			
		60 Ft.	50 Ft.	40 Ft.	30 F
No limit	—	—	—	—	—
Over 3 hours	1	—	—	—	—
Up to 1 hour	—	—	—	—	—
1–3 hours	1½	—	—	—	—
Over 3 hours	1½	—	—	—	—
Up to 1 hour	—	—	—	—	—

Analyse des Dekompressions-Riskos

Bühlmann's mathematische Modelle und Limite
(auch anwendbar auf Höhentauchen)

ZH-L16

16 Körperkompartimente unterschiedlicher Halbwertszeiten

Model A ⇨ Theoretische Grundlage

Model B ⇨ Tauchtabellen

Model C ⇨ ***Tauchcomputer*** *(i.d.R. konservativ)*

Dekompressions-Algorithmen

deterministisch
(Bestimmbarkeit)

propabalistisch
(Wahrscheinlichkeit)

Exposition ?

Risiko ?

GF
Gradienten Faktoren
„Gradient Factor“

&

M-Werte
„M-Value“

.... unerlässlich für Tauchcomputer Softwaredesign und Anwendereinstellungen

M-Werte „platt“ erklärt

- Maximal zulässiger Wert für Intergas-Überdruck (Gewebe)
- Bei 2 Inertgasen (z.B. N_2 / He) „Mittelwertbildung“
- M-Wert theoretisches Gewebe immer ↑ als Umgebungsdruck
- Bei Dekompression Ausgasen von M-Wert zu M-Wert
- M-Werte ↑ → DCI ↑ ↑ / M-Werte ↓ → DCI sehr selten
- Vorsicht! Mathematik versus individuelle Faktoren!!

GF „platt“ erklärt

- M-Werte dürfen also nicht „ausgereizt“ werden
- GF = 1 → exakter M-Wert
- GF = 0 → theoretisches Gewebe auf Umgebungsdruck
- Basis zumeist Bühlmann ZH L-16 Limite
- „Koordination der Limite“ – Dekompression z. B. von GF 0,3 (aus Tiefe) auf 0,8 (auf Sicherheitsstopp)
- Werkseinstellung Tauchcomputer oft **30/80**

GF (Baker EC, 1998)

– **GF $_{\text{Low}}$**

M-Wert in % des führenden Gewebekompartiments, das den ersten (tiefsten) Stopp bestimmt

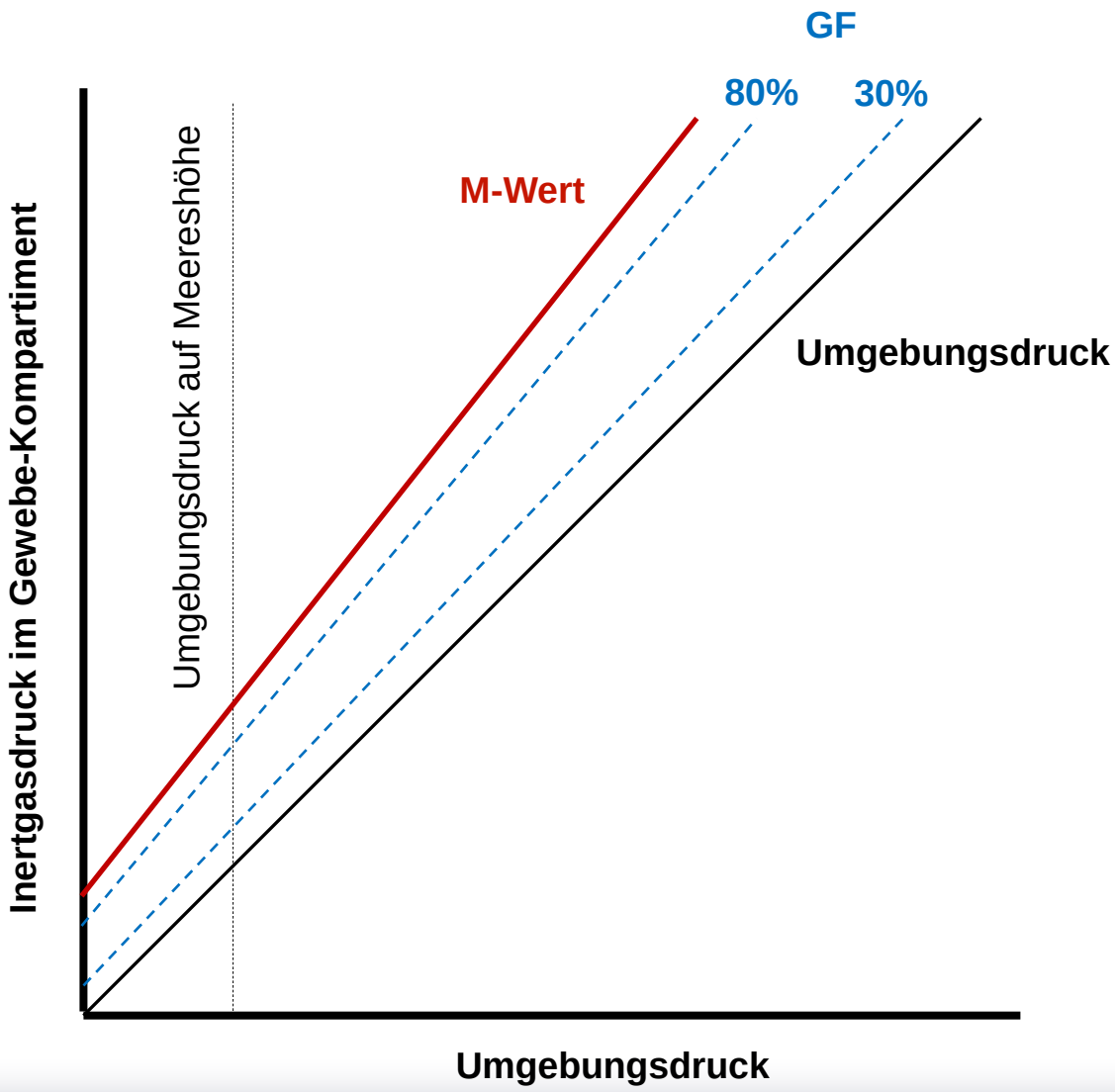
– **GF $_{\text{High}}$**

M-Wert in % des führenden Gewebekompartiments, während Aufstieg und Dekompression

Baker EC. Understanding M-Values. Immersed 3, No. 3, 1998.

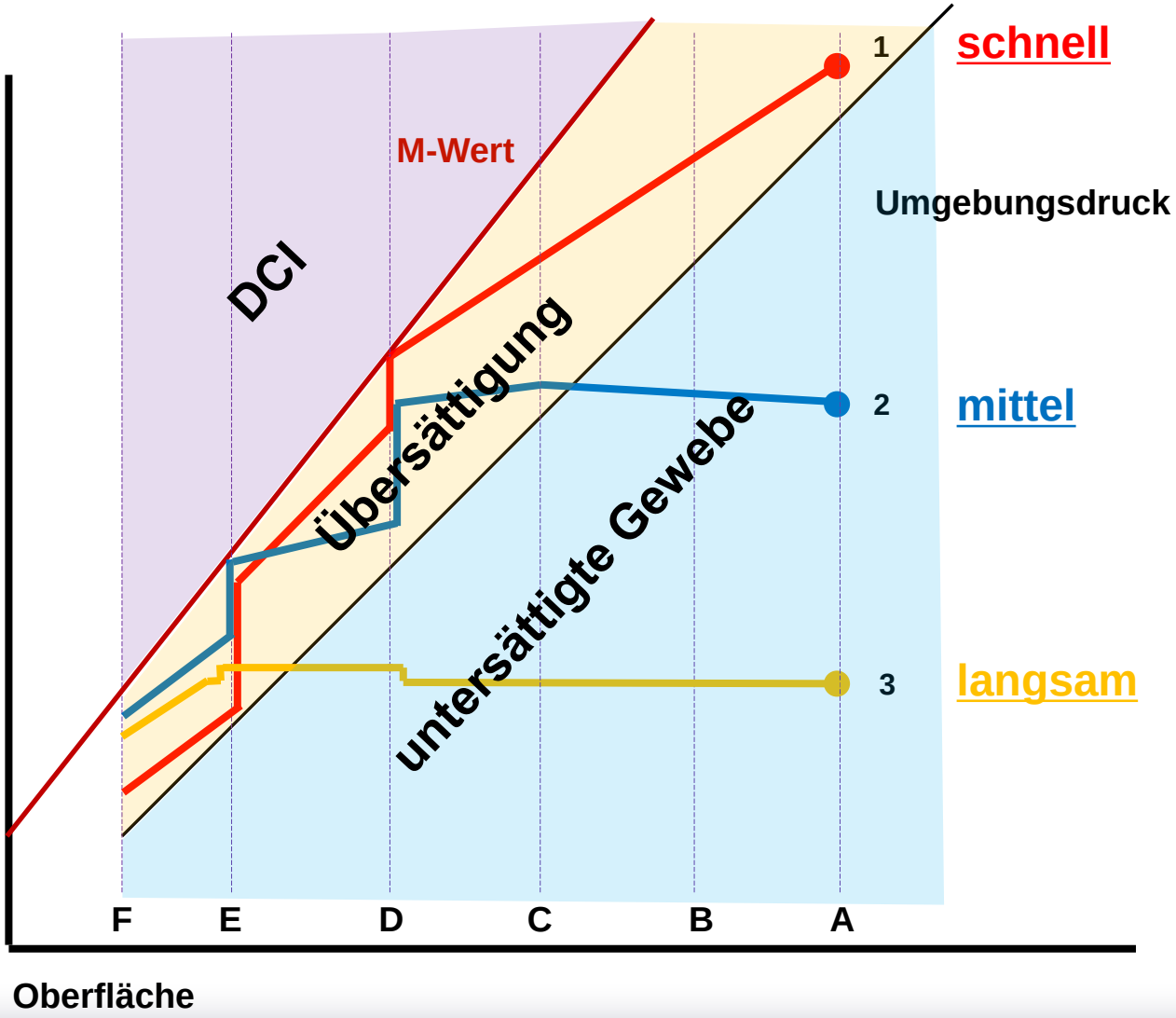
GF Einstellungen TC

30 / 70	konservativ für „empfindliche“ Taucher
30 / 80	oft Standardeinstellung
25 / 85	mittlere Einstellung
15 / 90	sehr aggressive Einstellung
10 / 100	Russisch-Roulette am Bühlmann-Limit

