

Organo ufficiale del Divers Alert Network Europe
Periodico trimestrale - Anno 2006 - n. 4
Aut. Trib. Pescara n. 19/91 del 4/2/94
Sped. in abb. post. art. 2 comma 20/c Legge 662/96 - Filiale di Teramo

DAN EUROPE NEWS
DIVERS ALERT NETWORK
Your dive safety association

IV QUARTER - 2006
European edition of

TAXE PERÇUE
PORT BETAALD
TASSA PAGATA
POSTGEBÜHR BEZAHLT
ENVÍO POSTAL INCLUIDO
POSTAGE PAID

Alert Diver

SPECIAL RESEARCH ISSUE

THE HISTORY OF DAN EUROPE'S DIVING SAFETY LABORATORY

SHAPING THE FUTURE OF DIVING RESEARCH

THE WAY WE ASCEND

**The DAN Europe Study on the Safety of ascent
and the effects of Deep Stops**

**DAN EUROPE'S PFO STUDIES:
DEFINING IF THERE IS A REAL
RISK OF PFO FOR THE
RECREATIONAL DIVER !**

with translations in

italiano
deutsch
français
español
nederlands

**THE DAN EUROPE DIVING PHYSIOLOGY RESEARCH LABORATORY IN
BRUXELLES AND THE MAIN RESULTS OF ITS RESEARCH PROJECTS**

DAN EUROPE RESEARCH AT WORK!

**University-level, advanced physiological research laboratory at work "in the field"
monitoring multiple, unrestricted recreational and technical dives**

Divers Alert Network (DAN), a nonprofit organization, exists to provide expert medical information and advice for the benefit of the diving public. DAN's historical and primary function is to provide emergency medical advice and assistance for underwater diving accidents, to work to prevent accidents and to promote diving safety. Second, DAN promotes and supports underwater

DAN Facts

DAN Mission Statement

diving research and education, particularly as it relates to the improvement of diving safety, medical treatment and first aid. Third, DAN strives to provide the most accurate, up-to-date and unbiased information on issues of common concern to the diving public, primarily, but not exclusively, for diving safety.

DAN EUROPE FOUNDATION

Territory: Geographical Europe, European territories and protectorates, with regional IDAN responsibility for the Mediterranean Sea and Shore, the Red Sea, the Arabian Gulf, Ethiopia, and the Maldives.

REGISTERED ADDRESS AND HEADQUARTERS: 26, TRIQ FIDIEL ZARB, GHARGHUR NXR07, MALTA; TEL: +356 2141 9804; FAX: +356 2141 9294 ; EMAIL: MALTA@DANEUROPE.ORG

OPERATIONS HEAD OFFICE:

P.O. Box: DAN, 64026 Roseto, Italy,
PHONE: +39 085 893 0333
FAX: +39 085 893 0050
E-MAIL: mail@daneurope.org
WEBSITE: <http://www.daneurope.org>

DAN Europe Regional Offices

DAN Europe Balkans

(Serbia and Montenegro, Bosnia and Herzegovina)
AREA DIRECTOR: Prof. Alessandro Marroni
REGIONAL DIRECTOR: Dr. Dragana Ivkovic, M. D.
Milovana Marinkovica 17. 11000 Belgrade,
Serbia and Montenegro
PHONE AND FAX +381 (0) 11 247 10 40
MOBILE +381 (0) 63 8129 687
E-MAIL: balkans@daneurope.org

DAN Europe BeNeLux

(Belgium, Netherlands, Luxembourg)
AREA DIRECTOR: Prof. Costantino Balestra Ph.D.
MEDICAL DIRECTOR: Dr. Peter Germonpre M.D.
REGIONAL HEAD OF TRAINING (Dutch): Guy Thomas
REGIONAL HEAD OF TRAINING (FRENCH): Frédéric Venderschueren
PHONE AND FAX: refer to Central Office in Italy
EMAIL: benelux@daneurope.org

DAN Europe Česko

AREA DIRECTOR: Prof Alessandro Marroni
NATIONAL DIRECTOR DR. PAVEL MACURA M.D.
K BRIZKAM 4/7, HRADEC KRÁLOVÉ, PSC 500 09,
ČESKÁ REPUBLIKA
PHONE + 420 495 516 147
FAX-PHONE + 420 495 264 641
EMAIL: cekia@daneurope.org

DAN Europe Croatia

AREA DIRECTOR: Prof Alessandro Marroni
NATIONAL DIRECTOR: Dr. Darko Kovacevic M.D.
Kruge 19A, 10000 Zagreb, Croatia
FAX: +385 (0)1 6151900
EMAIL: croatia@daneurope.org

DAN Europe France

AREA DIRECTOR: Prof. Costantino Balestra Ph.D.
AREA MEDICAL DIRECTOR: Dr. Peter Germonpre M.D.
NATIONAL MEDICAL DIRECTOR: Dr. Bruno Grandjean M.D.
Service de Médecine Hyperbare, Centre Hospitalier d'Ajaccio, 27 Avenue Impératrice Eugénie,
20303 AJACCIO CEDEX
PHONE AND FAX: refer to Central Office in Italy
E-MAIL: france@daneurope.org

DAN Europe Germany, Austria & Hungary

AREA DIRECTOR: Dr. Ulrich van Laak M.D.
Eichkoppelweg 70, 24119 Kronshagen, Germany
PHONE: +49 (0)431 549 861
(Monday and Thursday 18 until 21 h CET)
FAX: +49 (0)431 544 288
EMAIL: germany@daneurope.org

DAN Europe Hellas

AREA DIRECTOR: Prof Alessandro Marroni
MEDICAL DIRECTOR: Dr Bassilis Zachariades
C/o Hyperbaric Medical Center, 5 Klazomenon st.,
Tavros Athens, 17778
Fax +30 210 3462898
(workdays, 13:00 to 19:00 pm)
E-MAIL: hellas@daneurope.org

DAN Europe Ibérica (Andorra, Portugal, Spain)

AREA DIRECTOR: Dr. Jordi Desola, M.D., Ph.D.
CRIS Unitat de Terapèutica Hiperbàrica, Dos de Maig
301, Hospital Creu Roja, 08025 Barcelona, Spain
PHONE: +34 93 347 7366
FAX: +34 93 450 3736
E-MAIL: iberica@daneurope.org

DAN Europe Italia

NATIONAL DIRECTOR: Dr. Nuccia De Angelis
MEDICAL DIRECTOR: Prof. Alessandro Marroni M.D.
P.O. Box DAN, 64026 Roseto , Italy,
PHONE: +39 085 893 0333
FAX: +39 085 893 0050.
E-MAIL: italy@daneurope.org

DAN Europe Malta

NATIONAL DIRECTOR: Dr. Ramiro Cali Corleo M.D.
26, Triq Fidiel Zarb, Gharghur NXR07, Malta.
Tel: +356 2141 9804; Fax: +356 2141 9294
E-MAIL: malta@daneurope.org

DAN Europe Polska

AREA DIRECTOR: Prof Alessandro Marroni
MEDICAL DIRECTOR: Zdzislaw Sicking, M.D., Ph.D.
MEMBERSHIP ASSISTANCE COORDINATOR: Jacek Kot, M.D.,
National Center for Hyperbaric Medicine, Institute of Maritime
and Tropical Medicine, Medical University of Gdansk Powsta-
nia Styczniowego 9B
Gdynia 81-519, Poland
PHONE +48 58 699 8610 (08:00 – 15:00)
FAX: +48 58 622 2789
E-MAIL: polska@daneurope.org

DAN Europe Skandinavien

(Denmark, Norway, Sweden, Finland)
AREA DIRECTOR: Dr. Ole Hyldegaard, MD, Ph.D.
P.O.Box 11, 2830 Virum, Denmark.
PHONE: +45 45 836330
FAX: +45 45 836 331
E-MAIL: skandinavien@daneurope.org

DAN Europe Slovenia

AREA DIRECTOR: Prof Alessandro Marroni
NATIONAL DIRECTOR: Prof. Dr. Igor Mekjavic
Department of Automation, Biocybernetics and Robotics
Jozef Stefan Institute
Jamova 39, SI-1000 Ljubljana, Slovenia
TEL: +386 41 696 558
FAX: +386 1 423 2209
EMAIL: slovenia@daneurope.org

DAN Europe Suisse

NATIONAL DIRECTOR: Dr.Jürg Wendling M.D.
Faubourg du Lac 67, 2502 Biel, Switzerland,
PHONE: +41 (0)32 322 3823
FAX: +41 (0)32 322 3839
E-MAIL: suisse@daneurope.org

DAN Europe United Kingdom Gibraltar & Ireland

AREA DIRECTOR: Dr. Ramiro Cali Corleo, M.D.
REGIONAL MANAGER: Christopher Young CertEd
Unit 5, Phoenix Business Park, Telford Way
Coalville LE67 3H, Leicestershire, United Kingdom
PHONE: national 0870 872 8888; Ireland
+44 870 872 8888; international +44 870 872 8888
FAX: national 0870 872 5555; Ireland +44 870 872 5555;
international +44 870 872 5555
E-MAIL: uk@daneurope.org

DAN Europe Affiliate Organizations

DAN Maldives

AREA DIRECTOR: Prof Alessandro Marroni
MEDICAL DIRECTOR: Dr. Guenter Frey, M.D.
Bandos Hyperbaric & Medical Clinic
Bandos Island Resort. Republic of Maldives
FAX: +960 44 0060
E-MAIL: maldives@daneurope.org

DAN Egypt

AREA DIRECTOR: Prof. Alessandro Marroni
REGIONAL DIRECTOR: Dr. Adel Taher, M.D.
Hyperbaric Medical Center
Sharm el-Sheikh, Egypt
TEL: +20 69 3 660 922 OR 23 (from 10:30 till 18:00-daily)
FAX: +20 69 3 661 011
E-MAIL: egypt@daneurope.org

DAN Israel

AREA DIRECTOR: Prof Alessandro Marroni
REGIONAL DIRECTOR: Mr. Shai Roth
P.O.Box 36667, Tel – Aviv, 61366, Israel
FAX:+972-3-9213838
E-MAIL: israel@daneurope.org

The other International DAN Organizations

DAN America

Territory: United States and Canada, with regional IDAN responsibility for Central and South America, the Caribbean, Polynesia, Micronesia and Melanesia (except Fiji), and any other area not designated for the other DAN entities
PRESIDENT Dr. Michael Curley, M.D.
The Peter B. Bennett Center, 6 West Colony Place,
Durham, NC 27705, USA,
PHONE: +1 919 684 2948 Fax: +1 919 490 6630
E-MAIL: dan@diversalertnetwork.org
WEBSITE: <http://www.diversalertnetwork.org>

DAN America - Mexico

DIRECTOR: Dr. Cuauhtemoc Sanchez, M.D.
Indiana 260-907, Col. Nápoles Mexico, D.F. 03710,
PHONE: +52 55 5568 8082,
FAX: +52 55 5568 8083
E-MAIL: danmex@hotmail.com
WEBSITE: <http://www.diversalertnetwork.org>

DAN Japan

TERRITORY: Japan Marine Recreation Association
Kowa-Ota-Machi Bldg,2F, 47 Ota-machi 4-Chome
Nakaku, Yokohama City, Kagawa 231-0011 Japan
PHONE: +81 45 228 3066
FAX: +81 45 228 3063
E-MAIL: dan@danjapan.gr.jp
WEBSITE: <http://www.danjapan.gr.jp>

DAN S.E. Asia-Pacific

TERRITORY: Australia and New Zealand, with regional IDAN responsibility for Papua New Guinea, Fiji, Indonesia, Malaysia, Vietnam, Singapore, Cambodia, Myanmar, Philippines, Vanuatu, Solomon Islands, Brunei, Thailand, Hong Kong, Korea, China and Taiwan
DIRECTOR: Mr. John Lippmann
49A Karnak Rd, Ashburton, Victoria 3163, Australia.
POSTAL ADDRESS: PO Box 384 Ashburton,
Vic. 3147, Australia
PHONE: +61 - 3 - 9886 9166 - Fax: +61 - 3 - 9886 9155
E-MAIL: info@danseap.org
WEBSITE: <http://www.danseap.org>

DAN S.E. Asia Pacific - Philippines

MEDICAL DIRECTOR: Dr. Benjamin G. Luna, Jr.M.
Makati Medical Center; 2 Amorsolo St.;
Makati City 1200; Philippines
PHONE/FAX: +63 (0)2 817 5601 (office hours); or Phone: +63 (0)2 815 9911 (ask for Ext. 2123; office hours);
E-MAIL: blunamd@cni.net

DAN Southern Africa

TERRITORY: Austral Africa, Comoros, Madagascar, Seychelles Islands, plus Kenya and Zan-zibar (for residents only, European expatriates refer to DAN Europe)
Director Dr. Frans J. Cronje, M.D.
Private Bag X 197, Halfway House, South Africa 1685
PHONE: +2711 254 1991 or 2
FAX: +2711 254 1993
E-MAIL: mail@dansa.org WEBSITE: <http://www.dansa.org>

Telephone Dialing Guide: the telephone numbers are inclusive of the international Country code; omit it when dialing from within the Country. The numbers in brackets should only be dialed for national calls and omitted when calling that number from abroad.

DAN Europe E-mail address list

General mail@daneurope.org,
Membership members@daneurope.org
Medical medical@daneurope.org
Training training@daneurope.org
DAN Europe Sponsor Program sponsors@daneurope.org
Insurance Claims claims@daneurope.org

ATTENTION ALL NEW AND RENEWING MEMBERS
Please note that the address you supply DAN Europe in your application/renewal form is considered for all intents and purposes as your declared place of residence.

Moving? If you have moved in the last year, please send DAN your new address.
Questions? Call DAN Europe at +39 085 893 0333 or any of your regional offices indicated above.

European version of

Alert Diver

EDITORE PUBLISHER

DAN Europe
P.O. Box DAN
64026 Roseto -Italy
Tel. (+39).085.8930333
Fax (+39).085.8930050

DIRETTORE RESPONSABILE EDITOR

Nuccia De Angelis

COLLABORATORI CONTRIBUTORS

Costantino Balestra - Be.Ne.Lux
Ramiro Cali Corleo - Malta
Jordi Desola - España
Ole Hyldegaard - Danmark
Alessandro Marroni - Italia
Ulrich van Laak - Deutschland und
Österreich Jürg Wendling - Suisse

COVER PHOTO

Tania Novikova

TRADUTTORI TRANSLATORS

Manuela Bonacina &
Sergio Discepolo - *Italiano*
Brid Deely - *English*
Achim Strieben - *Deutsch*
Gwendolyn Hayden - *Français*
Marta Jover Cornejo - *Español*
Els Knaapen - *Nederlands*

DAN EUROPE NEWS

Copies: 75.000

DISTRIBUTION:

Andorra, Austria, Australia, Belgium,
Canada, China R.P., Colombia, Croatia,
Curacao, Cyprus, Czech Republic,
Denmark, Egypt, Finland, France,
Germany, Greece, Iceland, Indonesia,
Ireland, Israel, Italy, Jordan, Kenya,
Lebanon, Liechtenstein, Luxembourg,
Maldives, Malta, Mexico, Nederland,
Norway, Oman, Peru, Philippines,
Portugal, Russia, Saudi Arabia,
Serbia & Montenegro, Slovenia,
South Africa, Spain, Suisse, Sweden,
Tanzania, Thailand, Turkey, Ukraina,
United Arab Emirates, United Kingdom,
U.S.A., Vietnam, Zanzibar.

E-MAIL

mail@daneurope.org

WEBSITE

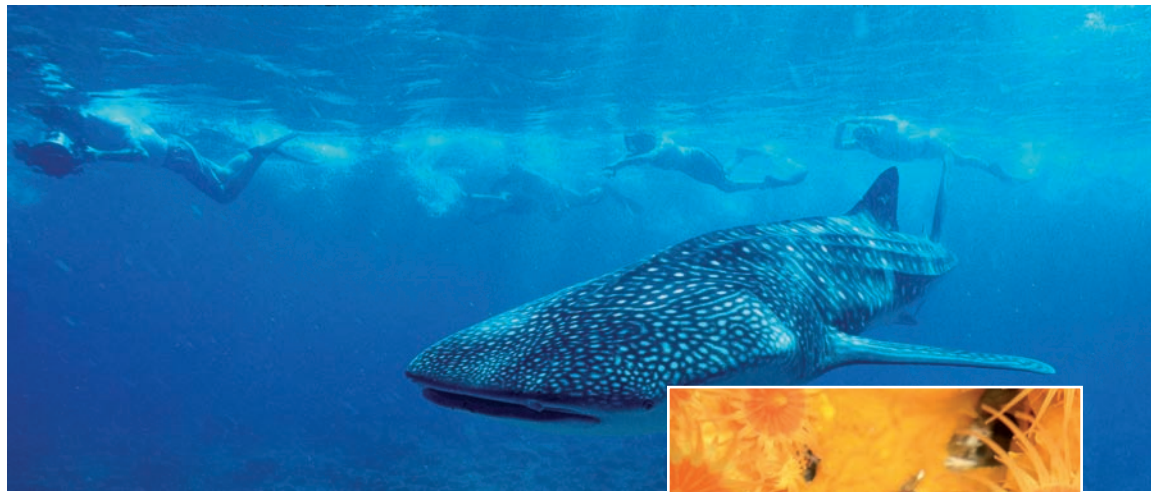
http://www.daneurope.org

ART DIRECTOR

Vania Pasqualini - Graphia

PRINTED BY

Rotopress - Loreto



SUMMARY

4 EDITORIAL

By Dr. Alessandro Marroni

5 THE HISTORY OF DAN EUROPE'S DIVING SAFETY LABORATORY

By Dr Ramiro Cali Corleo

6 SHAPING THE FUTURE OF DIVING RESEARCH

By Massimo Pieri and Marzia Ferrone

THE WAY WE ASCEND

8 THE DAN EUROPE STUDY ON THE SAFETY OF ASCENT AND THE EFFECTS OF DEEP STOPS

By Dr Frans J Cronjé

10 DAN EUROPE'S PFO STUDIES: DEFINING IF THERE IS A REAL RISK OF PFO FOR THE RECREATIONAL DIVER!

By Dr. Peter Germonpré

15 THE DAN EUROPE DIVING PHYSIOLOGY RESEARCH LABORATORY IN BRUXELLES AND THE MAIN RESULTS OF ITS RESEARCH PROJECTS

By Prof. Costantino Balestra

20 DAN EUROPE RESEARCH AT WORK!

FOR THE FIRST TIME IN THE HISTORY OF RECREATIONAL DIVING MEDICAL RESEARCH, A UNIVERSITY-LEVEL, ADVANCED PHYSIOLOGICAL RESEARCH LABORATORY AT WORK "IN THE FIELD" MONITORING MULTIPLE, UNRESTRICTED RECREATIONAL AND TECHNICAL DIVES TO IMPROVE DIVING MEDICINE KNOWLEDGE AND TO PREVENT RECREATIONAL DIVING ACCIDENTS.