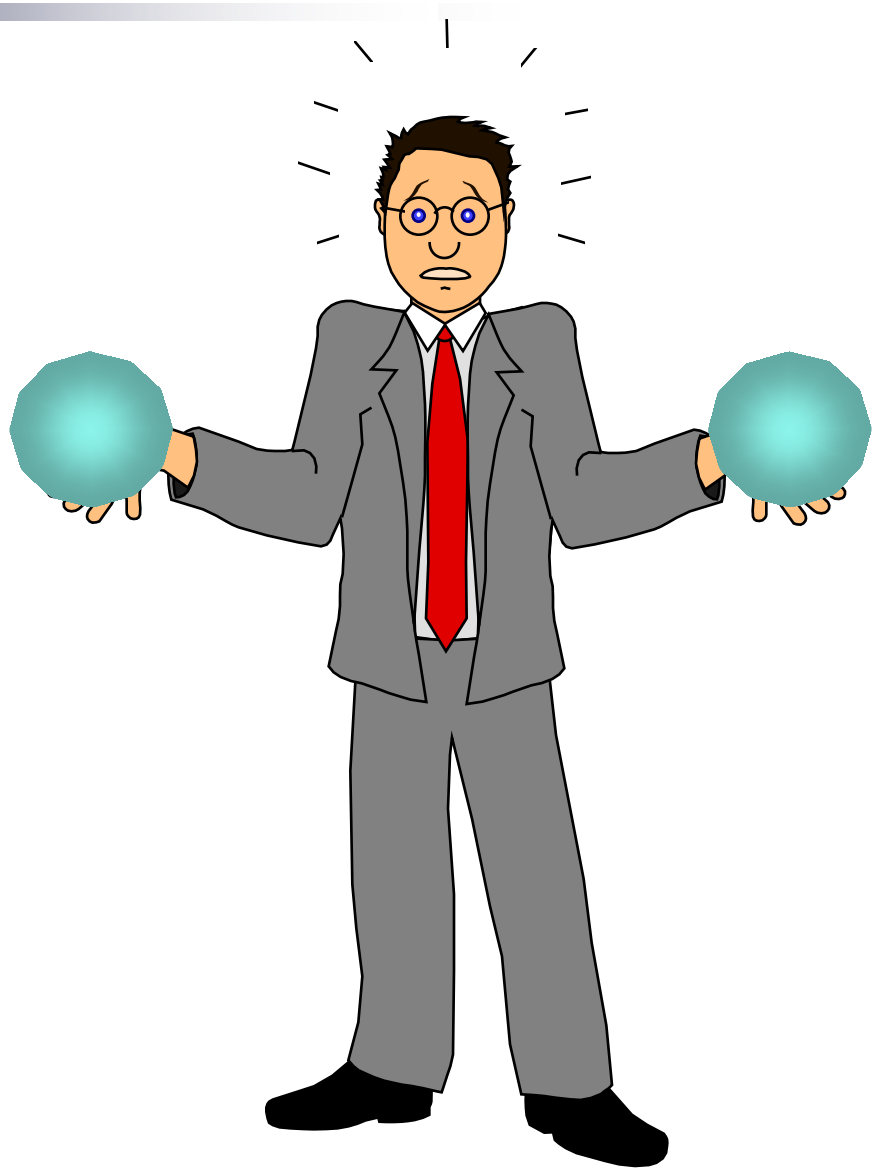


Nach: M. Powell – Deco for Divers – Ed North Eastern Divers

Beispiel mit 3 Kompartimenten



Viele Fragen



- Woher kommen die Bläschen ?
- Kommt es auf die Menge an ?
- Produzieren manche Taucher deutlich mehr, andere deutlich weniger Bläschen ?

- Oder ist es das körpereigene Abwehrsystem ?
- Kommen manche Taucher deutlich besser, andere deutlich schlechter mit Bläschen klar ?
- Ist es vielleicht wie bei einer Allergie ?

- Warum trifft es in deutlich über 50% Sporttaucher ohne Verstoß gegen etablierte Dekompressionsregeln ?

- Warum trifft es Taucher ab 40 Jahren + plötzlich bei Tauchprofilen, die sie zuvor jahrelang ohne Probleme toleriert haben ?

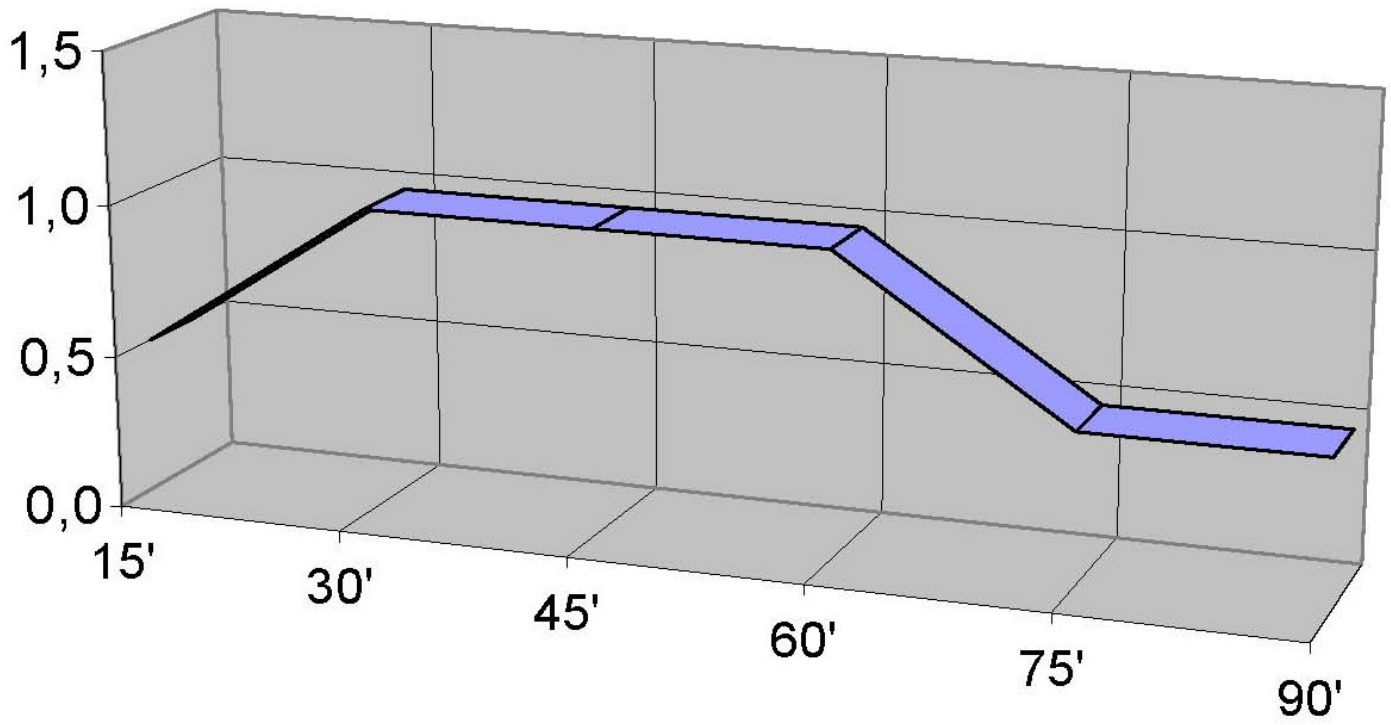
- Frauen vermutlich häufiger als Männer ?

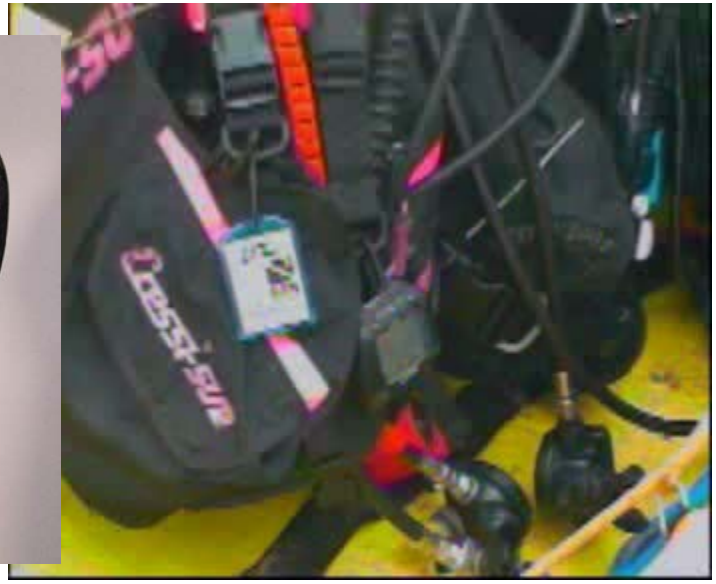
DAN Europe Strategie zur Beantwortung

→ Feldforschung !

Doppler-Aufzeichnung
Oxford Instruments 3,5 MHz Kopf
auf MP3 Rekorder

Die “Bläschen-Welle” nach dem Tauchgang





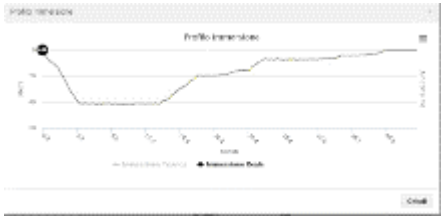
1995 bis 2016 über **40.000**
parallel aufgezeichnete
und ausgewertete Sporttaucher-Tauchgänge

DAN Europe DSL Datenbank (10/2016)

39.944 Tauchgänge
82% Männer
18 % Frauen

Tauchtiefe Minimum 5 m
Tauchtiefe Maximum 192 m

Tauchtiefe ⌀ 28,56 m (+/- 13,75 m)

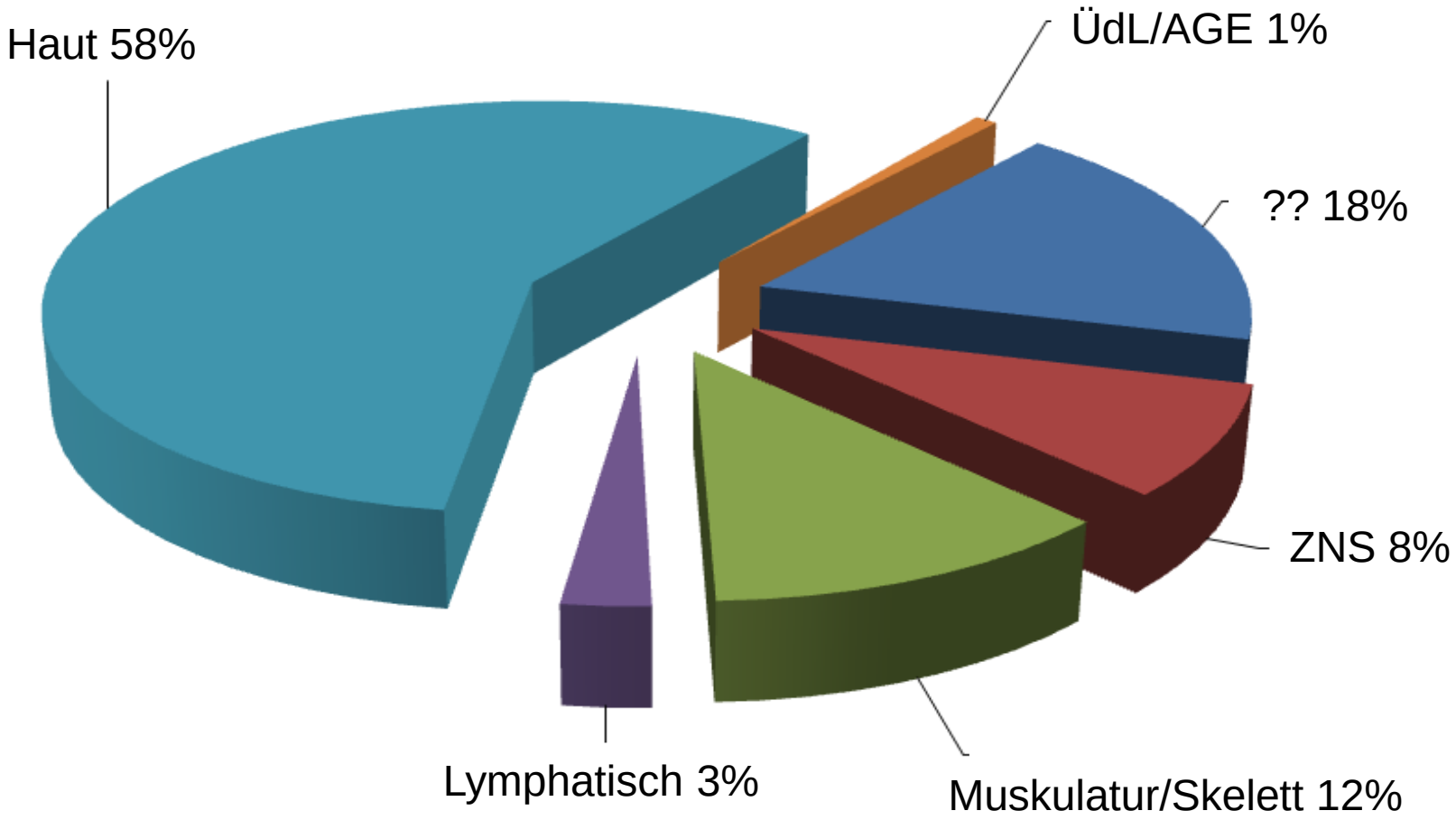


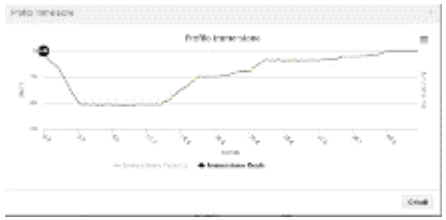
DAN Europe DSL Forschung

Untersuchung von 327 Online aufgezeichneten DCI Fällen aus der Datenbank des DAN Europe Diving Safety Laboratory gegenüber 39.099 unauffälligen Tauchgängen.