By Laura Marroni

PHOTOCONTEST

24 3rd DAN PHOTOCONTEST session 2006

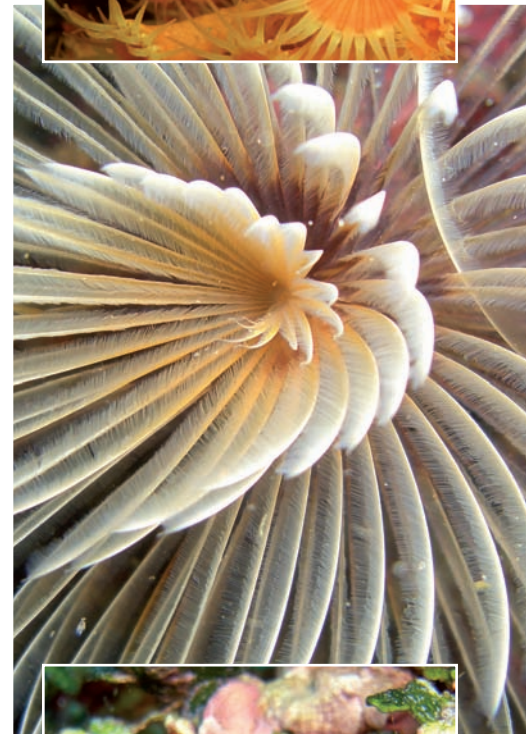
TRANSLATIONS

26 Italiano
34 Deutsch
42 Français
50 Español
58 Nederlands

DAN EUROPE NEWS N. 4 - 2006

Aut. Trib. Pescara n. 19/91 del 4/2/94

Distribuzione gratuita





*Prof. Alessandro Marroni
President, DAN Europe*

Dear DAN Europe Members,

As you can see from the cover and the titles, this issue of “your Diving Safety Magazine” is entirely dedicated to DAN Europe Research, which is celebrating its 12th anniversary as well as outstanding and extremely rewarding results.

Over this period the DAN Europe Research Team has implemented many and important diving physiology, diving medicine and diving safety research projects, some of which yielded results that are now allowing to revisit certain aspects and procedures of recreational diving.

Over this period the DAN Europe Research Team produced 78 scientific papers, presented at International Diving Medicine Conferences and published in International Scientific Journals, Books and Proceedings.

Many of the DAN Europe research projects produced results that are now a reference for the diving medical and scientific community. The research method DAN Europe adopted, since the very beginning, was considered non ritual by many investigators, who thought that scientific research should be made only by qualified academic researchers, in properly equipped laboratories and with the help of highly trained and skilled technicians.

Although this is true, the other side of this is that diving medicine investigators, as much as diving medicine specialists, are a rare species, and qualified diving research technicians are even rarer.

The consequence is that, much too often, diving procedures, particularly for what concerns the safety of decompression, are based on opinions (many and different) deriving from extrapolations or interpolations from limited numbers of scientific observations.

The current inherent uncertainty in DCS risk estimates is due to limited data; we don't understand decompression enough because we don't have sufficient data, but solutions must be based on data.

Most decompression models interpolate or extrapolate when data are missing, but do not substitute for data.

In order to have enough data, we need that research goes to the field, where real dives are dived and real divers are, as opposed to being

confined in a laboratory and work on forcibly limited amounts of data, even if of the best possible quality.

Real solutions can only come from extremely large numbers of data, dives, and observations reflecting the real diving world and its many facets.

This was the challenging goal of DAN Europe, when project Safe Dive and then the Diving Safety Laboratory were started.



The change? Involving divers and making them an active part of research. Transforming divers into “Research Divers”, able to efficiently and precisely record their dives, according to an epidemiologically and scientifically correct methodology, and to send the results to a central Data Base, were, eventually, scientific analysis of hundreds of thousands of real dives, collected with a uniform method, could be performed.

We were successful, and can now count on a worldwide database of over two hundred thousand dives, which is continuously growing and allows for unprecedented possibilities of epidemiological and statistical analysis on the many aspects of diving safety, ranging from diver's behaviour and condition to the safety of decompression procedures.

Another important change in the DAN Europe approach to “diving research by divers and for divers”? The fact that we believed divers could actually offer much more than simply recording their dives and sending the data to a data-base: we believed in Divers, in their awareness, in their thirst for knowledge, in their concern for safety and in their skills.

We believed that divers could do much more than simply logging their dives, but they could also log scientifically significant data, if adequately directed to fill simple, but complete questionnaires, and even perform complex

tasks such as recording important physiological signals, like with the Ultrasound Doppler Recording of circulating gas bubbles sounds, to mention one.

We developed special techniques to train the divers to correctly collect such signals and perform the necessary data retrieving, storage and transmission procedures. And we were successful!

The ultimate goal, actually already a result yielding important data? We finally have a significant dive risk analysis data bank, which will serve as the platform and the tool with which to confront future findings, special research projects results, different typologies of dive profiles.

Sound facts and not opinions about the safety of diving, at last.

I am proud of all this and I am grateful to all of you divers and DAN Europe members, for your continuous support to “your” diving safety organization and for the many dives that so many of you already “donated” to Research.

Safety is based on correct, unbiased information: research provides the data on which to base correct information. Keep supporting diving research, be an active player in shaping the future of diving safety!



Clear Waters to All of You!!

*Alessandro Marroni, M.D.
President, DAN Europe
President, International DAN*

THE HISTORY OF DAN EUROPE'S

DIVING SAFETY LABORATORY

The DAN Europe research project DSL (Diving Safety Laboratory) had its origins in 1994 when during the annual European Conference on diving and hyperbaric medicine held by the European Underwater Baromedical Society in Norway that year, Drs Alessandro Marroni and Iro Cali-Corleo put their heads together and elaborated a research project actively involving for the first time divers and diving instructors.

This project was named Safe Dive and aimed to look for the first time in a systematic and large scale way, the way European divers dive, their perceived level of fitness and any medical problems resulting from those dives. Strangely enough, DAN Europe's sister organisation, DAN America was independently also thinking of looking scientifically at real recreational dives.

Safe Dive was immediately planned as an ambitious project with the aim of monitoring a million recreational dives. This number was reached when consideration was given to the proportion of diving related incidents reported and so the number of dives needed to ensure the a sufficient number of accidents end up monitored to give a scientifically valid result and so the research will end up truly useful to the diver in assessing his or her risk when going diving.

The scientific method chosen was an observational one where a specifically trained diver or instructor designated as a RFO (Research Field Operator) will monitor the diving pattern of a small group of divers and keep an accurate record of the diver's state of health and motivation before the dive, the dive itself and any medical outcome following the dive. The RFO would also take a Doppler recording of the precordial heart sounds before and after the dive in order to capture and later identify any bubbles produced by the dive present in the circulation.

A specific Doppler device was designed for the use of the RFO and a teaching method whereby the diver or instructor would know how to use the device, how to identify the correct sound (by identifying its musical pattern) and when to take the recording. The first devices using a standard Doppler and a tape recorder were accurate but found too delicate for field use and so these were modified through a number of versions until the present form where a robust Doppler device which was intrinsically water resistant, being normally used for underwater births, is connected to a digital recorder, producing a good signal for analysis and long term durability of the device.

The dives were also monitored using a spe-

*By Dr Ramiro Cali Corleo, DAN Europe
Vice President, Director DAN Europe
English Language Area*



cially modified dive computer donated by a dive computer manufacturer which did not display any data on its screen (other than the word DAN) thus not influencing the diver and making him or her change his or her normal dive pattern. These computers were then downloaded on to a computer and provided

an accurate recording of the dive profiles of the monitored dives

Safe Dive was launched with a special diving research trip in Malta where the volunteer participants enjoyed a week's diving while attending theoretical classes and practice sessions in the field. It was gratifying that the 30+ students all qualified as RFOs and since then a number of other courses, normally associated with a diving trip, were held over the years.

Notable ones are those held on the dive vessel MV Duda in Maltese and Italian waters, Red Sea in Egypt, Oban in Scotland, Elba in Italy and Istria in Croatia. All were highly successful and produced a number of efficient, enthusiastic and active RFOs

In 1999 a formal partnership was established with Uwaterc and this led to the upgrade of Project Safe Dive to the DSL, Diving Safety Laboratory, where the scope of the research was expanded to include monitoring of specific dive profiles carried out as dive simulations at specific chamber facilities with the aim of identifying dive profiles and decompression patterns with minimal and absent bubble production.

Diver and instructor participation was also modified with the upgrade of the trained RFO to RT (Research Technician) while a new active participant level, the RO (Research Operator) where the RO monitors the dive profiles but does not take any Doppler recordings. To date over 39.000 dives were monitored and of these over 10.000 were also dopplered by the RFO/RTs.

DSL has undergone a further change following the end of the partnership agreement with the computer manufacturer whereby a number of differing dive profile monitoring devices and dive computers started to be used and the recorded profiles downloaded and included into the research database.

DSL now also includes research on other factors influencing diving such as the PFO, biochemical and cellular factors.

Although DSL is still building its database of results, it has already resulted in research papers which have influenced dive patterns such as the research on the deep stop.

DSL will continue to go from strength to strength thanks to the support it is receiving from the divers themselves and the dedicated team of researchers.



SHAPING THE FUTURE

By Massimo Pieri, Diving Safety Laboratory Data Collection Coordinator, and Marzia Ferrone, DSL Research Operator

Since 1999, when the DAN Europe permanent research laboratory was instituted and called DSL (Diving Safety Laboratory), the results achieved by the research program have indeed been rewarding and this, together with the not insignificant 39.000 plus real dives collected and fully monitored, is mainly due to the enthusiastic participation of the DAN Europe Research Operators who unrelentingly travelled around Europe, participating in all kinds of diving events, and to all the recreational divers who enthusiastically “donated” their dives to the DSL and some beats of their hearts to the DAN Europe Doppler probes to monitor any circulating gas bubble after their dive.

The recent developments of the DSL and the growing and ever-closer collaboration with DAN America and DAN Southern Africa, allowed for further and more exciting developments, with the start of an ad-hoc study to monitor the effects of varying ascent modalities, speeds of ascent and stops during the ascent, after pre-determined dive profiles, well in the normal range of modern, recreational, no-decompression diving.

In this study, a number of volunteer divers from a few Italian dive clubs (Sub Ravenna initially, and then Sub Novara Laghi and Sub Del Lago) accepted to repeat the same dive of 25 minutes at 25 meters with varying ascent profiles, ascent speeds and stops during the ascent. This study, an in-depth and so far unprecedented field research on the effect of different ascent modalities in recreational diving, already produced significant results, allowing to start re-designing ascent procedures and for a safer and better “Economy of Decompression”

This study - which is nick-named “MarBen” within the DAN Research Team, from the two scientists who designed it, Professor Marroni and Professor Bennett - is continuing, and many other dive modalities are currently being investigated, such as reverse profiles, shallow-to-deep profiles, diving with Nitrox with air times and Nitrox times while monitoring the difference in circulating bubble production, to mention a few. All these profiles actually represent what happens in the real diving world every day, and the DSL volunteer divers simply apply the DSL data collection and research



method to the dives they are normally making. This unique combination of sound research methodology and normal recreational dives is allowing for an unprecedented collection of significant dive data, in numbers that are already way above any series of dives so far used to validate current diving procedures and decompression algorithms.

In this important research action, the divers of the “Sub Novara Laghi” dive club (Omegna, Italy) deserve a special “thank you” for their almost incredible dedication, persistence and enthusiasm, and for producing over 1000 fully monitored dive profiles, between unrestricted dives and “MarBen” profiles.

After evaluating the first results of the combined research efforts of all the volunteer divers and the DAN Europe Research Team, we are fully aware that significant results will only be achieved with the participation of more and more divers and by the collection and scientific evaluation of hundreds of thousands of recreational dives, and this is our current challenging, but possible goal.

This will only be achieved with the help and the support of the recreational diving community and through all the dives that they will be willing and able to “donate” to DAN Research. To make this ever easier and simpler, DAN Europe implemented a specific software, named “Immersioni” (Dives) and developed by Mario Giuseppe Leonardi.

“Immersioni” is available, upon registration and at no-cost, to every diver who wishes to download and use it. The software is a great tool to record one’s dives and functions as a powerful and multi-functional dive log-book, but it also allows for additional and scientifically relevant functions:

- direct dive profile downloading from virtually any existent diving and decompression software,
- addition of scientifically relevant notes and the filling of specific epidemiological questionnaires developed by DAN,
- recording of Doppler signals
- direct uploading of all the recorded data to the DAN Europe central server, where they can be statistically studied.

(For more information, e-mail : dsldcc@daneurope.org).

OF DIVING RESEARCH

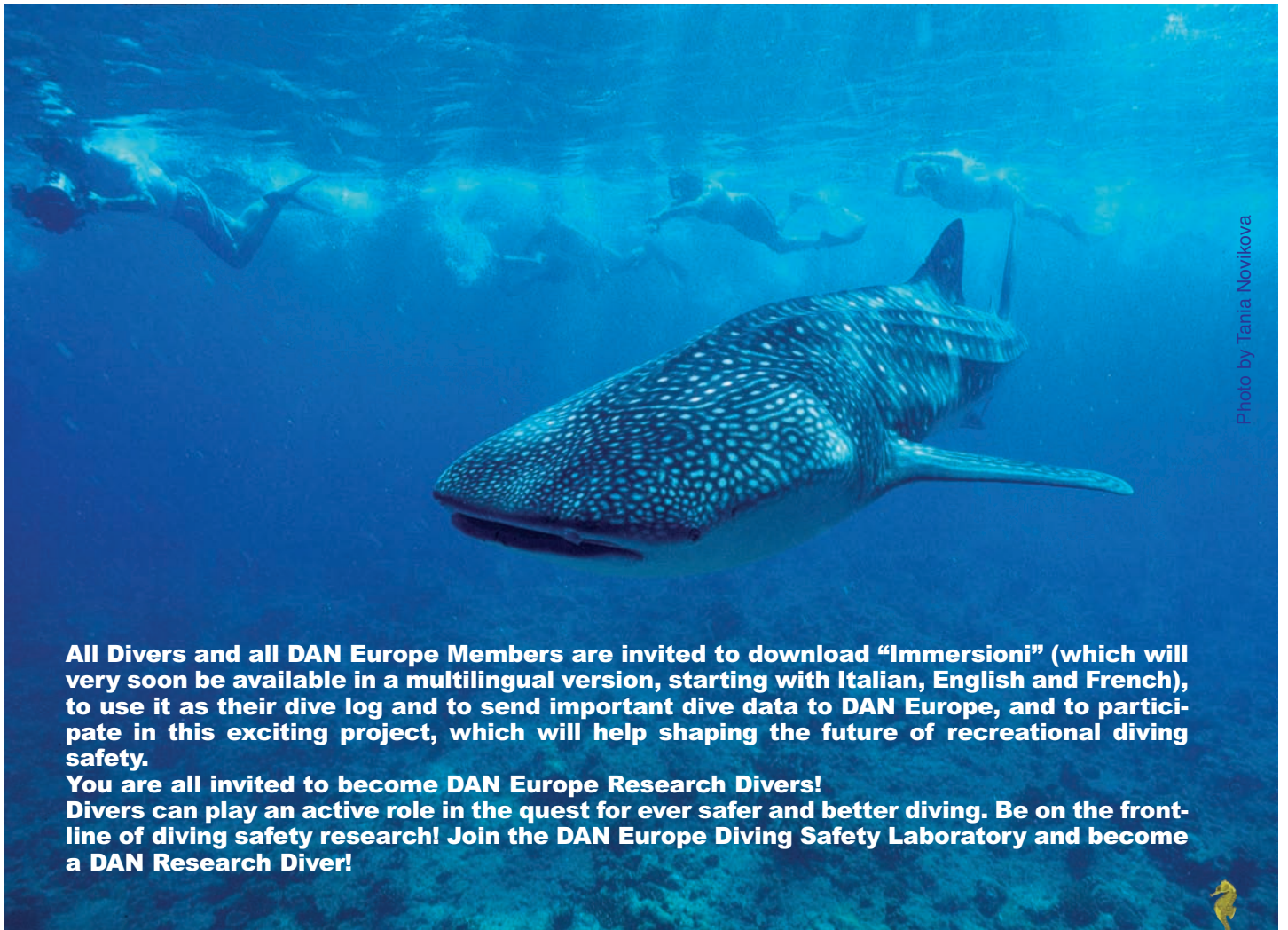


Photo by Tania Novikova

All Divers and all DAN Europe Members are invited to download “Immersioni” (which will very soon be available in a multilingual version, starting with Italian, English and French), to use it as their dive log and to send important dive data to DAN Europe, and to participate in this exciting project, which will help shaping the future of recreational diving safety.