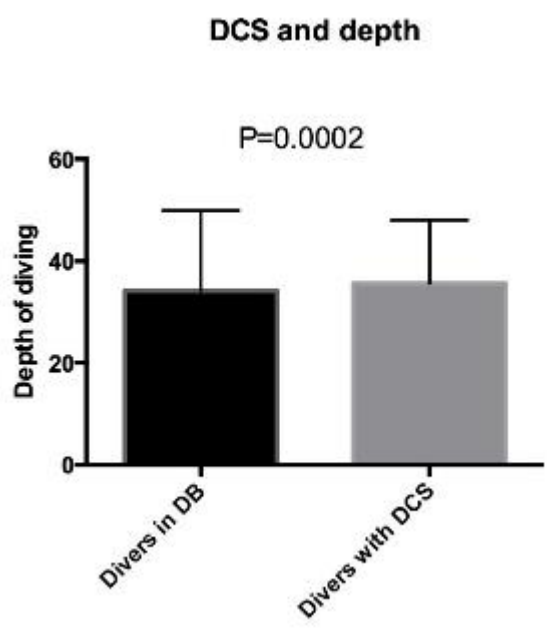
(206 Männer / 121 Frauen)

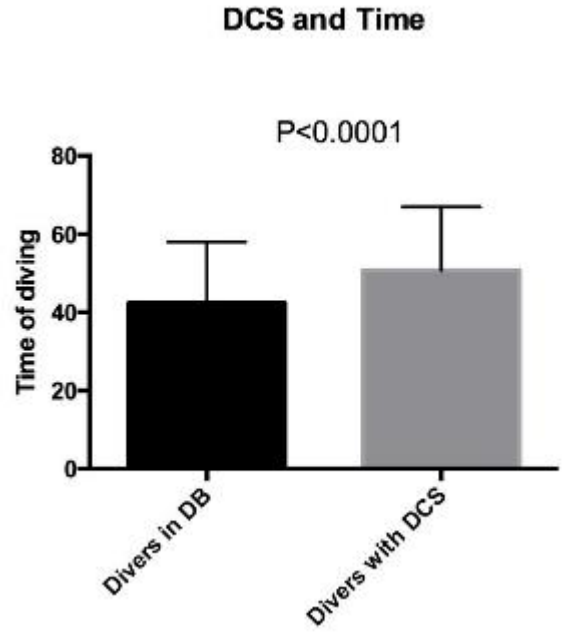
DCI Verteilung DAN Europe Datenbank

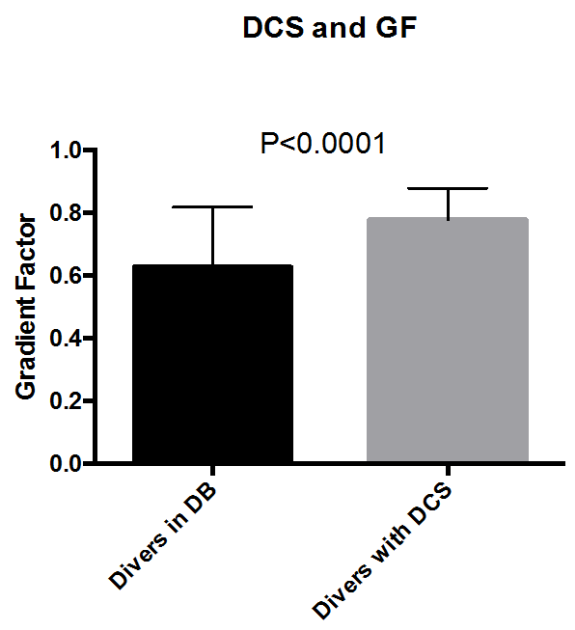


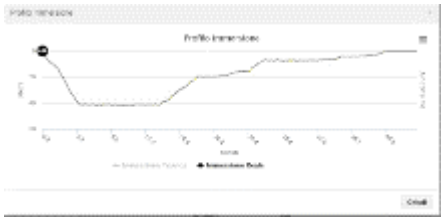


Signifikante Unterschiede zwischen nicht verunfallten und verunfallten Tauchern bei Tauchtiefe, Tauchzeit und GF



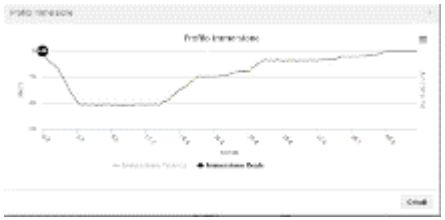




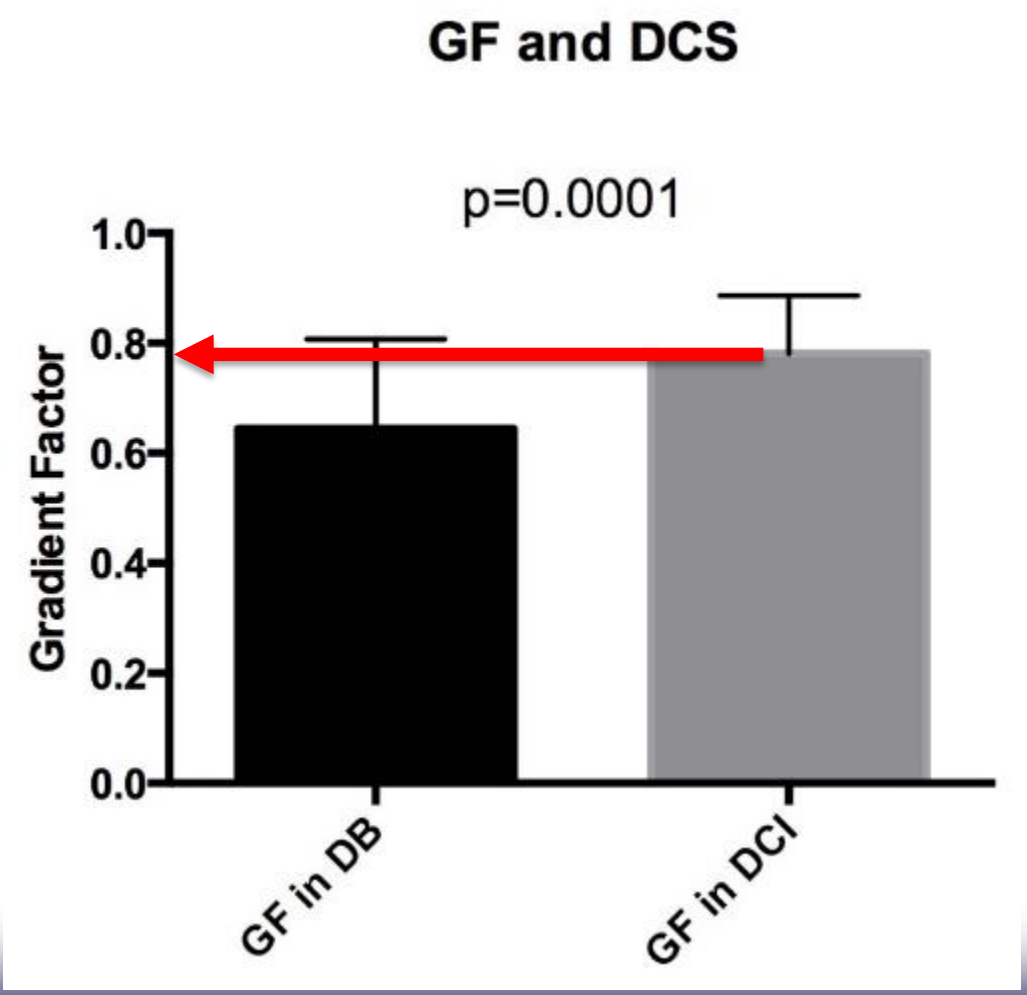


Ergebnisse GF (327 Fälle)

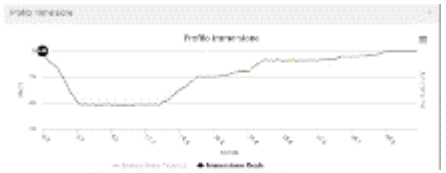
- **8 (2%) GF > 1,0**
- 14 (4%) GF > 0,90
- 236 (77%) GF > 0,70 < 0,90
- 46 (15%) GF < 0,70
- 10 (3%) GF < 0,60
- 13 GF (4%) GF < 0,50

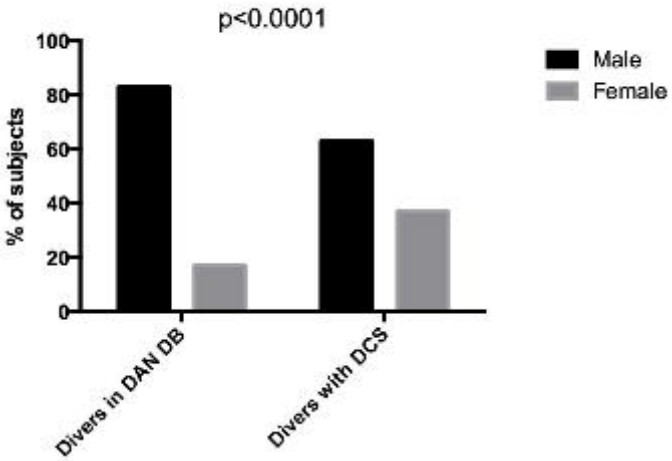


Ergebnisse GF (327 Fälle)



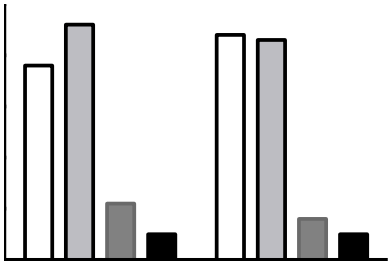
95% innerhalb “perfekt tolerabler” Übersättigungs-Limits (bezogen auf derzeit gültige Algorithmen).

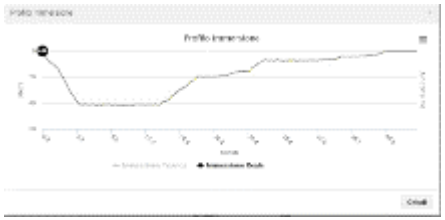




Ergebnisse GF

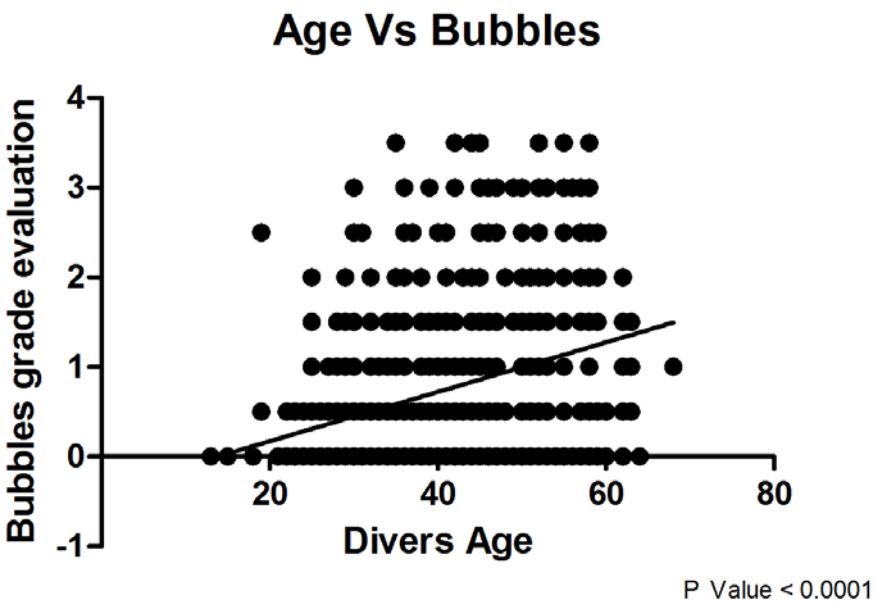
Frauen ↑ betroffen,
bei gleichem Bläschengrad

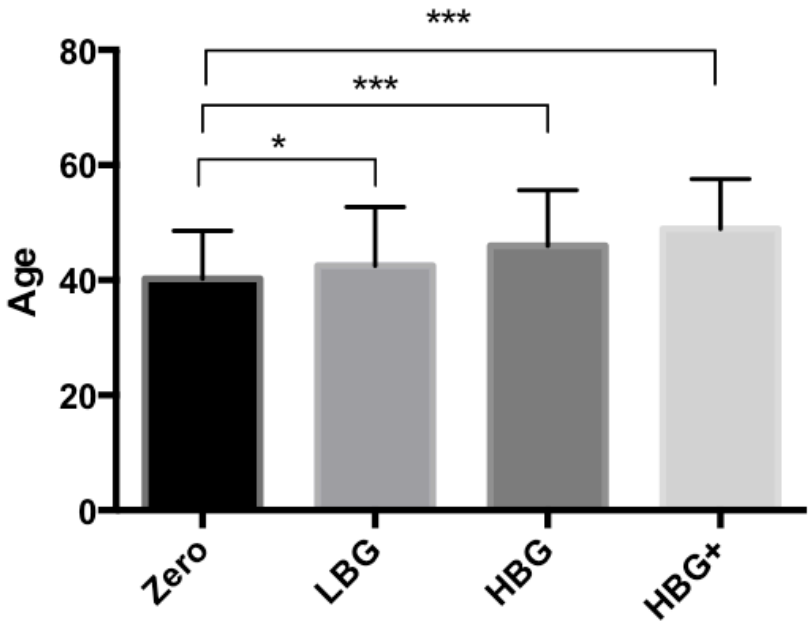


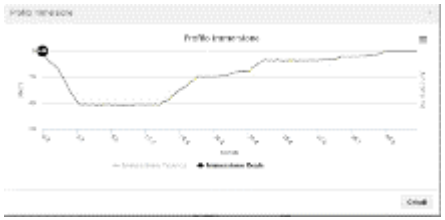


Ergebnisse GF

Anstieg Bläschengrade mit Lebensalter





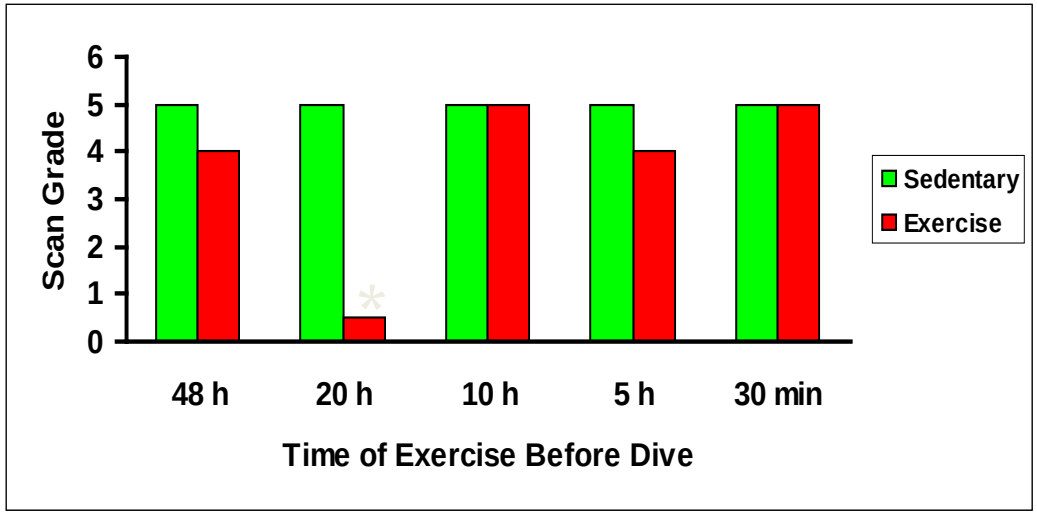


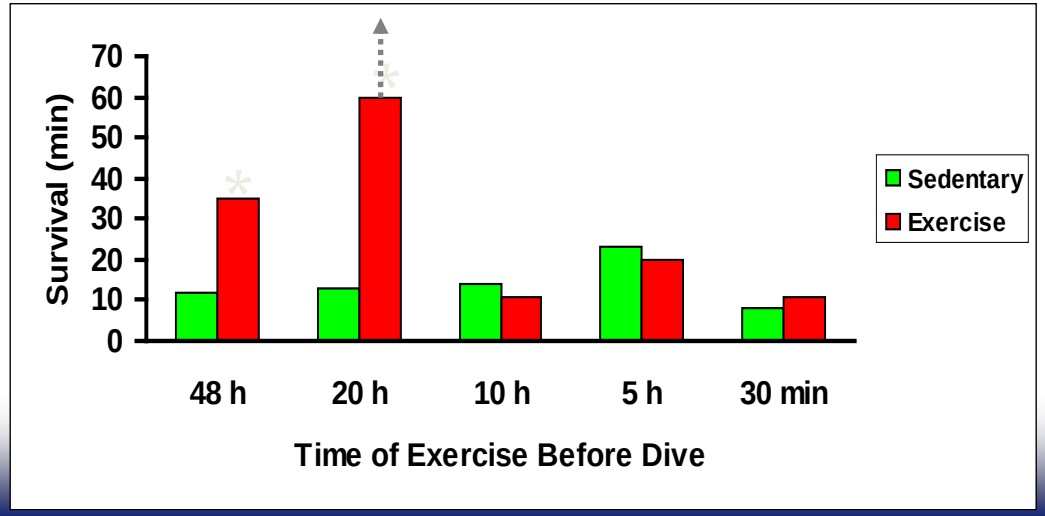
Antworten aus der Feldforschung:

- Unterhalb des M-Werts 1,0 gibt es eine erhebliche Grauzone der Unsicherheit
- Bislang als perfekt tolerierbar eingeschätzte Tauchprofile sind betroffen
- Frauen scheinen gefährdeter zu sein als Männer
- Ältere scheinen gefährdeter zu sein als Jüngere

Körperliche Belastung vor dem Tauchen

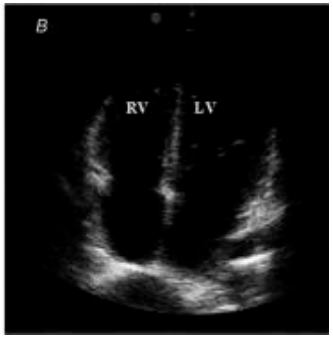
Wisloff & Brubakk 2001: Rattenversuch 20 h vor Tauchgang (60 m/45 min Luft)



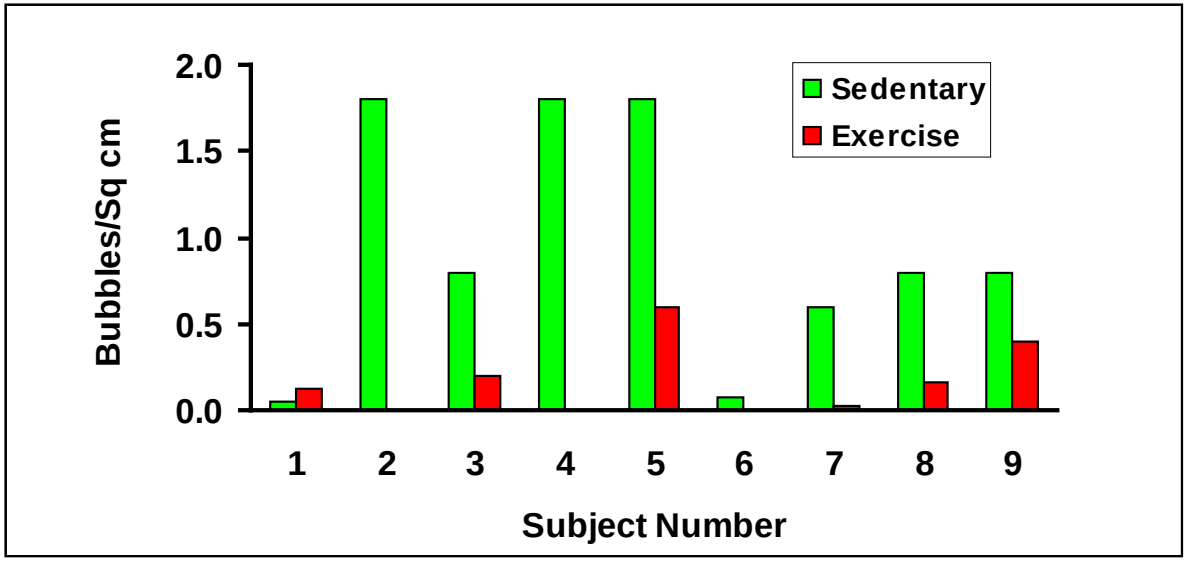


Dujić 2004: Körperliche Belastung 24 h vor Tauchgang (18 m/80 min Luft) (Druckkammer)

No pre-dive exercise



Exhausting exercise 24 h pre-dive



Vibration vor dem Tauchen

massage professional

Pre-Dive Vibration Effect on Bubble Formation After a 30-m Dive Requiring a Decompression Stop

Peter Germonpré, Jean-Michel Pontier, Emmanuel Gempp, Jean-Eric Blatteau, Stefaan Deneweth, Pierre Lafère, Alessandro Marroni, and Costantino Balestra

Germonpre P, Pontier J-M, Gempp E, Blatteau J-E, Deneweth S, Lafere P, Marroni A, Balestra C. *Pre-dive vibration effect on bubble formation after a 30-m dive requiring a decompression stop.* **Aviat Space Environ Med 2010; 81: xx-xx.**

Introduction: The preconditioning of divers to reduce post-dive decompression sickness (DCS) has gained increased interest in diving medical research over the last few years. The beneficial effects of physical exercise, oxygen breathing, hyperbaric exposure, heat exposure, hyperhydration, or nitroglycerin administration before the dive are only a few examples of ongoing research. In this work, we investigated the effects of pre-dive whole-body vibration on post-dive bubble formation. ***Methods:*** Following French Navy standard dive procedures, 14 healthy male military divers performed 2 identical dives 1 wk apart to 30 m of seawater (msw) for 30 min. One of the dives was randomly preceded by a 30-min whole-body vibration session (frequencies 35-40 Hz), 1 h before the dive. Post-dive bubbles were measured precordially 30, 60, and 90 min after the dive and were graded according to the Kissman Integrated Severity Score (KISS) protocol, with and without knee flexing. Arterial endothelial function was measured before and after vibration using flow mediated dilation (FMD) measurement. ***Results:*** A significant reduction in bubble scores was observed after the "vibration" dive. ***Conclusion:*** As there was no observed change in FMD after vibration, we do not believe a nitric oxide mediated mechanism is involved; rather, a mechanical dislodgement or enhanced lymphatic elimination of gas nuclei is hypothesized.