**You are all invited to become DAN Europe Research Divers!
Divers can play an active role in the quest for ever safer and better diving. Be on the front-line of diving safety research! Join the DAN Europe Diving Safety Laboratory and become a DAN Research Diver!**





Photo by Roberto Ugnutu

The WAY WE ASCEND

The DAN Europe Study on the Safety of ascent and the effects of Deep Stops

By Dr Frans J Cronjé, President DAN Southern Africa, Member of the Board of Directors, DAN Europe

By way of background - there are two broad categories in recreational diving medicine and research: non bubble-related and bubble-related issues. DAN is addressing these by means of two, broad-based, international studies: Project Dive Exploration and Dive Safety Laboratory respectively.

As far as the bubble-related problems are concerned, here we consider the event of decompression and its physical and pathological implications. The only way of describing and predicting such complex processes of

gas uptake and elimination in the human body, is to generalize and approximate it by means of mathematical formulae or models.



However, one needs to realize that this inevitably means an oversimplification, based on theoretical concepts, and that these do not necessarily reflect what is actually going on in the body.

What decompression algorithms try to achieve is to reduce complex inert gas exchange into five primary concepts: (1) we absorb inert gas at increased ambient pressure; (2) we eliminate inert gas when ambient pressure drops – but at a slower rate; (3) when tissue gas tensions exceed ambient pressure, a state of supersaturation exists; (4)

at some point the supersaturation will result in bubble formation; (5) and at some stage bubbles may cause symptoms or injury.

As most of you know, decompression models contain so-called slow and fast tissues or compartments. This means that some hypothetical areas absorb nitrogen more than others do. Fast tissues are more prone to supersaturation during typical recreational diving. In 1908, John Scott Haldane devised the famous two to one principle of avoiding decompression injuries. However, over time the 2 to 1 concept became modified because divers were able to get away with higher supersaturations in fast tissues. This led to ascent rules that permitted much greater supersaturations in fast tissues in particular. So instead of a universal 2 to 1 ratio for all tissue compartments, up to four to one ratios were considered safe for fast tissues. The dilemma is that this approach has not solved the problem of decompression illness. Some 57,6% of DCI occurs in divers that did not do anything “wrong”. In simplistic terms, this means that blind compliance with decompression algorithms is not completely effective.

So, getting back to the ascent rules: in recent times, the wisdom of permitting large supersaturations in fast tissues is being questioned again, as these recommendations did not consider the implications of large quantities of gas forming in veins after a dive and the biological effects these may have on divers. Although the presence of these bubbles does not mean that a diver will get decompression sickness necessarily, there is an association between the quantity of bubbles and the probability of symptoms.

Additionally, venous bubbles may bypass or migrate through the natural bubble barrier – the pulmonary filter or bubble trap – by means of two possible mechanisms: Firstly, a patent foramen (PFO). Under certain conditions, this one-way valve that exists in about 25% of divers may open to allow the transfer of venous gas bubbles from the right to the left side of the heart, thereby causing arterial gas embolization. Secondly, up to 15% of divers have ineffective pulmonary bubble traps. This problem is completely invisible to



routine medical examination. Importantly, rather than screening divers for PFO, or worse – disqualifying them from diving –, avoid dives that lead to high venous gas bubble grades; the same with the pulmonary filtration concern – no bubbles, no problems! Many subtle and troublesome symptoms after diving are difficult to explain. There seem to be indirect biochemical and immunological effects related to bubbles. Although these are not DCS in the true sense of the word, these changes not without implications. We know, for instance, that bubbles react with blood components and damage the lining of blood vessels. In turn, this releases agents that promote inflammation. The ‘tiredness’ that follows particularly deep dives may be due to this phenomenon. These variables and effects may explain why some people appear to get away with truly aggressive dives while others are hit unexpectedly!

So what is the solution to the problem? How do we perform bubble-free diving? The cause and effect of bubbles can be addressed at three levels; this is where the future of decompression research lies: (1) managing an optimal economy of decompression – getting to the surface quickly but safely by manipulating ascent rate and deco / safety stop time combinations; (2) reducing / avoiding the formation and migration of bubbles; and (3) reducing the body’s biological response to bubbles that aggravate the original problem.

Economical Decompression means combining pressure and gas gradients in a way that

allows the most rapid return to the surface while avoiding excessive venous gas bubbles and harmful tissue supersaturation. Ironically, it seems that Haldane’s 2 to 1 concept may have introduced the appropriate solution for a different reason than he envisaged. Rather than actually preventing critical supersaturation, Haldane’s observations provide a clue to the best compromise between the variables of ascent rate and stops in shallow range diving. However, to refine what Haldane found at the extremes of safe decompression, i.e., where failure would probably result in DCS, we are now looking inside the depth-time boundaries that we previously assumed were already safe, but not always.

From a research point of view, waiting for DCS creates a practical problem because it is indeed relatively rare. PDE and DSL have already accumulated over 150,000 dives by some 15,000 divers. Only 41 cases of DCS have been reported. To determine all the parameters for safe diving using the appearance of DCS as an outcome measure, we will need some 100 million dives. Even then, we will not have considered every possible combination. So, if we cannot use DCI as an indicator of increased risk, what can we use? An alternative is to focus on avoiding VGE in addition to monitoring for DCI; this introduces the opportunity to use Doppler.

Between 1995 and 2006, DAN Europe has monitored over 39,000 dives. Using diving black boxes and Obstetric Doppler units, we have been able to start unravelling some vital missing clues in the decompression puzzle... Recent studies by DAN Europe have considered the effects of different ascent rates and stops following two 25-meter dives and generating Doppler bubble scores. Based on the outcome of these and other subsequent studies the following provisional recommendations can be made:

For dives to 25 MSW the best strategy appears to be a Deep Stop at 15 MSW for 2.5 to 5 min (note that 1 min is too short), followed by a Shallow Stop at 3 to 5 MSW for 3 to 5 min – ideally this should be longer than the deep stop. The preferred ascent rate is 10 meters per minute -- neither slower nor faster rates appear more effective.

In summary, “economical decompression” is not about how much time you spend – it is about where you spend your time!





DAN EUROPE'S PFO STUDIES:

**DEFINING IF THERE IS A REAL RISK OF PFO
FOR THE RECREATIONAL DIVER !**

*defining if there is a real risk of PFO
for the recreational diver !*



*Dr. Peter Germonprè, Medical Director,
DAN Europe BeNeLux and French
Speaking Area*

Around the end of the 1980's, several medical reports were published that seemed to indicate that some divers might be more at risk for neurological decompression sickness (DCS) than others. The presence of a condition called "patency of the Foramen Ovale" (PFO) was – according to these reports – much more fre-

quent in divers who had suffered DCS than in other divers. The differences were impressive: about 66% of divers with DCS had PFO, whereas in the "control" group, this was only 20%.

Patency of the foramen ovale is not a disease. Actually, one fourth to thirty percent of all humans have a PFO. Far from being a rare disease, it is actually one of the very few things that remind us of our life before birth. It is a minuscule connection between the right side of the heart and the left side. During our life in the wombs of our mothers, this opening is much bigger. It shunts almost 80% of the venous blood into the left (arterial) side of the circulation, thus bypassing the lungs. Obviously, the lungs are not functional during foetal life – breathing would only result in moving water to and fro. All oxygen is provided by the placental circulation, and the oxygenated blood is flowing into the main central vein of the body (the "inferior caval vein"), and arrives at the venous side of the right heart. From there, rather than taking a rather long and narrow detour through the lungs, it is preferably carried through the foramen ovale to the arterial side, and is pushed into the aorta, the brain and the vital organs by the left ventricle.

Remember what happened immediately after you were born? The doctor or midwife slapped you hard on the buttocks, and you cried out in anger and indignation, didn't you? No, they were not mere sadists – this actually caused you to breathe in maximally, thereby opening your lung's alveoli fully and aspirating fresh air into them. Not only air, also blood: the pressure drops drastically in the pulmonary artery and venous blood is literally aspirated into the pulmonary blood circulation. This in turn results in the pressure in the right heart dropping below the pressure in the left heart, and the valve-like opening that is the foramen ovale, slams shut. Within hours or days, the valve fuses, and the opening is sealed – except for 30% of all humans, where a small, channel-like opening persists. PFOs have little importance in normal life – they never interfere with exercise capacity or general health – but they provide a possible connection from the venous blood to the arterial blood (see Figure 1).

The hypothesis behind these early medical reports was, that if a diver surfaces and has nitrogen bubbles in the blood, these bubbles may be carried through the foramen ovale to the arterial side of the heart and be the cause of decompression sickness. Therefore, PFO is considered a risk factor for decompression sickness.

DAN Europe has rapidly recognised the possible problem with this hypothesis. After all, about 25%-30% of all divers have a PFO – obviously not all of these divers will have an unacceptable risk for DCS! A number of studies have been started to find out more about this phenomenon and the risk that it represents for the diver.

A first study was published in 1998, and pro-

vided a confirmation of the fact that PFO can indeed be the cause of so-called "undeserved" DCS. This is DCS after a dive that was performed while following the accepted decompression "rules" (be it from a dive computer, or dive tables). Using a "gold standard" examination (trans-oesophageal echocardiography, see Figure 2), divers who had suffered from DCS were compared to "identical" divers who had never had DCS. From this study it was concluded that "undeserved" DCS with symptoms pointing to the brain, eyes or ears / vestibular organ as the site of injury, were indeed linked to a higher (up to 80%) presence of (large) PFO. On the other hand, other types

Figure 1 Anatomy of the Patent Foramen Ovale

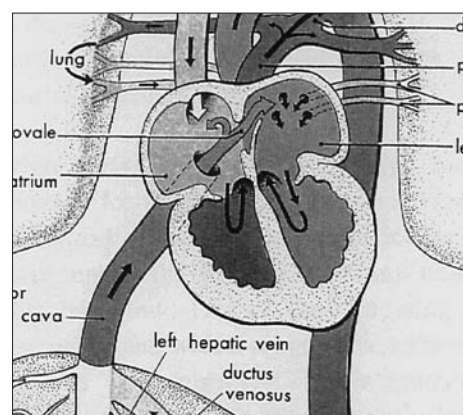
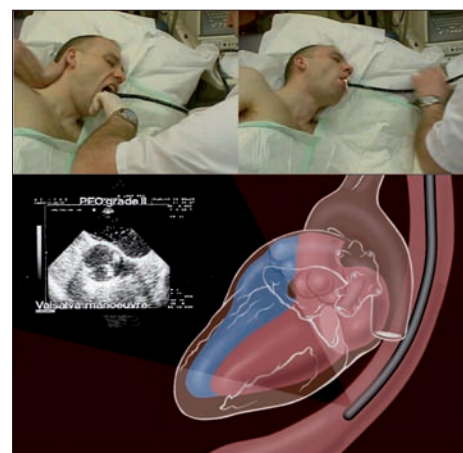


Figure 2 Trans-oesophageal Echocardiography



of DCS (with symptoms of bone and joint injury or lower spinal cord) did not seem to be related to PFO. The results of this study were important, in that it must never be forgotten that the cause of DCS are the decompression bubbles, and that the presence of PFO provides only a pathway of shunting to the arterial circulation. Not all "undeserved" DCS can be linked to the presence of PFO, meaning that there are other mechanisms by which decompression bubbles become "pathologic". A second study determined more precisely the circumstances under which the PFO may open, to allow passage from venous blood to

the arterial side of the heart. Measuring the intrathoracic pressures in volunteer divers, we could confirm that some manoeuvres are probably more “dangerous” to perform after a dive than others. Examples are: lifting of heavy weights (air tanks!), performing strenuous exercise, blocking the air in the lungs and “push” in the abdomen (examples are: pushing oneself aboard a Zodiac, or pushing to empty your bowels). Apart from the manoeuvres themselves, the duration of blocking the respiration is important. Briefly explained, while increasing the pressure of the air in the lung, the blood is “kept away” outside the rib cage and cannot enter the right heart. Upon “release”, this blood will rush into the heart, temporarily increasing the pressure at the right side above that on the left side. This may open the PFO for a few seconds, enough for blood (and bubbles) to pass.

Around this time (1997-1998), other reports began to “emerge”, indicating a health risk of diving with PFO, even if the diver never suffered from DCS. Using magnetic resonance imaging brain scanning, these researchers found more and larger “white spots” in the brain in a group of divers with PFO than in divers without PFO. The hypothesis was that even if the bubbles that went through the PFO did not cause symptoms of DCS, they nevertheless were embolised into the brain, and could cause permanent damage there. Needless to say, these reports caused a great deal of panic among the divers.

Again, DAN Europe research tried to verify if these assumptions were correct. After all, it is well known that bubbles that cause neurological DCS can cause permanent brain damage. It is also known that divers often do not mention symptoms of DCS, even if they are serious and should require at least a medical evaluation and maybe recompression treatment (e.g. unexplained dizziness and nausea after a dive). Therefore, if a diver has had several of these episodes, if “white spots” are found at the brain scan, it can be argued that these are the consequence of DCS and not of simply “diving with PFO”. Again, the cause of DCS is bubbles, not the PFO itself.

The results of the DAN Europe study were reassuring however: 44 experienced divers, picked at random from a population of suitable volunteers, were examined using state-of-the-art medical techniques in brain scanning, cardiac echocardiography and neuropsychological testing. No significant differences could be seen between divers with or without PFO, indicating that there may have been a problem with the techniques or volunteers used in previous studies.

Actually, it turns out that we are not even sure the “white spots” seen on brain scans in some divers (and, incidentally, also in non-divers from 40 years on) are the consequence of something “embolising” the brain. Fractal analysis of brain scans (another DAN Europe Research project) could find more similarities

with the lesions of immunologic diseases than with vascular problems. One could speculate whether these “unidentified bright objects” (UBOs) are actually pathologic, or just part of the normal aging process... In any case, it is now clear that divers who dive according to DAN’s safety rules in no-decompression diving and have never had DCS, do not have a higher risk for such UBOs !

The controversy however still exists, and many divers are asking to be examined for PFO, although it is most likely that there is absolutely no need to worry about it in recreational, no-decompression diving. Therefore, DAN Europe has started a final, so-called “prospective” study to determine the “real” risk of diving with a PFO: the DAN Carotis Doppler Study.

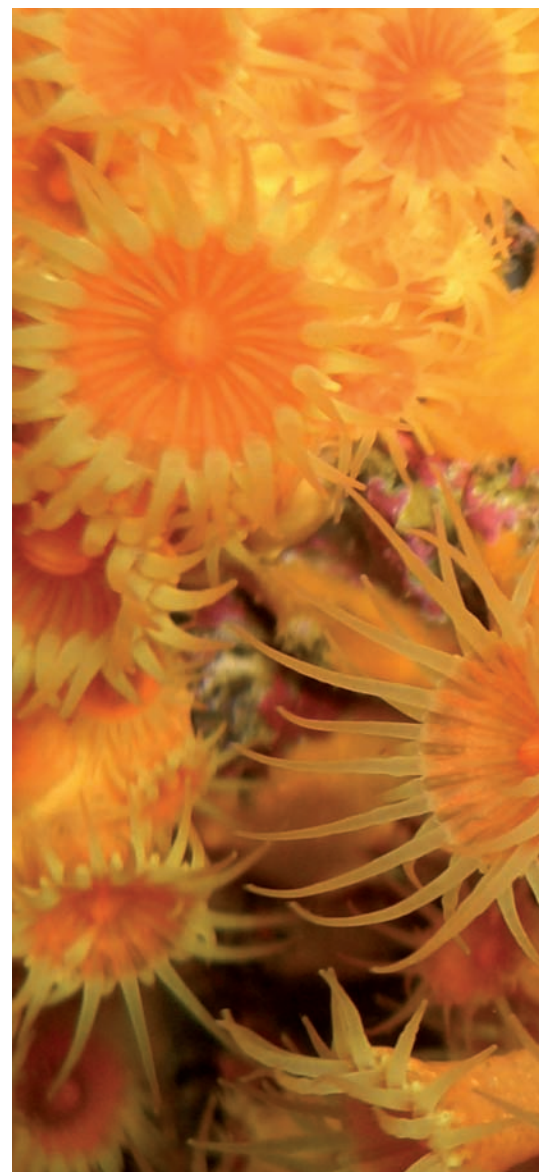
PFO risk and role in “undeserved” DCI: fact or fiction

The problem, of course, is that in all these studies, one starts out with a group of divers that have had a serious, but extremely rare problem: DCS. Decompression sickness occurs in the order of once in 10.000 dives, depending of course on the type of diving performed. For example, cold water wreck diving carried a much higher risk (about 1 in 1000) whereas recreational no-decompression diving has a much lower risk (about 1 in 35.000 according to DAN Europe statistics). Once again, this depends primarily on the number of decompression bubbles present in the diver’s venous blood when surfacing !

As we know that approximately 25-30% of all divers have a possible connection between the venous and the arterial side of the heart through the PFO, it not difficult to understand that among those who have a DCS, many will have a PFO (in fact, about 80%). What is somewhat less easy to understand, is that all those other divers with a PFO, have done a large number of dives without ever suffering DCS.

In other words, even if the risk for DCS is, let’s say, twofold higher when a diver has a PFO, this risk will still be negligible if the dives are not generating any significant number of bubbles. This can easily be achieved by adhering to “safe” diving practices. In fact, many recreational divers will never perform more than a thousand dives in their lifetime, so a risk of one DCS per 17.500 is close to a “zero risk”. However, as there are many factors in DCS that we do not know yet, no-one can guarantee a diver a dive totally free of DCS risk. In all PFO related studies, a number of divers has had an “undeserved” DCS without having a PFO. The cause of these DCS cases is clearly related to other factors. There may be other, possibly pulmonary – shunts that allow bubbles in the arterial circulation. DCS can be caused by venous blockage by bubbles at the tissues themselves (e.g. spinal cord DCS, osteo-articular DCS...).

By searching for a PFO, only a part of the risk



will be clarified. If the above is not taken into consideration, the danger is of course that there will be a false sense of security: “I do not have PFO, so I can push the limits a bit farther than someone with a PFO”. Of course, this attitude will sooner or later lead to a serious problem!