Keywords: scuba diving, decompression sickness prevention, bubble formation, whole-body vibration.

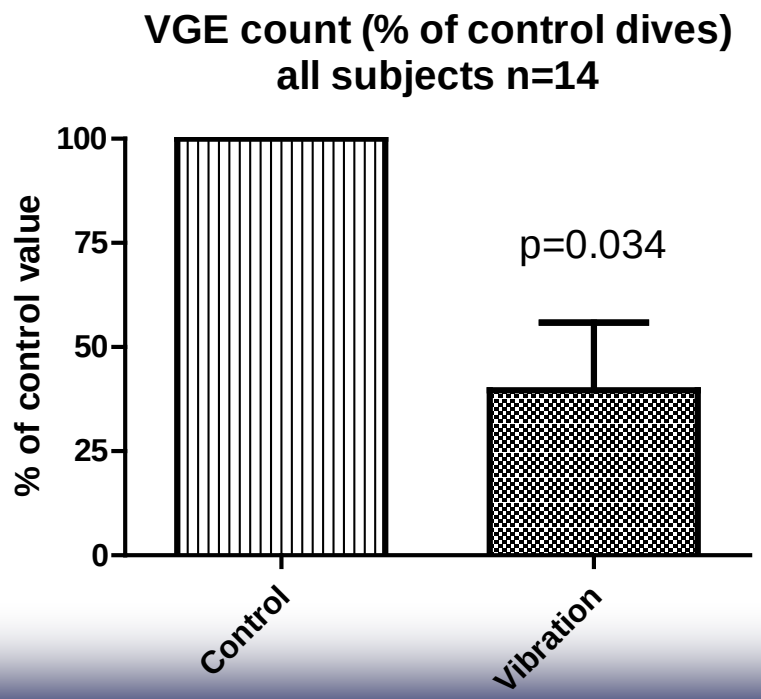
beneficial effects of pre-dive exercise (5,14), oxygen breathing (9), pre-dive hyperbaric sessions (19,24), heat preconditioning (6), hydration (15), and nitric oxide (NO) donor administration (13). Most of these experiments try to influence bubble formation by modifying biophysical or chemical properties of the endothelial surface, on which gas bubbles or nuclei are presumed to be forming. In this paper, we report the possibility of reducing post-dive bubble formation by a short bout of mechanical low-frequency vibrations of the whole body 1 h before the dive.

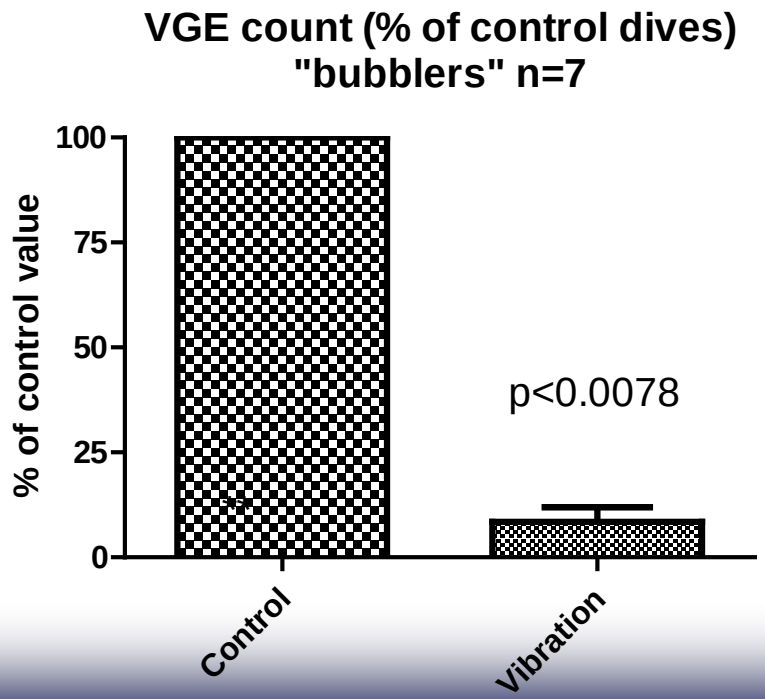
METHODS

The study protocol was approved by the Academic Ethical Committee of the Brussels Free University and by the French Navy Experimental Ethical Committee. After consent, 14 healthy male military divers (age range: 23-44, mean 29 yr, height: 177 ± 6 cm, weight: 79.44 ± 10.7 kg) participated in this prospective study. All divers were in good health, did not take any medication, and had never suffered from DCS. They performed

Wirkmechanismus ?

Mechanisches “Ausschütteln” von Bläschenkernen aus den venösen Gefäßen mit erhöhter Lymphdrainage ?

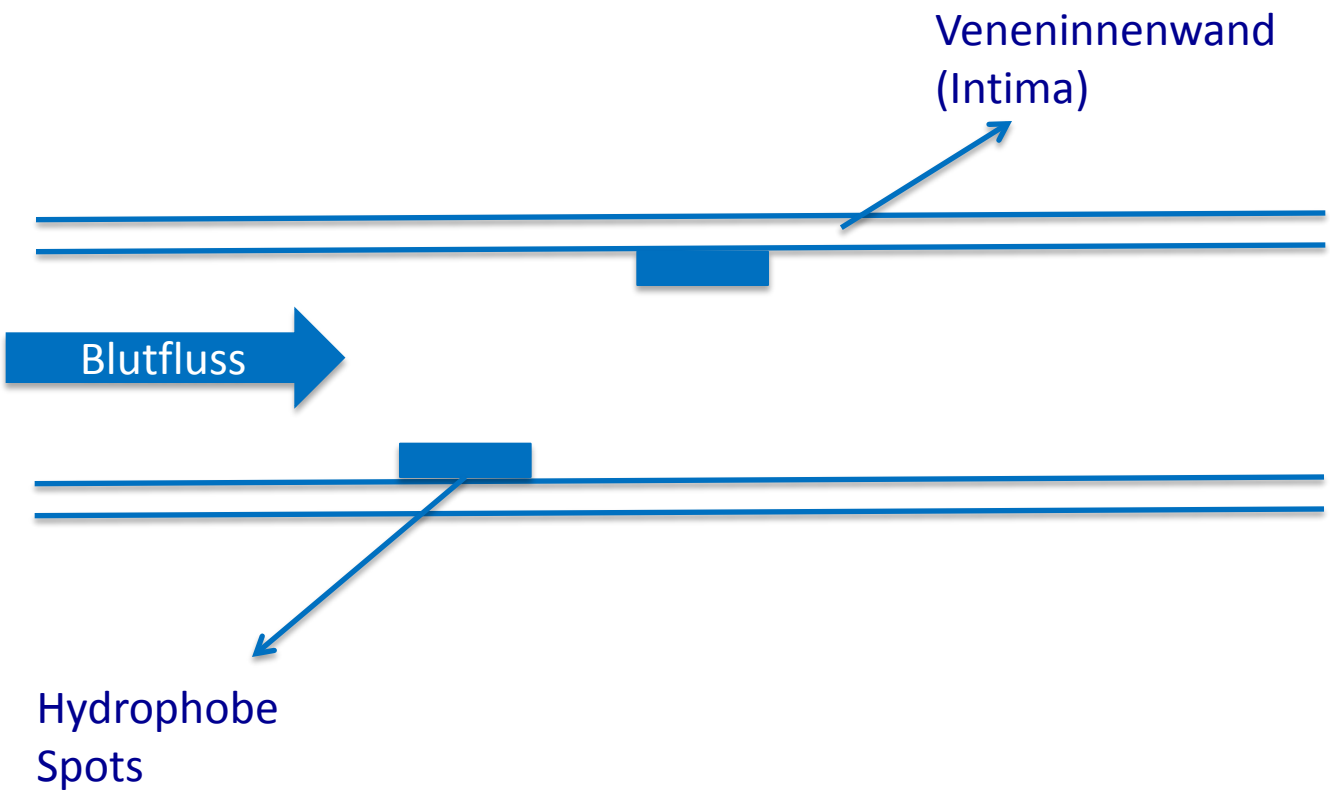




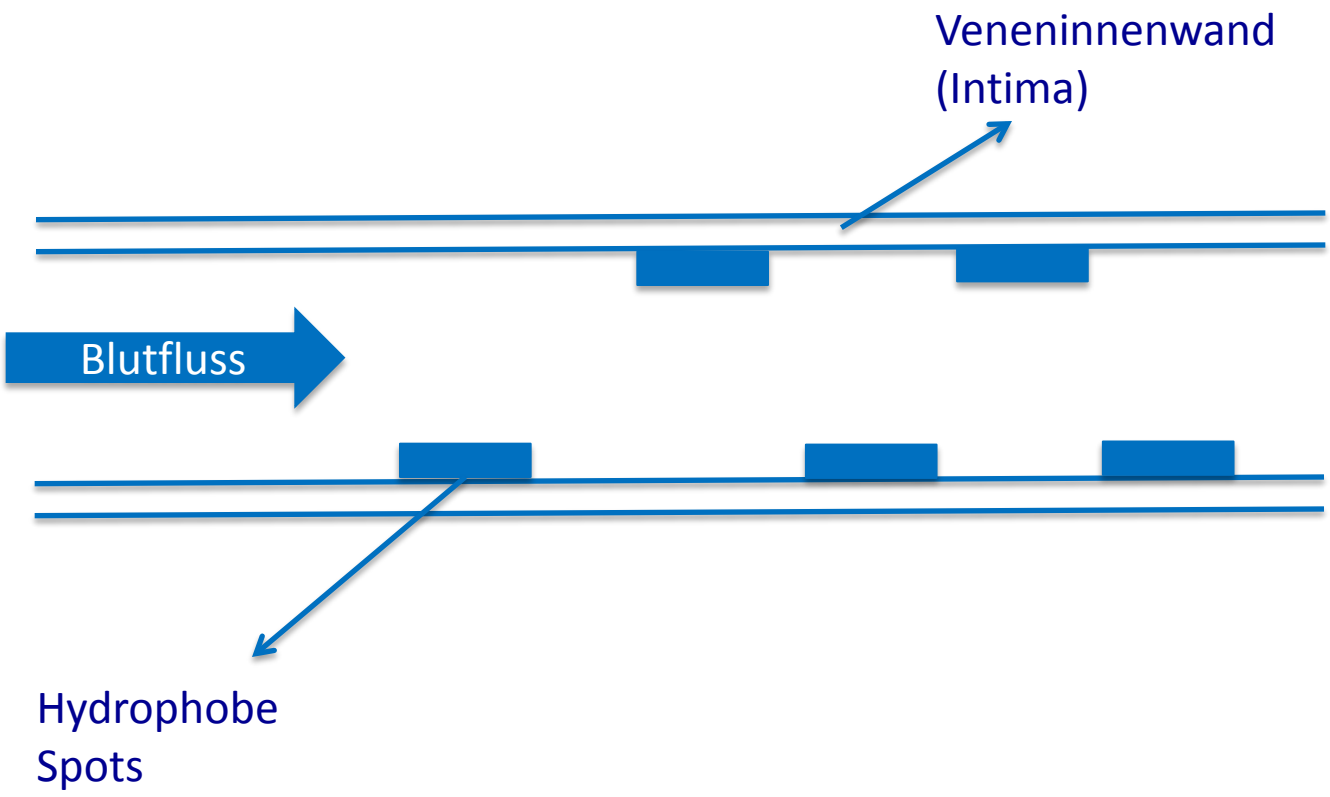
Neue Überlegungen zur Gefäßwand

Hydrophobie
Stickstoffmonoxid (NO)
Genetische Disposition

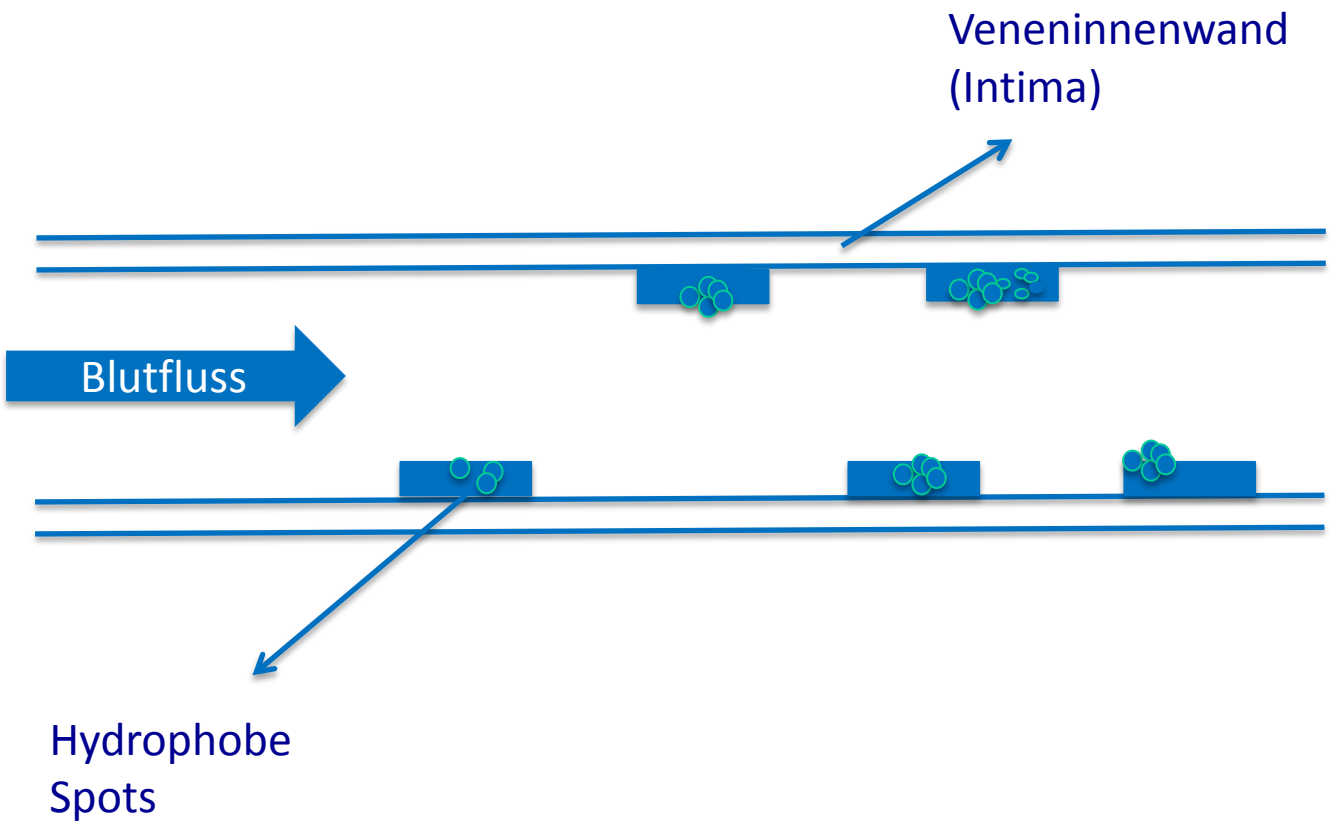
Hydrophobe Oberflächen in Venen



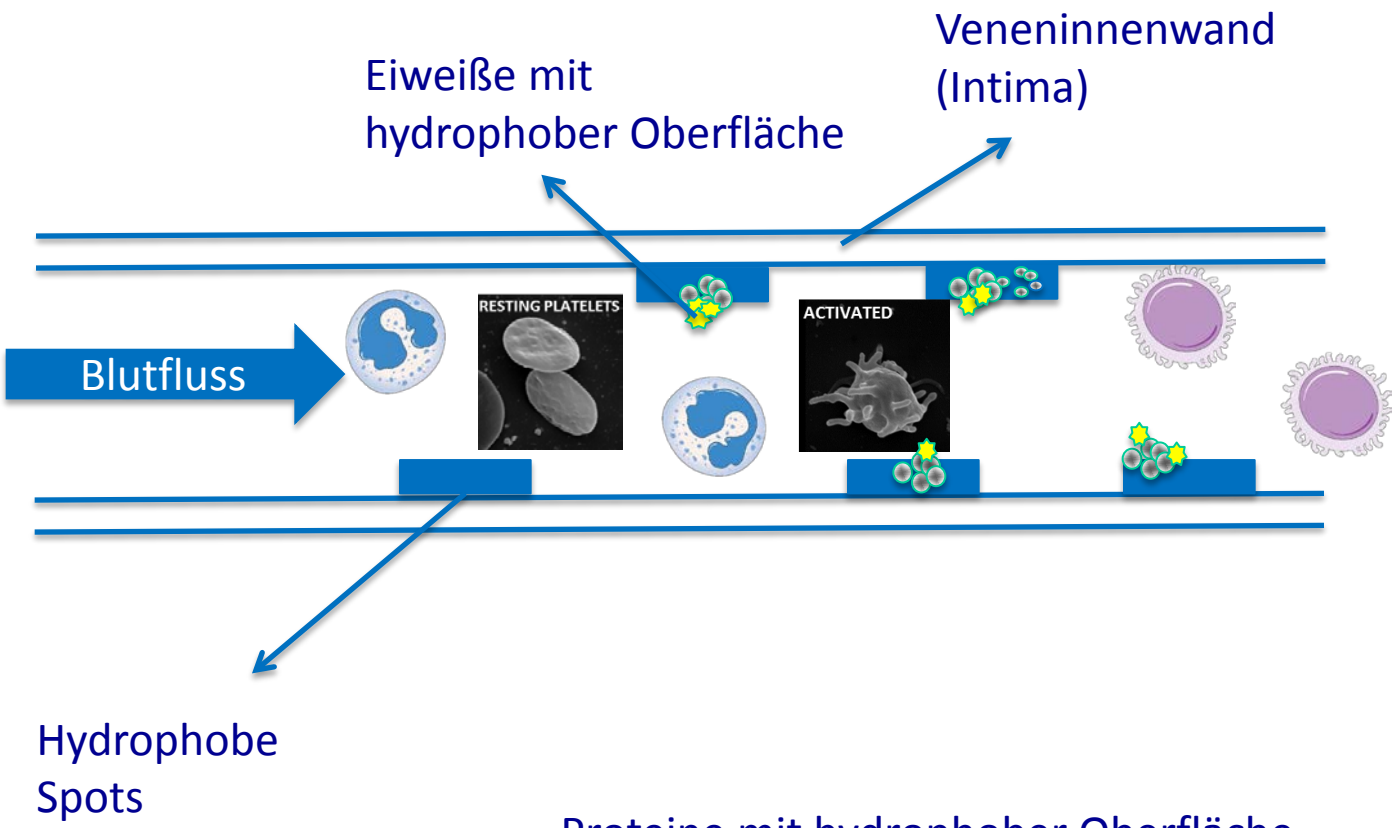
Zunahme mit dem Lebensalter



Hydrophobe Bereiche = Mikrokerne (Nano-Bubbles)



Thrombozyten, Erythrozytenaktivierung → Immunantwort



Proteine mit hydrophober Oberfläche triggern Immunreaktionen und könnten Autoimmunreaktionen unterstützen

Neue Überlegungen zur Gefäßwand

Hydrophobie

Stickstoffmonoxid (NO)

Genetische Disposition

„Januskopf“ O_2 für Taucher:

Protektion versus oxydativer Stress
oder „Leben“ versus „Gift“

- NO-vermittelter Schutz vor Mikrogasbläschen-Bildung.
- Aktivität NO-Synthase (eNOS) ↑↑ 45 min nach körperlicher Belastung.
- NO-Gabe (Tierversuch) vor dem Tauchen reduziert Mikrogasbläschen-Bildung.

1. Durch Tauchen entstehen nicht nur Mikrogas-bläschen, sondern auch Veränderungen der Gefäßwand (-funktion).

2. Ursache sind oxydative Prozesse, die möglicher-weise ein Gesundheitsrisiko bedeuten könnten.

3. Ob es eine Beziehung zwischen Mikrogasbläs-chen und oxydativem Stress gibt, bleibt unklar.

4. Mikrogasbläschen entstehen in den Gefäßen an Grenzflächen, hydrophoben Oberflächen, Mikro-spalten und Mikropartikeln (gültige Hypothese).

5. Veränderungen der Funktion der Gefäßinnenwand durch das Tauchen werden mit Stickstoffmonoxyd (NO) in Verbindung gebracht.

6. Guter Fitnesszustand ist ein zuverlässiger Schutz.

7. Im Tierversuch konnte durch “Sport“ 20 h vor dem Tauchen eine sichere Präkonditionierung nach-gewiesen werden.

8. Auch beim Menschen wird das heute postuliert. Erste Studien zeigen eine Überlegenheit der Laufbandbelastung gegenüber „Spinning“.