Can this PFO be closed ?

When a diver has “discovered” that he/she has

Figure 3 Carotid Doppler Examination





Photo by Roberto Ugnutu

a PFO, the next question comes inevitably: “What can be done about it?”. PFO closure used to be a dangerous procedure, necessitating opening of the chest, and open heart surgery with a heart-lung machine.

During the last 15 years, devices have been developed that allow closure of the PFO through a simple catheterisation technique, where the only “trace” is a puncture wound in the inguinal vein. Those so-called “umbrella devices” are more and more used, not for divers but mainly for people who’ve suffered from “unexplained stroke”. Not surprisingly, many divers are enquiring about the possibility to close their PFO in order to reduce the risk in diving. What about it, and can it be recommended?

First of all, again we have to look at the different risks involved.

The risk of DCS while SCUBA diving on a safe, recreational way, is very low, even if one has a PFO. Let’s assume 1 in 10.000 dives.

The immediate risk of the closing procedure is not very high, but lies around 0.5 to 1% (1 per

100). After all, the procedure is done under general anaesthesia, a transoesophageal echocardiography is needed, there is a puncture and placement of a large catheter in a large vein that is advanced into the heart. There are sometimes complications in placing the device, such as technical difficulties or improper positioning of the umbrella device. Although mortal or life-threatening complications are rare, they do occur.

In about 5-10% of cases, problems with the heart rhythm occur after the procedure, necessitating sometimes prolonged anti-arrhythmic medication.

As the device is a “foreign body” placed into the blood, the patient needs to take anti-clotting medication for about 4 to 6 months – during this period, there is a risk for uncontrolled bleeding.

Finally, no-one really knows what will happen with these devices in, let’s say, 20 years from now. After all, they only exist since less than 15 years! Will they degenerate and cause a large “hole” in the septum? Will they migrate and

“break loose” in the arterial circulation? Will they cause new and possibly difficult-to-treat rhythm disturbances? Nobody can tell.

Even in the context of “unexplained stroke” (blood clots passing through the PFO and shooting to the brain) there is much debate among cardiologists and neurologists, whether we should go through the trouble of closing the PFO. It seems that taking a simple low-dose aspirin pill may be almost equally efficient, without all these extra risks and side effects!

Whether a recreational activity such as SCUBA diving can justify the risks (and financial burden!) of PFO closure, can be even more debated. After all, we can offer an equally sound advice: dive safe, no-decompression profiles and you’ll be “as good as the next guy”! If you’re a professional diver, having to take big decompression risks for a living, you might make a different “risk-benefit evaluation”. However, for the “normal” recreational diver, it may not be worth it.

The DAN Europe Carotid Doppler Study: an update

In order to determine the “real-life” risk of diving with a PFO, a so-called “prospective” study is needed. This implies the testing of a large number of divers, letting them dive normally for a certain period of time, collecting the data (number of dives, number of DCS) and comparing the group of divers with a PFO versus the group without a PFO. Statistically speaking, taking into account the average number of dives each diver makes every year



and the relatively low incidence of DCS, 4000 divers need to be tested and followed up for about 5 years. This is what the “DAN Europe Carotid Doppler prospective study on the risk of diving with a right-to-left shunt (PFO)” (wow!) is all about.

How can you test a diver for PFO? Obviously, the most reliable method is an echocardiography, even better, a “transoesophageal echocardiography”. This is a not-so-pleasant examination that involves costly equipment to be introduced by mouth into the oesophagus, to visually observe the heart while some contrast fluid is injected in an arm vein. The logistical problems in applying this kind of testing on a large scale are insurmountable. Therefore, DAN Europe Research has developed and tested (“validated”) a much simpler way of finding out whether someone has a “right-to-left” shunt. This method is called “Carotid Doppler Ultrasound” and, while it also involves the injecting of contrast medium (“normal saline” solution) in the blood, the scanning itself is done by means of a simple Doppler probe placed on the skin at the neck region (see Picture 3). The whole test takes about 10-15 minutes, and apart from the needle prick, is totally painless. This makes it ideal for large-scale screening, even if the results are not in 100% of cases identical to echocardiography (for those into statistics, it has a sensitivity of 100% and a specificity of 88%). By adhering to strict standards of execution, it is easy to obtain a reliable reproducible result.

So far for the test procedure – now how do we get the test subjects? A-ha! This is where you come into the picture. DAN Europe Research has sought (and is still seeking) the collaboration of diving doctors in different countries, has given them a formal training in the procedure and obtained their co-operation in performing the tests independently in their “home base”. So far, investigators are active in Belgium, Switzerland, Austria, Germany, Italy and South Africa. More investigators are planned in other countries. Each investigator invests plenty of his time to help advance the knowledge about PFO and the real risk of it for diving – wouldn't it be great if the divers themselves could be just as enthusiastic to participate in this research project?

Basically, the “hypothesis” of the study is a positive one: DAN would like to prove that PFOs need not be a cause for concern in a normal, safe-diving population. After all, we are convinced that diving is generally very safe, and that recreational diving in particular has a sufficient safety margin not to have to worry about a PFO.

The results of the testing can, for obvious reasons, not be given to the diver immediately. Only after 5 years, when the study period for the diver is over, he/she will be given the chance to know the result. The study has been formally approved by DAN Europe's Ethical Committee and by Committees for Biomedical Ethics in Belgium, South Africa, the UK and Austria as a Human Research Protocol. This means that any diver will sign an Informed Consent Form, after having received full and satisfactory explanation of the scope of the study and the procedures involved

The results of the study will only be known in

a few years' time, and will be widely distributed through scientific literature, the DAN Europe publications and popular diving press. Until then, of course, work has to be done! Volunteer divers can contact one of the investigators close to where they live, in order to participate. If no investigator is currently active in your area, don't despair! Every year, new investigators are trained and start testing – just visit regularly the DAN Europe Website, Research Section.

PFO and Divers: “take home message”

So what can we conclude from the current PFO research? First of all, never panic. PFO is a possible cause for passage (“shunting”) of nitrogen bubbles after a dive, even when within the limits (but close to) decompression. In some circumstances, this can lead to so-called “undeserved DCS”.

The risk for DCS is however so small in safe, recreational diving, that even with a PFO (as a reminder, about 25-30% of all divers has one!) the risk remains sufficiently small in order not to be worried about.

Closure of a PFO in a diver who has never had DCS and who dives purely in a recreational and safe way, is probably nonsense. In divers who have had DCS, an individual evaluation can be made, but in most cases, the risks and unknowns of the procedure will counterbalance the possible benefits (if any).

In fact, the discussion must be brought to another level. Divers should be much more aware that up until now, no single dive computer or table is able to perfectly simulate decompression physiology in a correct and individualised manner. Therefore, even if a large “safety margin” is calculated into their algorithms, dive computers cannot and will never completely prevent DCS from happening. Therefore, it is wise not to “believe” everything your dive computer tells you, and to not “push to the limits” of your computer (or table). In other words: it is best to keep always well within the “no-deco” zone of your computer. There are other, well-known and accepted rules for “safe diving”: do not dive excessively after a prolonged period of inactivity, do not perform “reverse” dive profiles, always make a “safety stop” at the end of your dive... just to name a few. Even better: why not use Nitrox as a dive gas – but be sure to keep your computer set to “air” and follow the same rules – you will reduce your risk for DCS in a much more efficient way than by worrying about your PFO!

DAN Europe is currently researching other ways to further reduce the presence of nitrogen bubbles after a dive, such as a “deep stop” – keep yourself informed of these new or novel research projects!



THE DAN EUROPE DIVING PHYSIOLOGY

Research Laboratory in Bruxelles and the main results of its research projects

Prof. Costantino Balestra, DAN Europe Vice President for Research and Education, Director DAN Europe BeNeLux

Ecography

The actual research in diving physiology is moving towards new means to investigate divers in the field. Until today, the Doppler scanning of divers was the most common and still in use, system used to detect venous gas emboli

after a dive.

This led to a grading of the Doppler sound with several different ways of grading, nevertheless, all these semi-quantifications of the Doppler sound have a limitation: they're not linear. This means that



Photo by Roberto Ugnutu

a grade 2 is not the double amount of bubbles that grade 1. This situation doesn't allow to perform high level of statistically predictive calculations. A mean had to be chosen to linearize the bubble "grading" into a bubble "counting". (Brubakk et al., 2005) This can be achieved with an echographer. Of course this kind of equipment is expensive and essentially found in clinical environment, thus it was very hard to use it for divers since the "time window" needed to detect the circulating bubbles was incompatible with a transportation of the diver to a hospital and undergo an echocardiography for bubbles visualization (Boussuges et al., 1998; Boussuges et al., 1999; Carturan et al., 2000; Carturan et al., 2002). The new technologies have produced very small echographers and relatively affordables for in field bubble counting. The predictive impact of these measurements will be very interesting for the future of the Dive Safety. We are actually using two ways of bubbles counting, one automatic with a home made PC program and of course manually. The consensus for the bubbles counting is actually based on at least 10 heart beats and expressed in bubbles per square centimetre with the 1 cm² window in the right ventricle. The right ventricle is more adapted for bubble counting in a four chambers view, since the right atrium can present some "redundant" bubbles that will be counted twice.

Another interesting way to use echography in divers is the measurement of Flow Mediated Dilation (FMD) after a dive. It has been shown that the endothelium reactions can be altered after a dive, and it is assumed that the presence of silent bubbles can impair the endothelium, produce some endothelium derived microparticles that will be carried out through the blood stream and produce vascular reactions at distance, even in the arterial part of our vascular system. These findings are of major interest since the presence of shunts such as the Patent Foramen Ovale in the heart is not needed anymore to explain "undeserved" decompression accidents. New data in the field are needed to better understand decompression since the physiopathologic model is not as simple as the occlusive, harmful bubble.

Diving, Oxygen and EPO (Erythropoietin)

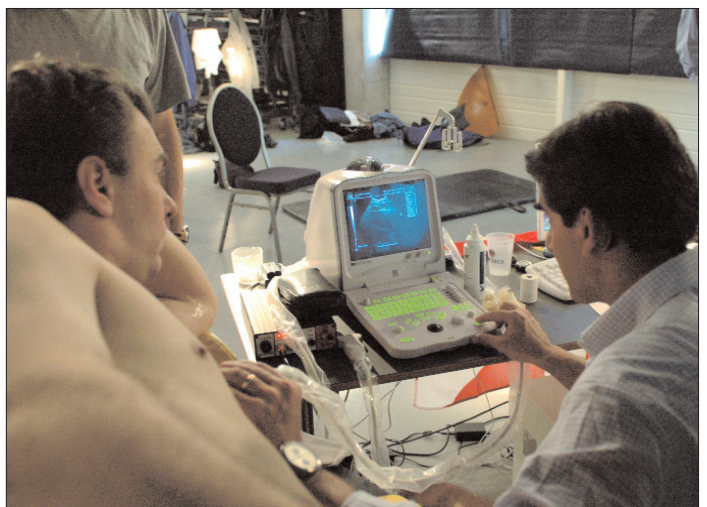
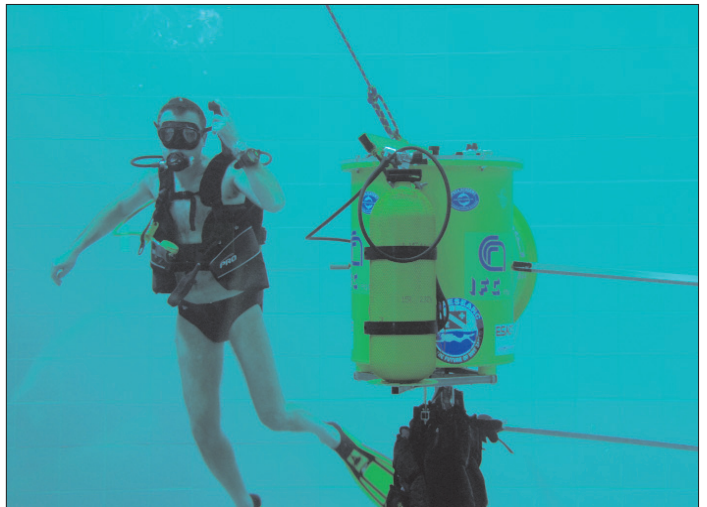
A few experiments have been achieved on breathhold divers; we measured different parameters after a set of 5 dives at 40 m depth performed in a 2 hours laptime. The major finding in these measurements was the increase of EPO in 2 individuals of the group of 9 divers.

The increase was such that it became clinically relevant. The actually accepted trigger for EPO production is essentially tissular hypoxia. In this case of the apneists, the relevance of hypoxia was very hard to consider since the diver in depth is in hyperoxia conditions, and, if some hypoxia will occur during the ascent, the time course of such hypoxia will be extremely short and can not fit with the actual point of view accepted in the literature to trigger EPO production.

To understand the phenomenon, we asked 15 volunteers to participate in a controlled study done in the hyperbaric centre. They had to come three times for 36 hours a time and accepted to give blood samples at predetermined time schedules.

The first time they just had to give their blood samples to establish their own standard curve of EPO production, as you know, since EPO is an hormone, the circadian variations are significant. The second time they had to breathe pure oxygen for two hours and perform 10 knee bents every 10 minutes. This protocol was made to fit the 5 ata exposure of the apnea divers at 40 m depth with a 20% oxygen and 80% N₂ (atmospheric air) mixture that filled their lungs. The 100% oxygen breathing was thus what we had to do at atmospheric pressure, the exercises were performed to keep a more or less constant blood flow all over the tissues, this will allow a better denitrogenation during the oxygen breathing. The third time, they had to come back and be pressurized at 2,5 ata in the hyperbaric chamber to see the supposed EPO response.

The results were amazing, the normobaric oxygen exposure gave a 60% increase of endogenous EPO after 36 hours, the Hyperbaric



treatment gave a reduction of endogenous EPO (Balestra et al., 2006).

These findings, originated by the diving measurements, showed a particular role of the oxygen in the production of EPO in humans we called the “normobaric Oxygen paradox” and will be a promising trend for the future even at the patient bed.....not only in the diving field.

Diving and the Lymphatic System

The extravascular bubbles quest or the famous “de novo” bubbles are for decompression research like “Nessy”, the famous monster of the Loch Ness in Scotland. Everybody guesses that there are possibly some extravascular decompression bubbles but no clear answers are accepted yet. What is actually admitted is that if those bubble exists, they should be very small.

Looking upon the model of the decompression bubble, it's considered and accepted that after being released, the bubble will be “coated” with a lot of reactive agents; if then the bubble happens to become extravascular, what happens?

The system which is charged to take care of the extravascular proteins or protein coated “unidentified objects” is the lymphatic system. We wanted to know if the actually proposed protocols of oxygen first aid after a diving accident were also prone to help the lymphatic system to increase it's captation of those “extravascular objects”. Some volunteers came to the lab and we injected them subcutaneously a mix of marked proteins in the first dorsal interosseous space; those marked proteins will be traced by means of a gamma camera in the axillary zone which is known to present a lot of lymph nodes.

During the experiment 30 min of oxygen breathing were given to the subject while being under the gamma camera. Then the same experiment was performed without oxygen breathing. The protein captation speed and quantity markedly increase during the oxygen breathing showing that the actually proposed first aid protocols for divers are of benefit even for extravascular small emboli (Balestra et al., 2004b) .

Diving and HSP (Heat Shock Protein)

Heat shock proteins are the actually best “chaperones” of our cells.after an induced stress to the cell (mainly environmental) the proteins that compose the cells can be altered; a protein is a complex folded structure that can be unfolded by the applied “stress” (heat for instance), the HSP are there to repair the unfolded proteins and drive them back to the adequate folding.

This has been shown to be of benefit in counteract the side effect of chemotherapy in cancer disease.

It has been shown as well that the presence of HSP can have a protective effect on de decompressing diver.

A few reports in the literature seem to show that a mild warming of the body will be able to induce HSP in humans. DAN Europe is actually conducting a study on pre-dive warming of divers to analyze the impact of this pre-treatment on bubbles formation.



Diving, Vibration and Bubbles

A few reports showed amazing stories of dangerous decompression procedures after deep dives without DCS symptoms. Many of these “super divers” claim to have a “special

physiology” helping them to cope with the decompression stress. Some even declare that they feel the decompression bubbles growing into their veins and arrest the safety stops when that feeling disappears....

A particular story came out from an old diver that claimed to be protected from decompression sickness by the extensive use of the pneumatic boat prior the dive; the explanation that he gives was a fuzzy story about the pre-dive micro emboli being removed by the vibration effect.....

We tried then to vibrate volunteer divers prior the standardized dive in a controlled environment. After 30 minutes of whole body vibration by means of a vibration plate, we observed a reduction of post dive venous gas emboli. We measured the production of nitrogen monoxide by the endothelium after such a treatment, but, no significant increase was found. A new protocol is now ongoing using a vibrating mat instead of a plate. The FMD measurements after whole body vibrations failed to demonstrate any increase of NO production. A new tool is actually in test: a vibration mat instead of a plate, this can perhaps change the body reactions and particularly the vascular reactions since the vibrations are mainly axial with this device. Many data are still needed to understand the underlying mechanism, it's much too soon to suggest any vibration pre-treatment for the divers.

Thermoregulation and Diving

Keeping a stable temperature is a challenge well known for every immersed human. The evolution of the diving techniques allows today to stay longer in water with adequate breathing gases or rebreathers, but also permit some populations more easily touched by hypothermia such as children to enter the diving world (Doubt, 1996; Panchard, 2002).

A more challenging question is related to the post dive venous gas emboli related to the temperature of the water. According to our experience in dopplering divers, we found a relation between the skin temperature and the post dive bubble grade. How can the skin temperature be linked to the bubble grade? Our hypothesis relies on the possible role of the skin as a “reservoir” of nitrogen. As you know the skin is the widest “organ” of the body (except endothelium). If this well vascularised tissue can store a lot of nitrogen a link

could be found with the bubble grade peak that we find after more or less one hour post dive.

We are trying to measure the skin temperature all along the dive in several strategic spots on the skin, and afterwards keeping the tem-



perature records for two hours after the dive to see if the temperature variation of the skin can be related to the Doppler grade peaks.

Diving, Dehydration and DCI

It is assumed that a diver is dehydrated. This can be understandable if we consider the immersion diuresis a very well known phenomenon that occurs in swimming pools and which is of course hygienically speaking not really accepted.

During your immersion in water, the venous return increases to the heart and the right atrium enlarges its diameter, this will lead to the



production of a particular peptide, the so called atrial natriuretic peptide (ANP), this peptide is produced and released to the blood stream in response to the enlargement of the atrium which is understood by the body as an increase in blood volume.

The best way for the body to reduce the blood volume is to reduce water content of the blood with an increase of water excretion by means of the micturation. This also called "P phenomenon" is due to the inhibition of the antidiuretic hormone by the ANP.

According to all this everybody agrees on the fact that a diver is dehydrated at least for these environmental parameters. Of course if you add the hot environment and the sweating that the divers encounter during the pre-dive time, the dehydration must be present.

Taking a look to the scientific literature, the data that can be found to show this phenomenon are exclusively related to the injured divers (Boussuges et al., 1996)....other diverging data can be found in non injured divers, DAN is actually organizing diving trips where different parameters such as hematocrit (blood concentration), urine specific gravity (urine concentration) and whole body bioimpedance measurement (extracellular hydration) are measured to reach a better understanding of what happens to the diver's fluids during the dive.

The preliminary results suggest a change of fluids from the extravascular to the vascular compartment to compensate the fluid loss promoted by the P phenomenon. This study is actually ongoing and will help a lot in understanding the undeserved diving accidents that could perhaps be explained by an oversaturation in nitrogen of the dehydrated tissues.

Diving and the Temporo-Mandibular Joint (TMJ)

The temporomandibular joint is the most used joint in our entire life. This is a complex joint with ligaments and internal lamina (meniscus) just as the knee joint. In top of these peculiarities, the TMJ is linked in its rear region to a neurovascular bundle which connects with some cranial nerves. This special architecture leads to a particular stress during the advancement of the intra-articular lamina (in the wide open mouth position).

A significant number of divers (around 15%) report complaints in

the TMJ region or after dive headaches. DAN achieved a research protocol that aimed to understand the reasons of such the painful experiences. A group of 15 divers accepted to be scanned in their temporomandibular region during a MRI investigation. The scans were performed in three different mouth positions. The closed mouth position was considered as the reference, then the wide open (with a 4 cm of diameter plastic tube inserted in mouth) and finally a standard mouth piece kept in place.

The results showed a forward displacement of the internal lamina comparable to the wide open mouth position during the mouthpiece holding sequence. This displacement showed a clear tension of the retrolaminar neurovascular bundle which is obviously prone to elicit myalgia or headache (Balestra et al., 2004a). During the dive the mouthpiece is kept in mouth for a prolonged amount of time, if you just imagine that this can be compared to a wide opened mouth, it's understandable that it can induce pain.

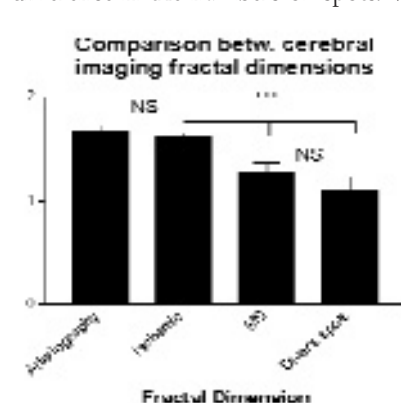
New data are needed and a new protocol is now starting on thermomoulded mouthpieces. This new protocol is aimed to analyze the biomechanical analysis of the TMJ displacements by means of moulded prints of the teeth mounted on an articulator and professionally moulded mouthpieces that will be tested on the articulator and then given to the divers to measure the beneficial effect on the painful episodes.

Diving and Brain Damage: The Mystery of UBOs

When a doctor sees a lot of white spots on a brain MRI he's worried for the patient. These UBOs (Unidentified Bright Objects) are lesion like spots that can be found in asymptomatic individuals as well as in divers.

A few studies have been published showing a link between diving and the UBOs. We believe, that in a lot of studies such as Geneva memory study that we all know in this field, there is a problem with self selection bias. A lot of divers experience a kind of mild decompression disease, cerebral decompression disease, transient decompression disease with a few bubbles just passing through, but without noticing it and considering this as a normal symptom after a dive.

They enrol for the study....and of course you find some hits. And this for instance, some papers have been written like the Knauth paper (Knauth et al., 1997), explaining that there is a clear connection between PFO and these kind of hits in the brain. We also did this kind of study in order to be sure, and of course we tried to avoid this self selection bias, so we randomised divers, out of 200 volunteers and we looked for different lesion like spots in divers, we found 4. Then we also looked at non divers and we found 3. So if we compare those 2 populations, there is no difference. There is no difference in the numbers of spots. What you need to know from



this population of divers, is that we had 56% with PFO. So, if PFO was really related to these kind of spots in the brain, of course then we should have had much more than the other population. So it's not clear for us.

We still have another problem, are those UBOs some lesions? Are those UBOs related to vascular, let's say thrombotic





Photo by Tania Novikova

events?

The best way to be sure of that is to go for forensic medicine. So we tried to find a few volunteers for another technique.

Fractal mathematics are trying to explain structure and spatial distribution. Performing the so called “box counting” method gives what is called fractal dimension. This fractal dimension is a way of explaining complexity and distribution. That’s what we wanted to look at. The major peculiarity of the fractals of mathematics is called self similarity. So what is coming from the same pattern has the same kind of distribution; this is in part the chaos theory, it’s not linear. So we did that kind of analysis with the spots found in diver’s brains, we compared the fractal dimension found to images of well established thrombotic events (of a non diving population). Then we compared also to multiple sclerosis spots (non thrombotic) and everything was compared to the fractal dimension of vascular arborisation in the brain.

According to the fractal self-similarity, every spot that is coming from the vascular bed should have a compatible fractal dimension, and of course every spot which is not related to the vascular system a non compatible fractal dimension.

The angiography of thrombotic events, no significant difference in mean fractal dimension. This is normal. Multiple sclerosis, you see a difference between arteriography ischemic or thrombotic events, of course you have a high difference, because they are not coming from the same site. And if you look at the diver’s spot, you’ll also find that

there’s a great difference with the arterial bed. So we actually are not even sure that these spots are related to thrombotic events

Actually as far as we can say there is no clear cut in brain damage in recreational divers and no real, correlation or link between PFOs and these kind of spots. (Balestra et al., 2004c)

Breath-Hold Diving

A lot of new elements in apnea understanding are emerging today; specially since a few records in breath-hold diving just came out, for instance the amazing 209 m of depth by Patrick Musimu. This will open really new reflexions on apnea, since the major problems that had to be taken into account previously were principally related to hypoxia, the depths actually reached are even compatible with high pressure nervous syndrome.

Other interesting pathways of understanding extreme apnoeas are related to the physiology of fatigue. According to our tests on extreme apnoeas, a link seems to be present with a particular control phenomenon known in the fatigue mechanism during muscular contractions and the central control of respiration. This has recently been partially shown and seems to be an interesting direction to follow (Duchateau et al., 2002).





DAN EUROPE RESEARCH AT WORK!

FOR THE FIRST TIME IN THE HISTORY OF RECREATIONAL DIVING MEDICAL RESEARCH, A UNIVERSITY-LEVEL, ADVANCED PHYSIOLOGICAL RESEARCH LABORATORY AT WORK “IN THE FIELD” MONITORING MULTIPLE, UNRESTRICTED RECREATIONAL AND TECHNICAL DIVES TO IMPROVE DIVING MEDICINE KNOWLEDGE AND TO PREVENT RECREATIONAL DIVING ACCIDENTS.

By *Laura Marroni*

“Obtaining important data for our research project on diving safety, directly from real unrestricted dives, and in such a quantity to reach scientifically valid significance”: this was the goal of the DAN Europe Research Team who participated in the “Technical & Extreme Diving Scientific Research Event”, which took place in Tronzano, Lago Maggiore, Italy on September 30th

and October 1st, 2006.

The event, efficiently organized by the Italian Underwater Training Agency PTA, implied multiple contemporary dives in the Lago Maggiore waters, ranging from 40 to 130 meters of depth.

The divers, who had all volunteered to participate in the event and included Nuno Gomes, the internationally known deep trimix diving Recordman, accepted to undergo a series of

multiple medical and physiological assessments and non-invasive physiological research procedures, carried out by the DAN Europe Research Team, both before and after their dives.

All the dives were made according to dive profiles freely chosen and planned by the divers themselves, but were all carefully and effectively organized and controlled, logistically as well as for the safety aspects, by PTA.



Photo by Tania Novikova

mfw, with compressed air, nitrox, trimix and rebreathers.

In a different setting, achieving the same quantity of data and field-testing all these investigation procedures, would have simply implied months, if not more, not to speak about costs and logistic difficulties!”

The massive data collection was possible thanks to the deployment of a complex physiological field laboratory, designed and implemented by the Italo-Belgian DAN Europe Research Team, lead by Prof Alessandro Marroni and by Prof Costantino Balestra, DAN Europe Vice President Research and Education and Director of the DAN Europe BeNeLux Area, with the contribution of the Research Team of the Institute of Clinical Physiology of the Italian National Research Institute and the University of Pisa, Italy, with whom DAN Europe actively cooperates for many diving research projects.

“We collected the dive data according to our standard Diving Safety Laboratory (DSL) procedure,” says Massimo Pieri, DAN Europe



The “Doppler” Team



The DAN Europe Research Team



The Tents hosting the DAN Europe Field Research Laboratory



“It just was a unique opportunity we could not miss.”, said DAN Europe President Prof Alessandro Marroni, “We could complete mul-

tiples and complex diving physiology investigations, in only one day, on almost 100 divers, diving freely planned dives to depths down to 130

Dive Data Collection Coordinator, “including specific questionnaires, dive profile downloading, and post dive precordial doppler recording on all divers by the DAN Research Operators of the “Sub Novara Laghi” and “Sub Del Lago” Dive Clubs.

Additionally we also set up a full physiological investigation laboratory to better understand the risk and the physiology of decompression, through a series of investigations which included cardiac ecography, body fluid exchange studies, gas micronuclei elimination, and the biological response to decompression stress”

All the volunteer divers underwent the following assessment routine:

- Pre-dive physiological assessments
- Dive
- Post-dive Precordial Doppler Recording
- Post-dive repetition of physiological assessments

To make all this possible and smoothly running, while avoiding over-crowding of the physiological assessment stations, the divers were divided into teams of four and the laboratory was arranged into research stations, by type of assessment, so that the diving teams could easily rotate from one station to the other.

The first Research Station was devoted to

- Doppler Recording
- Download of the dive profiles



Post Dive Doppler Recording



Dive Profile Downloading

The second Research Station was for:

- Total Body Impedance measurement (a way to measure fluid exchange between body tissues and compartments);
- Urine Specific Gravity (a further way to monitor body fluid balance);
- Hematocrit (the proportion between Blood Cells and Blood Plasma, which is affected by the hydration status of the individual).

Nuno Gomes at the Total Body Impedance Station



Capillary Blood sampling for Hematocrit measurement

The third Research Station was the more complex one and regarded:

- combined ecographic-pletismographic measurement of the Flow Mediated Dilatation (FMD) on the brachial artery (indirect monitoring of the effect of diving on the body production of Nitric Oxide and of its variations, as a consequence of the diving and decompression stress);
- Thermal Balance (by measurement of post-dive skin temperature);
- Post-Dive Echocardiography (for the visualization of possible gas bubbles in the heart)



FMD assessment



Skin Temperature measurement

A mobile laboratory, which reached the dive site directly from Germany, was the fourth Research Station and was specially equipped for two quite unique pre-dive conditioning procedures:

- Pre-dive total body vibration, aiming at studying the possibility to deplete the body from pre-existing gas micronuclei in order to optimize decompression and minimize post-dive circulating bubbles);
- total body pre-dive heating, aiming at stimulating the endogenous production of HSP

(Heat Shock Protein), a cell-protective protein which may have a role in protecting tissues from decompression injuries.



The Mobile Laboratory (11), with the total body vibration mattresses (12) and the infra red total body heating cabin (13)



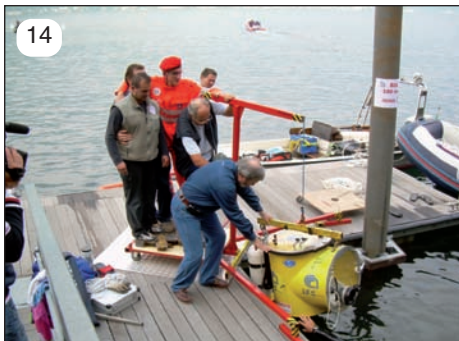
Finally a fifth special "wet research station" was located underwater and dedicated to special experimental investigations, using prototype instruments.

This station involved a pre-selected small group of divers, also members of the DAN Research Team, who underwent the following assessments:

- Metabolic Monitoring and Cardio-Respiratory Performance assessment by real-time, underwater measurement of Oxygen consumption and Carbon Dioxide production during Rebreather Diving, by means of an originally developed water-tight metabolic gas monitor
- Trans-thoracic Echocardiography during decompression from a compressed air dive, by means of a specially adapted Echocardiograph fitted in an originally developed water-tight case (4 ATA max). The divers were wearing an adapted wetsuit, with an opening chest window to allow for the positioning of the ultrasound probe.

This very special and unique equipment has been designed and built at the Istituto di Fisi-

ologia Clinica (Institute of Clinical Physiology) of the CNR (Italian National Research Institute) of Pisa, Italy, and it was originally thought for the investigation of the cardiac response to breath-hold diving. In more recent times this equipment is also being used to evaluate the cardiac response to scuba-diving and decompression stress, and it offers the opportunity to directly visualize possible gas bubbles during the ascent and the decompression phase of a dive. A special Research Team came from the Pisa IFC, to test the Submersible Echocardiograph during this event, under the provisions of the Scientific Cooperation Agreement between DAN and the IFC.



14 *Launching the Submersible Echograph*



15 *The Echograph in its water-tight case*



16 *The specially fitted wetsuit used for underwater echography*

The event concluded with a conference held in Luino, Italy on the following Sunday, October 1st, where the DAN Researchers Alessandro Marroni, Costantino Balestra, Mario Giuseppe Leonardi and Corrado Bonuccelli could explain, in more detail, the reason for the experimentations conducted the day before and illustrate the major results of DAN Europe Research for the Safety of Diving.

“It has been a busy, heavy day” said Prof. Marroni “but, thanks to the efficiency and dedication of the DAN Research Team and the enthusiasm of the volunteer divers, everything went smoothly and the results achieved are far beyond any previous expectation. The quantity and quality of data retrieved is indeed outstanding. Our initial intention and goal was to test the possibility to move “into the field” a level of physiological investigation which is normally found only in pretty sophisticated academic laboratories. We would have been satisfied by simply realizing that this was possible. But at the end of the research day, we realized that not only this level of complex and advanced research is possible “on the field” and on very large groups of divers, but we were also pleased to see that the collected data were not only many in numbers, but also very good in quality and fully scientifically interpretable. This confirms the validity of the field research methodology that DAN designed and implemented, as well as the great value and competence

of each individual member of the DAN Research Team. We are now in the process of analyzing the retrieved data and the results will be published on scientific magazines and on the DAN Europe Alert Diver magazine and Website (www.daneurope.org) in the near future”

Research Dive Day Facts:

- 93 Divers (45 meters -EAN 29: 13; 45 meters - air: 10; 60 meters - air: 38; 70 meters - trimix: 4; 80 meters - trimix: 5; 90 meters - trimix: 2; 100 meters - trimix: 4; 110 meters - trimix: 4; 120 meters - trimix: 4; 130 meters - trimix: 4.
- UW Echocardiography: 3. Rebreather Diving Metabolic Testing: 2)
- 93 downloaded dive profiles
- 93 pre-post dive questionnaires
- 97 Doppler Recordings;
- 440 Physiological Assessments.



DAN Europe heart-felt thanks to: List of all SNL, SDL & BNL Research Team, + All RFOs, ROs and Dive Bases of Safe Dive and DSL

1995 FIRST RFO

COURSE:

- C. Aimo,
- P. Amico,
- A. Andreoli
- M. Ballini,
- S. Bani,
- F. Bertini,
- N. Bianchi,
- E. Cammarata,
- A. Cattaneo,
- E. Cellesi,
- G. Chesler,
- G. Cicuttin,
- L. Cipriani,
- S. Clerici,
- L. Cristini,
- A. Del Piero,
- A. Falciglia,
- M. Genzo,
- M. Giacomini,
- B. Giannantoni,
- R. Giorgetti,
- V. Gnocato,
- T. Gori,
- L. Greco,
- P. Maggiora,
- M. Mattioli,
- A. Neri,
- C. Oggioni,
- L. Santamaria,
- C. Sara,
- K. Schuiling,
- F. Spinelli,
- M. Striano,
- V. Talamona,
- L. Tarozzi,
- A. Trippa,
- M. Vannacci,
- B. Zanna,
- F. Zentilin,
- P. Zoccola.