9. Vibration als Präkonditionierung!

High vs. Low (Non-) Bubblers

- Genetische Disposition / Medikamente ?
- (Alters-assoziierte) (Immun-) Erkrankungen, Allergieentwicklungen, individuelle Abwehr
- Geschlechts- und Altersabhängigkeit
- Prädisposition Gefäßendothel (CO, Hydrophilie)
- Elimination von Mikro-Bläschenkernen (Präkonditionierung)

Tauchmedizinische Sicherheit 2017 wird nicht nur mathematisch definiert, sondern auch über: Wahrnehmung und Anpassung

- Erhebliche individuelle Varianzen
- Wechselnde intraindividuelle Varianzen
- Änderungen mit zunehmendem Lebensalter
- Allgemeine Gesundheit und Lebensstil

Tauchmedizinische Sicherheit ↑↑ 2017

Verminderung Bläschenlast & -effekte

- Tauchprofil-Optimierung
  - ***Reduktion Inert Gas Supersaturation***
  - ***O_2 Enriched Atemgas***
- Risikofaktor-Minimierung
  - ***Körperliche Fitness aufrecht erhalten***
  - ***Flüssigkeitsmangel vermeiden***
- Präkonditionierung
  - ***Bewegung vor dem Tauchen***
  - ***Vibration vor dem Tauchen***

DAN
DIVERS ALERT NETWORK EUROPE

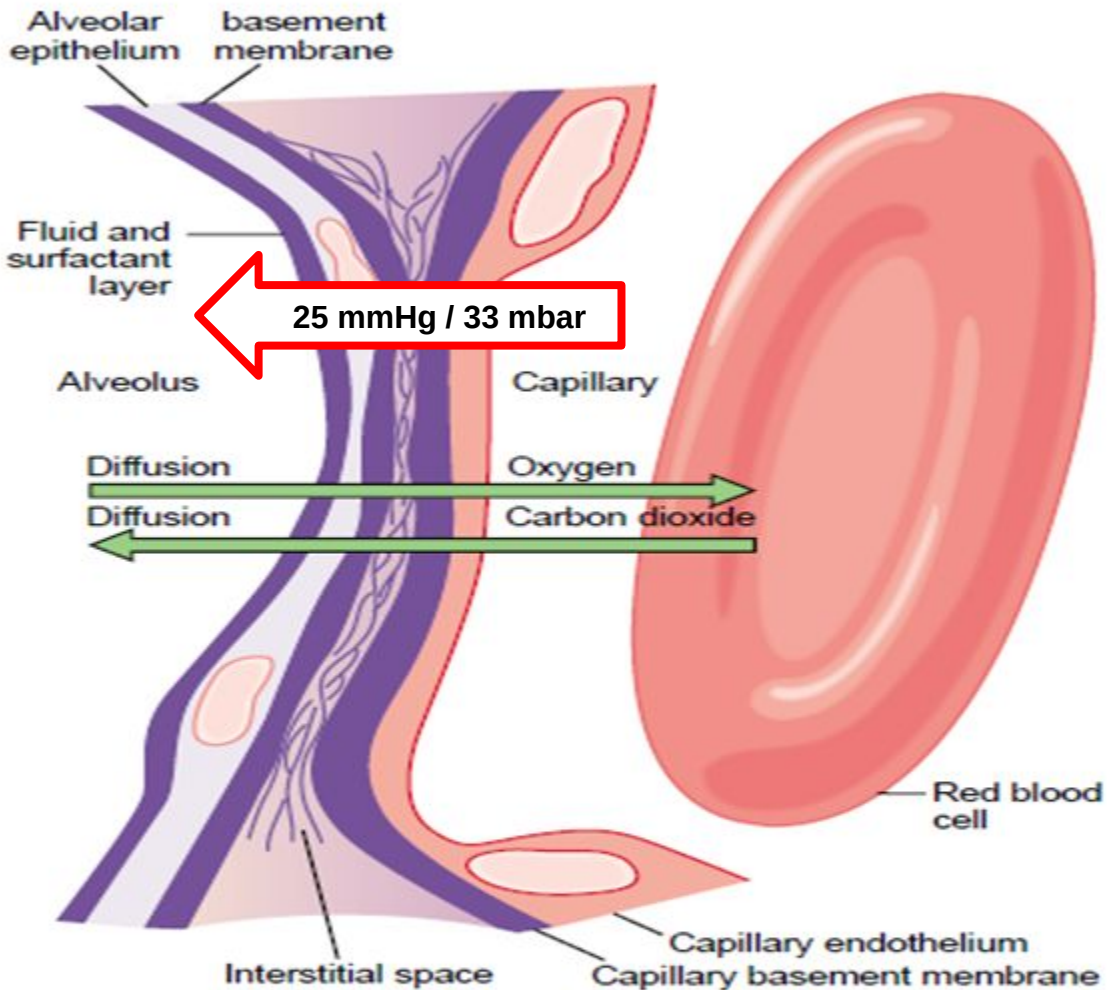
Taucher- und Schwimmerlungenödem
Lange nicht ernst genommen
oder
„die dünnste Membran“

Dr. Ulrich van Laak

DAN Europe National Director
für Deutschland und Österreich

Alveolarmembran

bis zu 0,1 Mikrometer (µm) dünn (0,0001 mm)



Kreislaufaktive Faktoren bei Immersion

- **Schnorcheln**, Körper 30 cm unter Wasser.

↓

- Lungenkapillardruck↑ 5 → **~27 mmHg**.

↓

- → Blutpooling in der Lunge.

→ cave: - Schnorchel ↑
- Widerstand Atemregler ↑

Alveolarmembran
weitere Daten

- Kontaktzeit für Gasaustausch < 0,5 sec
- Kontaktfläche 50 bis 100 m^2 (Tennisplatz)
- minimale Stärke 0,1 bis 1 µm
- Leckagen ab **P** ca. 25 mmHg / 33 mbar

Besonderheiten bei Immersion & Submersion

Besonderheiten bei Immersion & Submersion

Gefahren Herz-Kreislaufsystem

- **Preload** ↑↑ (Herz-Vorlast-Erhöhung) durch Immersionseffekte.
- **Afterload** ↑↑ (Herz-Nachlast-Erhöhung) durch Vasokonstriktion (Kälte Haut).
- Auswirkungen des „Tauchreflexes“ (Auslösung von **Rhythmusstörungen**).
- Mobilisierung von Leistungsreserven (physischer und psychischer Stress).

Aber auch: Risiko **akutes** Lungenödem

- Bei Position stehend oder schwimmend,
- Kopf aus dem Wasser,
- manifeste Herzinsuffizienz,
- LV Ejektionsfraktion < 50%,
- LVEDD > 60 mm.

→ bekanntes Problem in der Herz-Reha

→ Bade- bzw. Schwimmverbot!!

Lungenödem beim Apnoetauchen

Klinisches Bild:

- Blutiger Auswurf
- Husten
- Brustkorbenge
- Akutes Lungenödem (brodelnde Atmung)

immer einhergehend mit Atmungsproblemen

Chest Sonography Detects Lung Water Accumulation in Healthy Elite Apnea Divers

Francesca Frassi, MD, Alessandro Pingitore, MD, Danilo Cialoni, MD, and Eugenio Picano, MD, PhD, *Pisa, Italy*

Background: Ultrasound lung comets (ULCs) detected by chest sonography are a simple, noninvasive, semiquantitative sign of increased extravascular lung water. Pulmonary edema may occur in elite apnea divers, possibly triggered by centralization of blood flow from the periphery to pulmonary vessels. We assessed the prevalence of ULCs in top-level breath-hold divers after immersion.

Methods: We evaluated 31 consecutive healthy, top-level, breath-hold divers (10 female, 21 male; age 31 ± 5 years) participating in a yearly international apnea diving contest in Sharm-el-Sheik, Egypt, November 1 to 3, 2007. We performed chest and cardiac sonography with a transthoracic probe (2.5-3.5 MHz, Esaote Mylab) in all divers, both on the day before and 10 ± 9 minutes after immersion. In a subset of 4 divers, chest scan was also repeated at 24 hours after immersion. ULCs were evaluated on the anterior and posterior chest at 61 predefined scanning sites. An independent sonographer, blind to both patient identity and status (pre- or post-diving), scored ULCs.

Results: Diving depth ranged from 31 to 112 m. Duration of immersion ranged from 120 to 225 seconds. The ULC score was 0.5 ± 1.5 at baseline and 13 ± 21 after diving ($P = .012$). At individual patient analysis, ULCs appeared in 14 athletes (45%) after diving. Of these 14 athletes, 4 were asymptomatic, 6 showed aspecific symptoms with transient loss of motor control ("Samba"), 2 had palpitations with frequent premature ventricular contractions, and 2 had persistent cough with hemoptysis and pulmonary crackles. In a subset of 4 athletes with post-diving ULCs in whom late follow-up study also was available, chest sonography findings fully normalized at 24 hours of follow-up.

Conclusion: In top-level breath-hold divers, chest sonography frequently reveals an increased number of ULCs after immersion, indicating a relatively high prevalence of (often subclinical) reversible extravascular lung water accumulation. (J Am Soc Echocardiogr 2008;21:1150-1155.)

Keywords: Acute respiratory distress syndrome, Apnea, Diving, Ultrasound lung comets

Eur J Appl Physiol (2011) 111:707–713
DOI 10.1007/s00421-010-1697-y

ORIGINAL ARTICLE

Ultrasound lung "comets" increase after breath-hold diving

Kate Lambrechts · Peter Germonpré · Brian Charbel · Danilo Cialoni · Patrick Musimu · Nicola Sponsiello · Alessandro Marroni · Frédéric Pastouret · Costantino Balestra

Accepted: 11 October 2010 / Published online: 23 October 2010
© Springer-Verlag 2010

Abstract The purpose of the study was to analyze the ultrasound lung comets (ULCs) variation, which are a sign of extra-vascular lung water. Forty-two healthy individuals performed breath-hold diving in different conditions: dynamic surface apnea; deep variable-weight apnea and shallow, face immersed without effort (static maximal and non-maximal). The number of ULCs was evaluated by means of an ultrasound scan of the chest, before and after breath-hold diving sessions. The ULC score increased significantly from baseline after dynamic surface apnea ($p = 0.0068$), after deep breath-hold sessions ($p = 0.0018$), and after static maximal apnea ($p = 0.031$). There was no statistically significant difference between the average increase of ULC scores after dynamic surface apnea and deep breath-hold diving. We, therefore, postulate that extravascular lung water accumulation may be due to other factors than (deep) immersion alone, because it occurs during dynamic surface apnea as well. Three mechanisms may be responsible for this. First, the immersion-induced hydrostatic pressure gradient applied on the body causes a shift of peripheral venous blood towards the thorax. Second, the blood pooling effect found during the diving response Redistributes blood to the pulmonary vascular bed. Third, it is possible that the intense involuntary diaphragmatic contractions occurring during the "struggle phase" of the breath-hold can also produce a blood shift from the pulmonary capillaries to the pulmonary alveoli. A combination of these factors may explain the observed increase in ULC scores in deep, shallow maximal and shallow dynamic apneas, whereas shallow non-maximal apneas seem to be not "ULC provoking".

Communicated by Guido Ferretti.

Keywords Apnea · Extravascular lung water · Edema · Hypoxia · Static · No-limits · Underwater swimming

Zusammenfassung Lambrechts et. al.

1. Hydrostatischer Druckgradient: Blutverlagerung von **Peripher venös → Zentral thorakal**.

2. Füllung des Lungengefäßbettes: Zentrales **Blut-Pooling** über den **Tauchreflex**.

3. Unwillkürliche **Zwerchfellkontraktionen** in der „Struggle phase“ führt zur Blutverlagerung: Vom **Lungenkapillarbett → Lungenbläschen**.