- Domenico Agatiello
- Antonio Angelone
- Marino Antonietta
- Donato Antonio Cipolla
- Nadia Anzelini
- Selene Arundelli
- Micola Bacchetta
- Pietro Baggolini
- Giovanni Barbaro
- Federico Barigazzi
- Sara Belluomini
- Filippo Benevolenza
- Gianni Benini
- Pascal Bernabé
- Fiorella Bertini
- Giulia Bonelli
- Lorenzo Bongermينو
- Simone Bonifazi
- Renato Bono
- Daniele Bonvicini
- Roberto Bordini
- Alessandro Borsini
- Umberto Bottoni
- Gregorio Bronzino
- Claudio Buccola
- Carlo Bussi
- Ennio Cammarata
- Fabrizio Capizzi
- Giorgio Caramanna
- Giuseppe Casalanguida
- Vito Casamassima
- Nino Castronuovo
- Raffaele Cataldi
- Nicola Catucci
- Francesco Cavallo
- Nicola Chita
- Laura Cipolla
- Vito Cirone
- Alessandro Clivio
- Stefano Colombo
- Giampiero Colonna
- Fabio Confuorti

- Esustachio Coretti
- Raimondo Coretti
- Gianfranco Corna
- Salvatore Cortese
- Manuela Costa
- Roberto Crusciana
- Diego Curri
- Alessandro Damiano
- Francesco De Marchi
- Emiliano De Rossi
- Stefaan Deneweth
- Michele Di Lecce
- Leonardo Di Leva
- Nino Di Livio
- Vincenzo Di Martino
- Nicola Donda
- Luigi Facchin
- Aurélie Farinaux
- Brigitte Farkas
- Cristian Ferrari
- Marzia Ferrone
- Giuseppe Festa
- Cristina Finazzi
- Silvia G.
- Gennaro Galante
- Henry Gérin
- Peter Germonpré
- Andrea Ghisotti
- Guido Gianpaola
- Andrea Gnoni
- Tina Gori
- Armando Groppi
- Fabrizio Guccia
- Walter Hamelryk
- Gwendolyn Hayden
- Claudia Imperiali
- Martin J Green
- Kai Kaasalainen
- Els Knappen
- Pierre Lafère
- Francesco Lanacchia
- Carla Languinati

- Marco Lenzi
- Fabio Leonardi
- Enzo Leone
- Elwis Losito
- Stefano Lugaresi
- Ciro Malfa
- Sergio Malorgio
- Lorenzo Mancini
- Fabio Manganelli
- Valeria Martinelli
- Adriano Martinoli
- Andrea Martinoli
- Nicola Mastromarino
- Antonio Matera
- Lucio Matera
- Roberto Mattivi
- Massimo Maurone
- Remo Mazzoleni
- Giuseppe Mele
- Stefano Mencarelli
- Giuseppe Miglio
- Davide Minghini
- Alessandro Miot
- Antonio Miraglia
- Ettore Miraglia
- Gianni Moliterni
- Tommaso Muliero
- Patrick Musimu
- Chiara Musmeci
- Marco Nadali
- Giuseppe Narciso
- Rupert Obkireher
- Stefano Palmulli
- Enrico Palumbo
- Michele Panettieri
- Gian Paolo Porretti
- Massimo Pasqualini
- Domenico Pellerano
- Riccardo Pepoli
- Daniele Pes
- Lorenzo Pestelli
- Elisa Piscioti

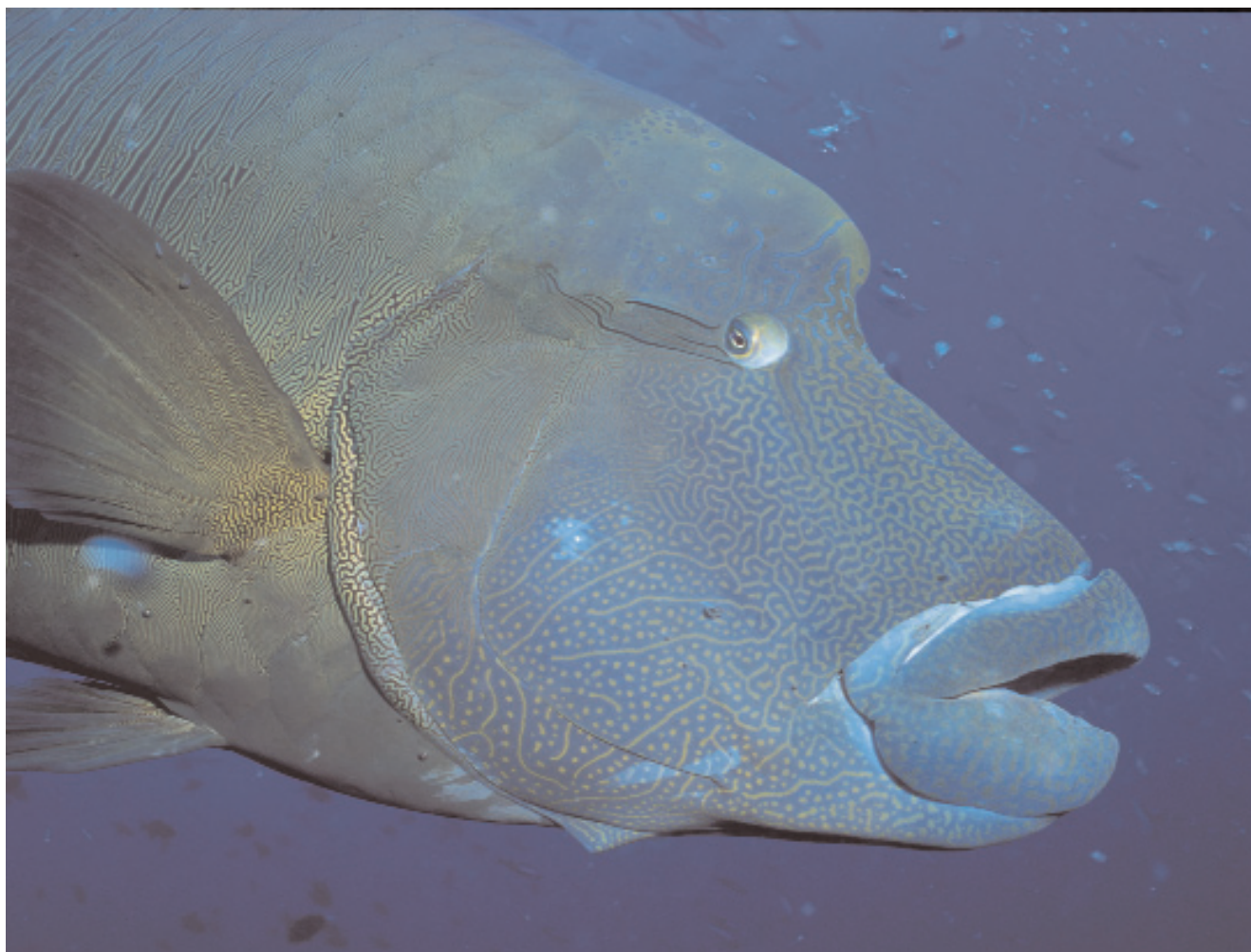
Guidelines and instructions on our website:

Results by the on line jury

Winner

ROBERTO CALVISI

Location of photo: Fish Head - Ari - Maldive - Type of camera used: Nikonos RS - Lens used: 20-35 mm - Film type: Velvia 100



Contest 3rd SESSION 2006

www.daneurope.org/photocontest/eng

Results by the pool of expert underwater photographers:

Paolo Cassinari - Pierfranco Dilenge - Andrea Giulianini

Winner

CHRIS WILDBLOOD

Location of photo: Maldives - Type of camera used: Nikon D70 - Lens used: 17-35 mm - Film type: 10.5mm f2.8





Cari Membri DAN Europe,
Come potete vedere sia dalla copertina che dai titoli, questo numero della vostra "Rivista sulla Sicurezza Subacquea" è interamente dedicato al DAN Europe

Research, che celebra il suo dodicesimo anniversario, ed ai suoi eccezionali ed estremamente gratificanti risultati.

In questo intervallo di tempo il DAN Europe Research Team (Gruppo di Ricerca del DAN Europe) ha progettato e condotto molti importanti progetti di ricerca sulla fisiologia dell'immersione, sulla medicina e sulla sicurezza subacquea, alcuni dei quali hanno fornito dei risultati che ora ci permettono di rivedere alcuni aspetti e procedure della subacquea ricreativa.

Durante questo periodo il DAN Europe Research Team ha prodotto 78 documenti scientifici, presentati a Congressi Internazionali di Medicina Subacquea e pubblicati su Riviste, Libri ed Atti Scientifici Internazionali.

Molti dei progetti di ricerca del DAN Europe hanno fornito risultati che adesso sono diventati un riferimento per la comunità medica e scientifica subacquea.

Fin dall'inizio il metodo di ricerca adottato dal DAN Europe è stato considerato non convenzionale da molti ricercatori, i quali ritenevano che la ricerca scientifica dovesse essere fatta soltanto da ricercatori accademici qualificati, in laboratori adeguatamente attrezzati e con l'assistenza di tecnici altamente preparati ed esperti.

Malgrado ciò sia vero, l'altra faccia della medaglia è che i ricercatori di medicina subacquea, tanto quanto gli esperti in medicina subacquea, sono delle specie rare ed i tecnici di ricerca subacquea qualificati sono ancora più rari.

La conseguenza di tutto ciò è che fin troppo spesso le procedure subacquee, specialmente per quanto concerne la sicurezza delle metodiche di decompressione, sono basate su opinioni (molte e differenti) che derivano da estrapolazioni o da interpolazioni matematiche di un limitato numero di osservazioni scientifiche.

Le attuali incertezze sulla valutazione del rischio di Malattia Da Decompressione (MDD) sono dovute alla carenza di dati; noi non comprendiamo sufficientemente la fase di decompressione perché non abbiamo dati sufficienti, ma le soluzioni devono essere basate sui dati.

Quando il numero dei dati è carente la maggior parte dei modelli decompressivi si basa su operazioni di interpolazione o estrapolazione matematica, ma questo non è in grado di ovviare alla mancanza di dati.

Per ottenere un numero di dati sufficiente abbiamo bisogno che la ricerca sia svolta sul campo, dove vengono effettuate immersioni reali e dove i subacquei sono reali, anziché rimanere confinati in un laboratorio e lavorare con quantitativi di dati forzatamente limitati, anche se questi sono della migliore qualità.

Le soluzioni concrete possono giungere soltanto da un numero estremamente elevato di dati, di immersioni e di osservazioni che riflettano il mondo reale della subacquea e le sue numerose sfaccettature. Questo è stato il difficile obiettivo che si è posto il DAN Europe, quando ebbe inizio il progetto Safe Dive e, successivamente, il Diving Safety Laboratory.

Come è possibile realizzare questo cambiamento? Facendo partecipare i Subacquei e rendendoli parte attiva della Ricerca. Trasformando i Subacquei in "Subacquei Ricercatori", in grado registrare adeguatamente e con precisione le proprie immersioni, secondo una metodologia corretta da un punto di vista scientifico ed epidemiologico e tra-

smettendo i risultati ad un Data Base centrale dove, alla fine, è stato possibile effettuare l'analisi scientifica delle centinaia di migliaia di immersioni reali, raccolte con un metodo uniforme.

Noi ci siamo riusciti ed ora possiamo contare, in tutto il mondo, su di un database di oltre duecentomila immersioni, database che si accresce continuamente e che ci fornisce la possibilità, finora senza precedenti, di effettuare l'analisi epidemiologica e statistica sui molteplici aspetti della sicurezza in immersione, aspetti che spaziano dal comportamento e dalle condizioni dei subacquei alla sicurezza delle procedure di decompressione.

Un altro importante cambiamento nell'approccio del DAN Europe alla "ricerca subacquea fatta dai subacquei e per i subacquei"? Il fatto che abbiamo creduto che i Subacquei potessero realmente offrire molto più della semplice registrazione delle proprie immersioni e della trasmissione dei dati ad un database: abbiamo creduto nei Subacquei, nella loro consapevolezza, nella loro sete per la conoscenza, nel loro interesse per la sicurezza e l'accrescimento delle proprie abilità.

Noi pensavamo che i subacquei potessero fare molto di più che semplicemente annotare le proprie immersioni sul log-book, ma che potessero anche annotare scientificamente i dati significativi, se adeguatamente istruiti a compilare questionari semplici ma completi e perfino a compiere mansioni più complesse, come registrare importanti segnali fisiologici, come i suoni delle bolle di gas circolanti con la registrazione degli ultrasuoni tramite la metodica Doppler, tanto per citare un esempio.

Abbiamo sviluppato e messo a punto apposite tecniche per addestrare i subacquei a raccogliere correttamente tali segnali ed ad applicare le necessarie procedure per il recupero, l'immagazzinamento e la trasmissione dei dati. E ci siamo riusciti!

L'obiettivo finale, un risultato reale che rende i dati già importanti? Alla fine, abbiamo ottenuto una banca dati significativa per l'analisi del rischio in immersione, che servirà da base e strumento con cui confrontare i risultati futuri, i risultati di speciali progetti di ricerca, le differenti tipologie dei profili d'immersione.

Dunque, finalmente, fatti reali e non opinioni circa la sicurezza in immersione.

Sono fiero di tutto ciò e sono riconoscente a tutti voi Subacquei e membri del DAN Europe per il costante supporto alla "vostra" organizzazione di sicurezza subacquea e per le molte immersioni che così tanti di voi hanno già "donato" alla Ricerca.

La sicurezza si basa su informazioni corrette e imparziali: la ricerca fornisce i dati su cui basare le informazioni corrette. Continuate a sostenere la Ricerca Subacquea ed a svolgere un ruolo attivo nella realizzazione del futuro della Sicurezza Subacquea!

Acque Chiare a tutti voi!

*Alessandro Marroni,
Presidente del DAN Europe*

La Storia del DAN Europe Diving Safety Laboratory



Del Dott. Ramiro Cali Corleo, Vice Presidente del DAN Europe, Direttore delle Aree di lingua inglese del DAN Europe

Il progetto di ricerca DSL del DAN Europe (Diving Safety Laboratory - Laboratorio per la Sicurezza In Immersione) ha avuto origine nel 1994 quando, durante l'annuale Congresso Europeo sulla medicina subacquea ed iperbarica tenuto in Norvegia dalla European Underwater Baromedical Society, i Dottori Alessandro Marroni ed Iro Cali-Corleo hanno riunito le loro idee ed hanno elaborato un progetto di ricerca che per la prima volta facesse partecipare attivamente gli istruttori subacquei ed i subacquei stessi.

Questo progetto venne chiamato Safe Dive ed era mirato a ricercare per la prima volta, in maniera sistematica e su larga scala, il modo in cui i subacquei Europei si immergessero, la loro percezione del proprio livello di idoneità fisica e tutti i problemi di salute che potevano derivare da quelle immersioni. Abbastanza stranamente anche il DAN America, l'organizzazione sorella del DAN Europe, stava pensando indipendentemente di osservare scientificamente le immersioni ricreative reali.

Il Safe Dive fu immediatamente pianificato come un ambizioso progetto con l'obiettivo di monitorare un milione di immersioni ricreative.

Questa cifra è stata ricavata dalla proporzione esistente tra la quantità di segnalazioni di incidenti inerenti alla subacquea e la quantità di immersioni necessaria a raggiungere un numero sufficiente di incidenti monitorati che siano quindi in grado di fornire un risultato scientificamente valido, permettendo così alla ricerca di concludersi in maniera concretamente utile per il subacqueo nella valutazione del rischio, quando si immerge.

Il metodo scientifico scelto era quello dell'osservazione, laddove un subacqueo o un istruttore specificamente addestrato designato come RFO (Research Field Operator - Operatore di Ricerca sul Campo) avrebbe controllato le modalità di immersione di un piccolo gruppo di subacquei e raccolto un'accurata registrazione dello stato di salute del subacqueo e delle sue motivazioni prima dell'immersione, l'immersione in sé e qualsiasi osservazione medica susseguente l'immersione. Il RFO, inoltre, avrebbe effettuato una registrazione Doppler dei suoni precordiali cardiaci prima e dopo l'immersione, per evidenziare e successivamente identificare tutte le bolle prodotte dall'immersione presenti nella circolazione sanguigna.

Fu progettato uno specifico dispositivo Doppler per l'utilizzo da parte del RFO ed un metodo di addestramento tramite il quale il subacqueo o l'istruttore avrebbe appreso come utilizzare tale dispositivo, come identificare il suono corretto (tramite l'identificazione del relativo schema sonoro) e quando effettuare la registrazione.

I primi dispositivi, che consistevano in un sistema Doppler standard e di un registratore, erano molto precisi, ma risultarono troppo delicati per l'utilizzo sul campo, pertanto essi furono progressivamente modificati passando attraverso un certo numero di versioni fino al modello attuale, in cui un robusto dispositivo Doppler a tenuta stagna come quello normalmente utilizzato per il parto in acqua, è collegato ad un registratore digitale, assicurando così un segnale adeguato per l'analisi e la durata a lungo termine del dispositivo.

Le immersioni sono state inoltre monitorate per mezzo di un computer subacqueo specificatamente modificato, messo a disposizione da un produttore di computer subacquei, che non visualizzava alcun dato sul suo display (tranne la parola DAN) in modo da non influenzare in alcun modo il subacqueo a modificare il proprio normale schema di immersione. I dati registrati da questi computer sono stati poi riversati su di un unico computer e si è provveduto ad un'accurata catalogazione dei profili di immersione delle immersioni controllate.

Il progetto Safe Dive fu inaugurato con un viaggio speciale di ricerca subacquea a Malta in cui i partecipanti volontari hanno usufruito di una settimana di immersioni, frequentando inoltre lezioni teoriche e sessioni pratiche sul campo.

E' stato gratificante il fatto che tutti i 30 partecipanti si siano qualificati come RFO e da allora, nel corso degli anni, sono stati tenuti un certo numero di ulteriori corsi generalmente associati ad un viaggio subacqueo.

Degni di nota sono stati quelli tenuti sull'imbarcazione MV Duda nelle acque Maltesi ed Italiane, in Mar Rosso in Egitto, ad Oban in Scozia, all'isola d'Elba in Italia ed ad Istria in Croazia. Tutti questi incontri hanno avuto un grosso successo ed hanno prodotto un certo numero di RFO efficienti, entusiasti ed attivi.

Nel 1999 fu stabilita una convenzione formale con l'Uwatec e ciò ha condotto all'avanzamento dal Project Safe Dive al DSL, Laboratorio di Sicurezza Subacqueo, nel quale l'obiettivo è stato allargato per includere nella ricerca il controllo dei profili d'immersione specifici effettuati come simulazioni di immersione in particolari camere iperbariche, allo scopo di identificare quei profili d'immersione e quei modelli di decompressione in grado di provocare una produzione minima o addirittura la totale assenza di bolle.

Inoltre è stato modificato l'intervento dell'istruttore e del subacqueo con l'aggiornamento dell'addestramento da RFO a RT (Tecnico di Ricerca), è stato inserito un nuovo livello di partecipazione attiva, l'RO (Operatore di Ricerca), laddove l'RO monitora i profili d'immersione, ma non effettua nessuna registrazione Doppler. Fino ad ora sono state monitorate oltre 39.000 immersioni e, di queste, oltre 10.000 sono state controllate con il doppler dai RFO/RT.

Il DSL ha subito un ulteriore mutamento in seguito alla cessazione dell'accordo di collaborazione con il produttore di computer subacquei, perciò si è cominciato ad utilizzare un certo numero di dispositivi e computer subacquei differenti per il monitoraggio dei profili d'immersione ed i profili registrati sono stati trasferiti ed inclusi nel database della ricerca.

Attualmente il DSL include anche la ricerca su altri fattori che influenzano la subacquea quali il PFO ed i fattori biochimici e cellulari.

Sebbene il DSL stia ancora lavorando alla banca dati dei risultati, il progetto ha già prodotto pubblicazioni che hanno influenzato i modelli di immersione come la ricerca sulle deep stop (soste in profondità).

Il DSL continuerà ad andare avanti grazie al supporto che sta ricevendo dai subacquei stessi e dalla apposita squadra di ricercatori.

DSL: Dare forma al futuro della Ricerca Medica Subacquea e della Sicurezza



Di Massimo Pieri, Subacquea Safety Laboratory Data Collection Coordinator, e Marzia Ferrone,

DSL Research Operator

Sin dal 1999, quando è stato istituito il laboratorio di ricerca permanente del DAN Europe e denominato DSL (Laboratorio di Sicurezza Subacquea), i risultati acquisiti dal programma di ricerca ci stanno davvero ricompensando. Questo, insieme al non insignificante traguardo delle oltre 39.000 immersioni reali raccolte e completamente controllate, è dovuto principalmente alla entusiastica partecipazione degli operatori di ricerca del DAN Europe, che hanno viaggiato inesorabilmente in giro per l'Europa partecipando a tutti i generi di Eventi inerenti alla Subacquea, ed a tutti i subacquei ricreativi che hanno entusiasticamente "regalato" le proprie immersioni ed alcuni battiti dei propri cuori al DSL ed alle sonde Doppler del DAN Europe per controllare qualsiasi bolla di gas circolante dopo l'immersione.

I recenti sviluppi del DSL e la crescente, mai così stretta collaborazione con il DAN America ed il DAN Southern Africa, ha permesso ulteriori e più emozionanti sviluppi, con l'avvio di uno studio ad-hoc per controllare gli effetti delle variazioni delle modalità di risalita, delle velocità di risalita e delle soste durante la risalita dopo aver effettuato predeterminati profili d'immersione, nella normale gamma della moderna subacquea ricreativa entro i limiti di Non-Decompressione.

In questo studio, un certo numero di subacquei volontari provenienti da alcuni Club di immersione italiani (Inizialmente dal Club Sub Ravenna e successivamente dai Club Sub Novara Laghi e Sub Del Lago) ha accettato di ripetere la stessa immersione di 25 minuti a 25 metri variando i profili di risalita, di velocità di risalita e di soste nel corso della risalita.

Questo studio, una ricerca sul campo approfondita e finora senza precedenti sull'effetto delle differenti modalità di risalita nella subacquea ricreativa, ha già prodotto dei risultati significativi, permettendo di iniziare a riprogettare le procedure di risalita per una migliore e più sicura "Economia della fase di Decompressione".

Questo studio - che presso il gruppo di ricerca del DAN è stato denominato MarBen, dai nomi dei due scienziati che lo hanno progettato, il professor Marroni ed il professor Bennett - sta andando avanti ed attualmente sono in fase di studio molte altre modalità di immersione quali i Profili d'Immersione Inversa, i Profili da Poco Profondo a Profondo, le Immersioni con il Nitrox con i tempi di impiego dell'aria e quelli di impiego del Nitrox mentre si controllano le differenze nella produzione di bolle circolanti, tanto per citarne alcuni.

Tutti questi profili rappresentano quel che accade realmente ogni giorno nel mondo della subacquea, ed i subacquei volontari del DSL semplicemente applicano la raccolta dei dati del DSL ed il metodo di ricerca alle immersioni che essi effettuano normalmente. Questa originale combinazione tra la metodologia di ricerca e le normali immersioni ricreative sta raccogliendo una mole di dati di immersione significativi senza precedenti, nei numeri che sono già superiori a quelli di qualsiasi altra serie di immersioni finora utilizzata per convalidare le attuali procedure di immersioni subacquee e quelle degli algoritmi di decompressione.

In questa importante Operazione di Ricerca, i subacquei del Club Subacqueo Sub Novara Laghi (Omegna, Italia) merita un ringraziamento speciale per la loro quasi incredibile dedizione, perseveranza ed entusiasmo e per aver raccolto oltre 1000 profili d'immersione completamente controllati, tra immersioni senza alcun tipo di restrizione e profili "MarBen".

Dopo la valutazione dei primi risultati ottenuti dall'impegno di ricerca congiunto di tutti i subacquei volontari e del gruppo di ricerca del DAN Europe, siamo completamente sicuri che saranno raggiunti risultati significativi soltanto con la partecipazione di un numero sempre maggiore di subacquei e

dalla raccolta e dalla valutazione scientifica di centinaia di migliaia di immersioni ricreative, e questo è attualmente il nostro difficile ma realizzabile obiettivo.

Questo obiettivo potrà essere raggiunto soltanto con l'aiuto ed il supporto della Comunità subacquea ricreativa attraverso tutte le immersioni che i subacquei saranno disposti ad "offrire" alla Ricerca del DAN. Per rendere tutto ciò più facile e più semplice, il DAN Europe ha progettato uno specifico software, sviluppato da Mario Giuseppe Leonardi, chiamato "Immersioni".

"Immersioni" è disponibile gratuitamente, previa registrazione, per qualsiasi subacqueo che desideri scaricarlo ed utilizzarlo. Il software è un ottimo strumento per registrare le proprie immersioni e funzioni, come un Log-Book di immersione potente e multifunzione, ma inoltre esso tiene anche conto di funzioni supplementari e scientificamente rilevanti:

- profilo dell'immersione scaricabile direttamente da qualsiasi software subacqueo di decompressione attualmente esistente,
- l'aggiunta di note scientificamente rilevanti e contenente specifici questionari di dati epidemiologici sviluppati dal DAN,
- la registrazione dei segnali Doppler,
- l'invio diretto di tutti i dati registrati al Server Centrale del DAN Europe, dove questi possono poi essere studiati per l'analisi statistica.

(Per maggiori informazioni, e-mail: dslcc@daneurope.org).

Tutti i Subacquei e tutti i Membri DAN Europe sono invitati a scaricare "Immersioni" (che molto presto sarà disponibile in una versione multilingue, cominciando da: Italiano, Inglese e Francese), per poter essere utilizzato come un proprio "libretto di immersioni" e per trasmettere importanti dati di immersione al DAN Europe e partecipare a questo emozionante progetto, che contribuirà a plasmare il futuro della Sicurezza della Subacquea Ricreativa.

Siete tutti invitati a diventare Subacquei Ricercatori del DAN Europe!

I subacquei possono svolgere un ruolo attivo nella ricerca di una subacquea migliore e più sicura. Sii in prima linea nella Ricerca della Sicurezza Subacquea! Unisciti al DAN Europe Dive Safety Laboratory e diventa un DAN Research Diver!



Le METODICHE di RISALITA

LO STUDIO DEL DAN EUROPE SULLA SICUREZZA DELLA RISALITA E SUGLI EFFETTI DELLE DEEP STOPS.

Del Dott. Frans J Cronjé, Presidente DAN Southern Africa, Membro Del Board of Directors, DAN Europe

In linea di massima, ci sono due vaste categorie della ricerca medica nella subacquea ricreativa: problematiche correlate o non correlate alla formazione di bolle. Il DAN sta studiando queste problematiche mediante due studi internazionali su larga scala: il Project Dive Exploration (PDE) ed il Dive Safety Laboratory (DSL).

Per quanto riguarda i problemi inerenti alle bolle, in questo articolo prendiamo in considerazione la fase della decompressione e le sue implicazioni fisiche e patologiche.

L'unico modo per descrivere e prevedere processi così complessi come quelli dell'assorbimento e

della eliminazione del gas nel corpo umano, è quello di generalizzare ed approssimare per mezzo di formule o modelli matematici. Tuttavia, bisogna rendersi conto che ciò inevitabilmente determina una eccessiva semplificazione, basata su concetti teorici, e che questi non riflettono necessariamente cosa stia realmente accadendo nell'organismo.

Quello che gli algoritmi di decompressione cercano di realizzare è di ridurre la complessità degli scambi gassosi in soli cinque concetti primari: (1) quando aumenta la pressione ambientale noi assorbiamo il gas inerte; (2) quando la pressione ambiente si riduce eliminiamo il gas inerte - ma ad una velocità minore; (3) quando la tensione tissutale del gas supera la pressione ambientale viene a crearsi uno stato di sovrasaturazione; (4) ad un certo punto la sovrasaturazione determinerà la formazione di bolle; (5) in alcune fasi le bolle possono provocare sintomi o lesioni.

Come la maggior parte di voi sa, i modelli di decompressione contemplano i cosiddetti tessuti o compartimenti lenti e veloci. Questo significa che alcune ipotetiche aree assorbono l'azoto più di altre. I tessuti veloci sono più inclini alla sovrasaturazione nel corso delle normali immersioni ricreative.

Nel 1908, John Scott Haldane ipotizzò il famoso rapporto "due a uno" per evitare le lesioni da decompressione.

Tuttavia, nel corso del tempo, il concetto del due a uno ha subito numerose modifiche, poiché i subacquei sono in grado di sopportare maggiori livelli di sovrasaturazione dei tessuti veloci. Ciò ha portato ad attuare metodiche di risalita che determinavano maggiori livelli di sovrasaturazione in particolare proprio nei tessuti veloci. Così, al posto dell'universale rapporto 2 a 1 per tutti i compartimenti tissutali, sono stati considerati sicuri per i tessuti veloci anche rapporti che arrivano fino a quattro a uno. Il dilemma è che questo metodo non ha risolto il problema della malattia da decompressione.

Circa il 57.6% delle MDD si presenta in subacquei che non hanno fatto nulla di "sbagliato". In parole povere, questo significa che seguire alla lettera le procedure di decompressione non è comunque completamente sicuro.

Allora, ritornando alle metodiche di risalita: recentemente, il criterio di consentire maggiori sovrasaturazioni dei tessuti veloci viene messo nuovamente in discussione, in quanto queste raccomandazioni non hanno tenuto conto delle implicazioni delle elevate quantità di gas che si formano nelle vene dopo un'immersione e degli effetti biologici che queste possono avere sui subacquei. Sebbene la presenza di bolle non significa che un subacqueo svilupperà necessariamente la malattia da decompressione, vi è una stretta correlazione tra la quantità di bolle che si formano e la probabilità di manifestare sintomi.

Inoltre, le bolle venose possono bypassare o attraversare le barriere naturali delle bolle - il filtro polmonare o "trappola delle bolle" - per mezzo di due possibili meccanismi: In primo luogo, il forame ovale pervio (PFO). In determinate circostanze, questa valvola unidirezionale che è presente in circa il 25% dei subacquei, può aprirsi permettendo il passaggio delle bolle venose di gas dalla parte destra a quella sinistra del cuore, causando quindi un'embolia gassosa arteriosa. In secondo luogo, fino al 15% dei subacquei presenta trappole polmonari per le bolle poco efficienti. Questo problema non è assolutamente evidenziabile nel corso di una visita medica di routine. Il concetto importante, quindi, piuttosto che sottoporre tutti i subacquei allo screening per il PFO, ed ancor peggio dichiarandoli quindi non idonei alla subacquea, è meglio evitare le immersioni che inducono elevati livelli di bolle gassose venose; lo stesso vale per quanto riguarda la filtrazione polmonare, niente bolle, niente problemi!

Molti sintomi subdoli e fastidiosi che compaiono

dopo l'immersione sono difficili da spiegare. Essi sembrano essere effetti biochimici ed immunologici indiretti correlati alle bolle. Anche se queste non sono MDD nel senso stretto della parola, tali effetti possono avere qualche implicazione. Sappiamo, per esempio, che le bolle interagiscono con i componenti del sangue e danneggiano la parete dei vasi sanguigni. Di conseguenza, questo determina il rilascio di sostanze che promuovono l'infiammazione.

La "sposatezza" che segue immersioni particolarmente profonde può essere dovuta a questo fenomeno. Queste variabili e questi effetti possono spiegare perché alcune persone sembrano restare indenni dopo immersioni davvero impegnative, mentre altre possono invece lamentare inaspettatamente delle conseguenze!

Allora, qual'è la soluzione al problema? Come possiamo praticare una subacquea libera da bolle? La causa e l'effetto delle bolle possono essere indirizzati su tre livelli; E' qui che si concentra il futuro della ricerca sulla decompressione: (1) gestire un'ottimale economia della fase di decompressione risalendo prontamente in superficie, ma in maniera sicura, mettendo in pratica un'ottimale combinazione tra la velocità di risalita ed i tempi delle soste di sicurezza o delle tappe di decompressione; (2) riducendo/evitando la formazione e la migrazione delle bolle; e (3) riducendo la risposta biologica dell'organismo alle bolle, elemento che accresce il problema iniziale.

Economia della Decompressione significa combinare i gradienti di gas e di pressione in un modo da consentire un più veloce ritorno in superficie evitando contemporaneamente che si formi un eccessivo numero di bolle gassose venose e quindi una pericolosa sovrasaturazione dei tessuti.

Ironicamente, sembra che il principio di Haldane basato sul rapporto 2 : 1 potrebbe aver introdotto la soluzione più adatta per un motivo diverso da quello per il quale era stato previsto. Piuttosto che per impedire la sovrasaturazione critica, le osservazioni di Haldane forniscono un indizio per attuare il miglior compromesso tra le variabili velocità di risalita e soste in acque poco profonde. Tuttavia, per ottimizzare ciò che Haldane aveva trovato agli estremi della decompressione in sicurezza, per esempio, dove un errore potrebbe probabilmente provocare l'MDD, adesso stiamo ricercando all'interno dei limiti di profondità-tempo che precedentemente erano stati ritenuti essere alquanto sicuri, ma non sempre e non per tutti.

Dal punto di vista della ricerca, attendere la comparsa di un'MDD genera un problema di carattere pratico perché tale patologia è effettivamente relativamente rara. Il PDE ed il DSL hanno già accumulato oltre 150.000 immersioni di circa 15.000 subacquei. Sono stati segnalati soltanto 41 casi di MDD.

Per poter determinare tutti i parametri per una subacquea sicura utilizzando la comparsa dell'MDD come misura di valutazione del risultato, avremmo bisogno di circa 100 milioni di immersioni. Neanche in questo modo però potremmo considerare ogni possibile combinazione. Allora, se non possiamo impiegare l'MDD come indicatore di rischio elevato, che cosa possiamo utilizzare? Un'alternativa, in aggiunta al monitoraggio sull'MDD, è quella di focalizzarsi sulle metodiche per evitare la VGE (embolia gassosa venosa); questo implica l'opportunità di utilizzare il Doppler.

Tra il 1995 ed il 2006, il DAN Europe ha monitorato oltre 39.000 immersioni. Utilizzando le "scatole nere" (i computer con il display oscurato per non influenzare le normali attività dei sub) in immersione e le unità di Doppler Ostetrico, abbiamo potuto iniziare a rivelare alcuni indizi vitali che mancavano nell'enigma della decompressione... I recenti studi del DAN Europe hanno preso in considerazione gli effetti delle differenti velocità di risalita e delle soste dopo due immersioni a 25 metri ed i punteggi Doppler prodotti dalle bolle. Sulla base di questi risultati e di altri studi successivi possono essere fatte le seguenti raccomandazioni provvisorie:

Per immersioni a 25 Metri in Acqua di Mare (MSW) la

strategia migliore sembra essere una Deep Stop (Tappa profonda) a 15 MSW per 2.5 - 5 minuti (fate attenzione, che 1 minuto è troppo breve), seguiti da una Shallow Stop (Tappa in acqua poco profonda) a 3 - 5 MSW per 3 - 5 minuti - ; idealmente quest'ultima tappa dovrebbe essere più lunga della Deep Stop. La miglior velocità di risalita è di 10 metri al minuto - velocità più lente o più rapide non sembrano essere più efficaci.

Per riassumere, la "decompressione economica" non riguarda quanto tempo trascorrete in acqua, ma piuttosto dove trascorrete il vostro tempo!



GLI STUDI SUL PFO DEL DAN EUROPE: STABILIRE SE VI SIA UN RISCHIO REALE DI PFO PER IL SUBACQUEO RICREATIVO!

Dott. Peter Germonprè, Direttore Medico, DAN Europe BeNeLux ed Area di lingua Francese

Verso la fine del 1980, vennero pubblicati numerosi report medici che sembravano indicare che alcuni subacquei avrebbero potuto avere un maggior rischio di malattia da decompressione neurologica (MDD) rispetto ad altri. La presenza di una condizione denominata "Forame Ovale Pervio" (PFO) era, secondo questi rapporti, molto più frequente nei subacquei che avevano manifestato MDD rispetto agli altri subacquei. Le differenze erano impressionanti: circa il 66% dei subacquei che lamentava l'MDD presentava il PFO, mentre nel "gruppo di controllo" questo era presente soltanto nel 20%.