Immersions-/ Submersions-Lungenödem
Vermutete Ursachen ?

Lungenödem bei Immersion & Submersion

Vermehrt Fälle von akutem Lungenödem bei Tauchern:

- Bis zum Tauchgang meistens gesunde und unauffällige Taucher,
- eher anstrengende Tauchgänge
- keine wegweisende Ursache
- ähnliches Lungenödem jüngst auch bei Schwimmern, Wassersportlern und Triathleten beschrieben,
- zunächst V. a. (Salz-) Wasseraspiration (Spray, Gischt).

Viele Ursachen für das Taucher-Lungenödem ?

- Schlechte Kondition
- Kardiovaskuläre Störung
- Asthma
- Stress, Angst
- Starke Belastung (Überlastung?) vor, während oder nach TG
- Kaltes Wasser
- Zu enger Tauchanzug
- Seewasser (Gischt) Aspiration
- Probleme mit dem Atemregler
- Fast leere Flaschen / nicht ausreichend geöffnet
- Zentralisation bei Immersion
- Negative-Pressure Breathing (durch Widerstand Atemregler)
- Kapillarschaden im Alveolarbereich
- Barotrauma der Lunge

Eur Respir J 2007; 30: 1231–1232
DOI: 10.1183/09031936.00116407
Copyright©ERS Journals Ltd 2007

CASE STUDY

Aqua jogging-induced pulmonary oedema

M. Wenger and E.W. Russi

ABSTRACT: The present study reports the case of a 43-yr-old very sporty male, who developed shortness of breath and expectorated bloody froth during aqua jogging. Pulmonary oedema was diagnosed clinically and by computed tomography of the chest. The patient made a full recovery and his echocardiography was entirely normal.

Pulmonary oedema occurring in healthy scuba-divers and swimmers has been reported previously. However, this is the first case where pulmonary oedema was observed during aqua jogging.

KEYWORDS: Aqua jogging, pulmonary oedema

AFFILIATIONS
Pulmonary Division, Dept of Internal Medicine, University Hospital, Zurich, Switzerland.

CORRESPONDENCE
E.W. Russi
Pulmonary Division
University Hospital
Raemistrasse 100
CH-8091 Zurich
Switzerland
Fax: 41 442554451
E-mail: erich.russi@usz.ch

Received:

In 1981, the occurrence of pulmonary oedema during scuba-diving or swimming was reported for the first time by WILMSHURST *et al.* [1]. These observations were confirmed in a

radiograph (fig. 1) and a computed tomography scan of the chest (fig. 2). Myocardial infarction was excluded by blood and ECG examinations. Flexible bronchoscopy was performed and did

American Journal of Emergency Medicine (2010) 28, 941–946

ELSEVIER

The American Journal of Emergency Medicine

www.elsevier.com/locate/ajem

Brief Report

Swimming-induced pulmonary edema in triathletes☆,☆☆

Charles C. Miller III PhD[a,b,*], Katherine Calder-Becker[c], Francois Modave PhD[d]

[a]Department of Biomedical Sciences, Texas Tech University Health Sciences Center at El Paso Paul L. Foster School of Medicine, El Paso, TX, USA
[b]Department of Cardiothoracic and Vascular Surgery, University of Texas Medical School at Houston, Houston, TX, USA
[c]Cap Cities Triathalon, Montreal, Quebec, Canada
[d]Department of Computer Science, University of Texas at El Paso, Central Washington University, Ellensburg, WA, USA

Received 18 June 2009; revised 22 July 2009; accepted 3 August 2009

Abstract

Background: Pulmonary edema related to water immersion has been reported in military trainees and scuba and breath-hold divers, but rarely in the community. To date, no risk factors for this phenomenon have been identified by epidemiological methods. Recently, sporadic reports of swimming-induced pulmonary edema (SIPE) have emerged in the triathlon community. We surveyed the population of a

AMERICAN COLLEGE of SPORTS MEDICINE. LEADING THE WAY

Sports Medicine Bulletin

A WEEKLY NEWS AND INFORMATION RESOURCE FROM THE AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE

Active Voice: Triathlon Swim Deaths: Initial Steps Toward Prevention

M/03/12

By Rudy Dressendorfer, P.T., Ph.D., FACSM

Viewpoints presented in SMB commentaries reflect opinions of the authors and do not necessarily reflect positions or policies of ACSM.

Rudy Dressendorfer, P.T., Ph.D., FACSM is an accomplished scientist, educator and clinician with a career focused on clinical exercise physiology. He is an ACSM Program Director and has served on ACSM's certification and education committee. He retired as full professor of human performance and sport at New Mexico Highlands University and subsequently taught exercise physiology and did collaborative research with faculty at the University of Alberta in Canada. Currently, he practices sports medicine as a licensed physical therapist in California. Rudy has published extensively on physical conditions, injuries and related prevention strategies for endurance athletes. He also has direct experiences with these issues, as he is a highly successful

Verzicht auf Aufwässerung vor dem Schwimmen !

2006 and 2008, and nine more in the summer of 2011. Prevention is indicated, but there is little certainty about the causes of these unexplained deaths. Drowning due to water inhalation could occur, given that physical contact during mass starts and pack swimming is the norm in triathlon races. However, rescue craft are typically close by, and trained swimmers usually tolerate catching a mouthful of water or missing a breath or two without the need for emergency help. In the absence of other limitations to breathing, ordinary drowning seems an unlikely cause for most triathlon swim deaths. Sudden cardiac death remains a possibility to be ruled out.

Profuse frothy hemoptysis (coughing up blood) was found in some of these cases, making acute pulmonary edema (APE) an apparent cause. In a recent report of three female triathletes, symptoms of APE (breathing restriction, cough, hemoptysis and rales) occurred within minutes of immersion (*Pulm Med* 2011;2011:261404. Epub 2011 Jun 1). The probable pathophysiological mechanism of APE in swimmers is elevated blood volume in the heart and lungs

Immersions-/ Submersions-Lungenödem Ursachen !?!

Immersion & Submersion

(Gauer: „*Vorhof voll, Lungenstau*“)

- Baden.
- Schwimmen.
- Stehen oder Waten im Wasser.
- Aqua-Jogging.
- Schnorcheln.
- Apnoe-Tauchen.
- Tauchen mit Atemregler.

Gesicherte Ursachen (Taucher-) Lungenödem

1. Lungenbelastung
   - Vorlast ↑↑
   - Negative Pressure Breathing.
2. Herzbelastung
   - Nachlast ↑↑
   - Belastungshypertonie.
3. Hydrostatische Belastung
   - Lage im Wasser.
4. Physischer und psychischer Stress.

Immersions-/Taucher-Lungenödem

Wahrscheinlich multifaktoriell ausgelöst

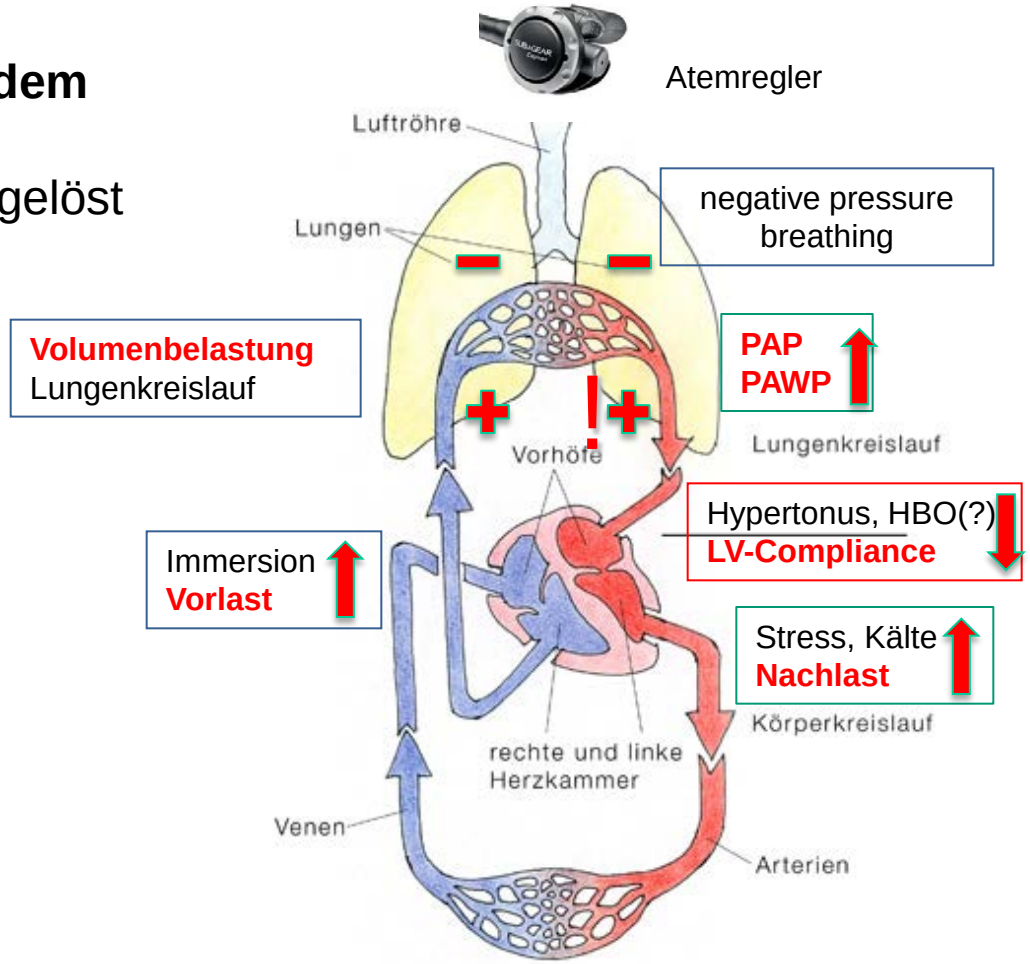
Aber:

•Unerfahrenheit (?)

•**Hypertonus**

•Sauerstoff (?)

•Kälte
•Stress



könnten relevante Kofaktoren sein!

Maßnahmen bei Immersions- /Submersions-LE:

- Aus dem Wasser und beengende Kleidung öffnen
- FiO_2=1 (wie beim Tauchunfall)
- Halbsitzende Lagerung (**anders als beim Tauchunfall**)
- Diuretika (Furosemid) (**keine Flüssigkeitsgabe**)
- Wenig trinken, besser gar nichts (**anders als beim Tauchunfall**)
- Notarzt-Begleitung in Klinik → Intensivüberwachung!

Prognose Immersions-/ Submersions-LE :

- Gut, oft spontane Besserung außerhalb des Wassers, gutes Ansprechen auf Sauerstoff und Furosemid, sicherheitshalber i.d.R. Khs.-Behandlung.
- Im Regelfall völlige Genesung.
- Nach gründlicher Untersuchung besteht wieder Tauchtauglichkeit, aber:

Prognose Immersions-/ Submersions-LE :

- Risikoreiche TG meiden (Stress ↓↓).
- Keine übermäßige Belastung beim Tauchen.
- Nur mit informiertem Buddy tauchen.
- Hohe Gerätesicherheit gewährleisten.
- Meiden von Kaltwasser (?).
- Vermeiden von Flüssigkeitsaufsättigung.

- Unklar: Tauglichkeit bei Belastungshypertonus (Compliancestörung?)
- Unklar: Tauchen mit O_2-angereicherten Gemischen?

DAN®

DIVERS ALERT NETWORK EUROPE