Il Forame Ovale Pervio non è una malattia. In realtà, dal venticinque al trenta per cento di tutti gli esseri umani presenta un PFO. Lunghi quindi dall'essere una malattia rara, esso in effetti è una delle pochissime cose che ci ricordano la nostra vita prima della nascita. Il PFO è un minuscolo collegamento tra la parte destra e la parte sinistra del cuore. Durante la nostra vita nel grembo materno, questa apertura è molto più grande. Essa permette il passaggio, scavalcando i polmoni, di quasi l'80% del sangue venoso nel lato sinistro (arterioso) della circolazione.

Ovviamente, i polmoni non funzionano durante la vita fetale, la respirazione provocherebbe soltanto un movimento delle acque avanti e indietro. Tutto l'ossigeno viene fornito dalla circolazione placentare ed il sangue ossigenato fluisce nella vena centrale principale del corpo (la "vena cava inferiore") ed arriva al lato venoso nella parte destra del cuore. Da qui, piuttosto che intraprendere una deviazione piuttosto lunga e stretta attraverso i polmoni, viene di preferenza trasportato attraverso il forame ovale verso il lato arterioso e viene spinto nell'aorta, nel cervello e negli organi vitali dal ventricolo sinistro.

Ricordate cosa accadde subito dopo la vostra nascita? Il medico o l'ostetrica vi ha dato un deciso schiaffo sulle natiche ed avete pianto dalla rabbia e dall'indignazione, non è vero? No, non l'hanno fatto per puro sadismo, ciò in realtà vi ha indotto a respirare al massimo, aprendo completamente i vostri alveoli polmonari facendovi entrare aria fresca. Non solo aria, anche sangue: la pressione nell'arteria polmonare si è drasticamente ridotta ed il sangue venoso è stato letteralmente aspirato nella circolazione sanguigna polmonare. Questo, a sua volta, provoca la riduzione della pressione nella parte destra del cuore ad un livello inferiore a quella della parte sinistra e quella valvola che è il forame ovale, che fun-

zione come apertura tra le due parti del cuore, si chiude. Nelle ore o nei giorni successivi la valvola diventa un tutt'uno con la parete circostante e l'apertura viene sigillata, tranne che in circa il 30% di tutti gli esseri umani, nei quali rimane aperta una piccola scanalatura. Il PFO riveste poca importanza nella vita normale, non interferendo mai con la capacità di esercizio o la salute in generale, ma consente un possibile collegamento tra il sangue venoso e quello arterioso (Vedere la figura 1).

L'ipotesi su cui si basavano questi rapporti medici iniziali era che se un subacqueo emerge e presenta bolle d'azoto nel sangue, queste bolle possono essere trasportate, attraverso il forame ovale, nel lato arterioso del cuore e provocare una malattia da decompressione. Di conseguenza, il PFO viene considerato un fattore di rischio per la malattia da decompressione.

Il DAN Europe ha immediatamente recepito questa ipotesi ed il possibile problema. Dopo tutto, circa il 25%-30% di tutti i subacquei presenta un PFO, ma ovviamente non tutti questi subacquei avranno un'inaccettabile rischio di MDD! Un certo numero di studi sono stati iniziati per cercare di saperne di più circa questo fenomeno ed il rischio che esso rappresenta per il subacqueo.

Un primo studio è stato pubblicato nel 1998, ed ha fornito la conferma del fatto che il PFO può effettivamente essere la causa della cosiddetta MDD "inaspettata". Queste sono MDD che si presentano dopo un'immersione che è stata effettuata seguendo le normali "regole" di decompressione accettate (calcolate da un computer subacqueo o dalle tabelle di immersione). Utilizzando un esame tra i migliori esistenti (l'eco-cardiografia trans-esofagea, vedere figura 2), i subacquei che avevano manifestato sintomi di MDD sono stati confrontati con subacquei che non avevano mai avuto MDD. Da questo studio è emerso che MDD "inaspettate" con sintomi che riguardavano cervello, occhi o orecchie/apparato vestibolare come sito della lesione, sono state effettivamente collegate ad una maggiore presenza (fino all'80%) di un (ampio) PFO. D'altra parte, altri tipi di MDD (con sintomi alle articolazioni ed alla zona inferiore del midollo spinale) non sembrano essere collegati con il PFO. I risultati di questo studio sono stati importanti, in quanto non si deve mai dimenticare che la causa della MDD sono le bolle e che la presenza di PFO fornisce soltanto una via di passaggio verso la circolazione arteriosa. Non tutte le MDD "inaspettate" possono essere ricondotte alla presenza di PFO, e questo significa che vi sono altri meccanismi per i quali le bolle si trasformano in "patologiche".

Un secondo studio ha determinato più precisamente le circostanze in base alle quali il PFO può aprirsi, permettendo così il passaggio del sangue venoso al lato arterioso del cuore. Misurando le pressioni intratoraciche in subacquei volontari, abbiamo potuto confermare che alcune manovre probabilmente sono più "pericolose" da effettuare dopo un immersione rispetto ad altre. Alcuni esempi sono: sollevare oggetti pesanti (come le bombole!), sottoporsi ad esercizi estenuanti, trattenere l'aria nei polmoni e premere sull'addome (come ad esempio: risalire a bordo di un gommone, o sforzarsi nello svuotare le viscere). Oltre a queste manovre in sé stesse, è importante il lasso di tempo in cui si trattiene il respiro.

Spiegato in poche parole, quando aumenta la pressione dell'aria nel polmone, il sangue viene "spinto fuori" dalla gabbia toracica e non può rifornire la parte destra del cuore. Dopo il "rilascio" dell'aria, il sangue fluirà velocemente nel cuore, incrementando temporaneamente la pressione nel lato destro al di sopra di quella del lato sinistro. Tutto ciò potrebbe determinare l'apertura del PFO per alcuni secondi, abbastanza da permettere al sangue (ed alle bolle) di passare.

In questo stesso periodo (1997-1998), sono venuti alla luce altri studi che segnalavano rischi per la

salute se ci si immergiva con un PFO, anche se il subacqueo non aveva mai sofferto di MDD. Utilizzando la risonanza magnetica per ottenere immagini a scansione del cervello, questi ricercatori hanno trovato più "macchie bianche" e di dimensioni maggiori nel cervello di un gruppo di subacquei con PFO rispetto a quello dei subacquei senza il PFO. L'ipotesi era che anche se le bolle che hanno attraversato il PFO non hanno provocato sintomi di MDD, tuttavia esse erano arrivate al cervello, dove potrebbero provocare danni permanenti. Inutile aggiungere che questi rapporti hanno provocato tantissimo panico tra i subacquei.

Anche in questo caso la ricerca del DAN Europe ha provato a verificare se questi presupposti fossero corretti. Dopo tutto, è ben noto che le bolle che causano MDD neurologiche possono causare danni permanenti al cervello. Inoltre si sa che spesso i subacquei non rivelano i sintomi di MDD, anche se questi sono severi e richiederebbero almeno una valutazione medica e probabilmente anche un trattamento di ricompressione terapeutica (come ad esempio inspiegabili vertigini e nausea dopo un'immersione). Di conseguenza, se un subacqueo ha sofferto alcuni di questi episodi, e se queste "macchie bianche" vengono evidenziate dalla scansione del cervello, se ne può arguire che queste sono la conseguenza di MDD e non semplicemente di attività subacquea con il PFO. Anche in questo caso, quindi, la causa della MDD sono le bolle, non il PFO in sé.

I risultati dello studio del DAN Europe ci stavano comunque rassicurando: 44 subacquei esperti, selezionati a caso tra una popolazione di volontari, sono stati esaminati utilizzando le più avanzate tecniche mediche con la scansione cerebrale, con l'eco-cardiografia e con test neuro-psicologici. Non è stata trovata alcuna differenza significativa tra subacquei con o senza PFO, il che indica che si può essere verificato qualche problema con le tecniche o con i volontari usati negli studi precedenti.

Attualmente non si è neanche sicuri che le "macchie bianche" osservate con lo scanner nel cervello di alcuni subacquei (e, incidentalmente, anche nei non-subacquei di età maggiore di 40 anni) siano la conseguenza di qualche "embolo" al cervello.

L'analisi frattale delle scansioni cerebrali (un altro progetto della ricerca del DAN Europe) potrebbe trovare maggiori somiglianze con le lesioni derivate dalle malattie immunologiche rispetto a quelle da problemi vascolari. Si potrebbe speculare se questi "oggetti brillanti non identificati" (UBO) siano realmente patologici o soltanto facenti parte del normale processo di invecchiamento... Comunque sia, ora è chiaro che i subacquei che si immergono seguendo le norme di sicurezza del DAN nelle immersioni ricreative (senza necessità di tappe di deco) e che non hanno mai sofferto di MDD, non hanno un maggior rischio per tali UBO!

Questa controversia tuttavia esiste ancora, e molti subacquei stanno chiedendo di essere esaminati per il PFO, anche se è molto probabile che non ci sia assolutamente necessità di preoccuparsi di ciò nella subacquea ricreativa senza decompressione.

Di conseguenza, il DAN Europe ha intrapreso uno studio finale, cosiddetto prospettico, per determinare il rischio "reale" di immergersi con un PFO: il DAN Carotid Doppler Study.

RISCHIO E RUOLO DI PFO NELLE MDD "INASPETTATE": FATTI O PAROLE

Il problema, naturalmente, è che in tutti questi studi si comincia con un gruppo di subacquei che hanno avuto problemi estremamente rari ma di una certa gravità: l'MDD. La Malattia da Decompressione si presenta una volta ogni 10.000 immersioni in dipendenza, naturalmente, del tipo di immersione effettuata. Per esempio, l'immersione su relitti in acque fredde comporta un rischio molto più elevato (circa 1 ogni 1000, mentre l'immersione ricreativa senza decompressione presenta un rischio molto più basso

(circa 1 ogni 35.000 secondo le statistiche del DAN Europe). Ancora una volta, questo dipende soprattutto dal numero di bolle presenti nel sangue venoso del subacqueo, quando egli riemerge!

Poiché sappiamo che circa il 25-30% di tutti i subacquei ha un eventuale collegamento fra il lato venoso e quello arterioso del cuore attraverso il PFO, non è difficile capire che fra coloro che manifestano una MDD, molti presenteranno un PFO (in effetti, ciò accade in circa l'80% dei casi). Quello che è meno facile da capire è che tutti gli altri subacquei con un PFO hanno effettuato un gran numero di immersioni senza aver mai sofferto di MDD.

In altre parole lasciatemelo dire, anche se il rischio di MDD c'è ed è due volte maggiore quando un subacqueo ha un PFO, questo rischio sarà ancora trascurabile se le immersioni non producono un numero significativo di bolle. Ciò può essere facilmente ottenuto attenendosi alle pratiche di una subacquea sicura. Infatti, molti subacquei ricreativi non effettueranno mai più un migliaio di immersioni nel corso della loro vita, quindi un rischio di una MDD ogni 17.500 immersioni è quasi vicino allo zero.

Tuttavia, poiché vi sono ancora molti fattori della MDD che non conosciamo, nessuno può garantire ad un subacqueo un'immersione completamente esente dal rischio di MDD. In tutti gli studi inerenti il PFO, un certo numero di subacquei ha manifestato una MDD "inaspettata" pur senza avere un PFO. La causa di questi casi di MDD è chiaramente collegata con altri fattori. Ce ne potrebbero essere altri, probabilmente shunt a livello polmonare, che consentono alle bolle di passare nella circolazione arteriosa. La MDD può essere causata da un blocco venoso dovuto alle bolle nei tessuti stessi (per esempio nella MDD del midollo spinale, o in quella osteo-articolare...).

Ricercando un PFO, sarà chiarita soltanto una parte del rischio. Se quanto sopra non viene preso in considerazione, il pericolo naturalmente è che vi sia solo un falso senso di sicurezza: "Non ho PFO, quindi posso spingermi ai limiti più di chi ha un PFO". Naturalmente, questo atteggiamento presto o tardi condurrà ad un problema serio!

SI PUÒ CHIUDERE QUESTO PFO?

Quando un subacqueo "scopre" di avere un PFO, si pone inevitabilmente la seguente domanda: "Che cosa si può fare a tal proposito?". La chiusura del PFO è una procedura piuttosto pericolosa, in quanto si rende necessario aprire la gabbia toracica ed effettuare un'operazione chirurgica a "cuore aperto" impiegando una macchina cuore-polmone.

Nel corso degli ultimi 15 anni sono stati sviluppati dei dispositivi che permettono la chiusura del PFO con una semplice tecnica di cateterizzazione, dove l'unica "traccia" è una ferita puntiforme nella vena inguinale. Questi dispositivi detti "ombrellini" vengono sempre più impiegati, non tanto per i subacquei, quanto soprattutto in soggetti che hanno sofferto di "ictus cerebrale inspiegato". Non sorprende, quindi, che molti subacquei stiano informandosi circa la possibilità di chiudere il proprio PFO per ridurre il rischio nell'attività subacquea. Che cosa possiamo suggerire a questo proposito?

In primo luogo, ancora una volta bisogna prendere in considerazione i diversi fattori di rischio implicati. Il rischio di MDD mentre si pratica l'attività subacquea ricreativa in maniera sicura è molto basso, anche se si ha un PFO. Si presuppone che sia nei limiti di 1 ogni 10.000 immersioni.

Il rischio immediato previsto per la procedura di chiusura del PFO non è molto alto, ma si aggira tra lo 0.5 e l'1% (1 per 100). Dopo tutto, tale procedura viene effettuata in anestesia generale, è necessaria una eco-cardiografia trans-esofagea e bisogna praticare una puntura per inserire un catetere piuttosto grosso in una grande vena che giunge fino al cuore. A volte compaiono alcune complicazioni nell'impianto del dispositivo, come difficoltà tecniche o l'improprio posizionamento dell'"ombrellino". Sebbene i

casi fatali o le complicanze pericolose per la vita siano rare, talvolta purtroppo possono sopraggiungere.

In circa il 5-10% dei casi, dopo l'applicazione si presentano problemi con il ritmo cardiaco che rendono necessaria l'assunzione di farmaci anti-aritmici per tempi prolungati.

Poiché il dispositivo è un "corpo estraneo" posizionato nel flusso sanguigno, il paziente deve assumere farmaci anti-coagulanti per circa 4 - 6 mesi e durante tale periodo vi è il rischio di copiose emorragie.

Per concludere, nessuno sa realmente cosa possa accadere con l'impianto di questi dispositivi nei prossimi 20 anni. Dopo tutto, esistono soltanto da meno di 15 anni! Potrebbero degenerare e causare un gran buco nel setto inter-atriale? Potrebbero spostarsi e provocare un blocco nella circolazione arteriosa? Potrebbero causare difficoltà nel trattamento dei disturbi del ritmo? Nessuno lo può affermare con certezza.

Anche nel contesto dell'"ictus inspiegato" (coaguli di sangue che passano attraverso il PFO ed arrivano al cervello) è tuttora in corso un gran dibattito, fra i cardiologi e neurologi, se sia proprio il caso di sottoporsi ai rischi della chiusura del PFO. Sembra, infatti, che la semplice assunzione di aspirina a basso dosaggio possa essere quasi altrettanto efficace, senza dover necessariamente assoggettarsi a tutti questi rischi ed effetti collaterali!

Bisogna ancora discutere molto se la pratica dell'attività subacquea ricreativa possa realmente giustificare i rischi (ed i notevoli costi) della chiusura del PFO. Dopo tutto, possiamo offrire un consiglio ugualmente efficace: immergetevi in sicurezza, senza profili di immersione che necessitino di tappe di deco, e starete bene come un ragazzino! Se invece siete un subacqueo professionista, che deve assumersi elevati rischi decompressivi per vivere, dovrete fare un'attenta analisi dei "rischi-benefici". Tuttavia, per il "normale" subacqueo ricreativo il "gioco non vale la candela!".

IL CAROTID DOPPLER STUDY DEL DAN EUROPE: UN AGGIORNAMENTO

Per determinare il rischio reale di immergersi con un PFO, è necessario un cosiddetto studio "prospettico". Ciò implica il controllo di un gran numero di subacquei, lasciarli immergere normalmente per un certo periodo di tempo, raccogliere i dati (numero di immersioni, numero di MDD) e confrontare il gruppo dei subacquei con un PFO con il gruppo senza il PFO. Staticamente parlando, considerando il numero medio di immersioni che ogni subacqueo effettua ogni anno e l'incidenza relativamente bassa di MDD, necessitano 4000 subacquei da testare e da seguire per un periodo di tempo di circa 5 anni. Questo è ciò che è il "DAN Europe Carotid Doppler", uno studio prospettico sul rischio di immergersi con uno "shunt (varco) destra-sinistra" (PFO) (uauu!).

Come si esamina un subacqueo per verificare se ha un PFO? Ovviamente, il metodo più attendibile è un'eco-cardiografia o, ancor meglio, un'eco-cardiografia trans-esofagea. Questo è un esame non molto piacevole al quale sottoporsi poiché è necessario l'impiego di una costosa apparecchiatura da introdurre per via orale nell'esofago, per osservare visivamente il cuore, mentre si inietta in una vena del braccio un determinato liquido di contrasto. I problemi logistici nell'applicare questo tipo di analisi su vasta scala sono insormontabili.

Di conseguenza, la ricerca del DAN Europe ha messo a punto e sperimentato (convalidato) un metodo molto più semplice per scoprire se qualcuno ha uno "shunt destra-sinistra". Questo metodo è denominato "Doppler Carotideo ad Ultrasuoni" e, anche se anch'esso necessita di un'iniezione di un mezzo di contrasto (una soluzione normo-salina) nel sangue, l'esame in sé viene eseguito per mezzo di una semplice sonda Doppler posta sulla pelle in una zona del collo (vedere l'immagine 3). Per eseguire l'intera prova occorrono

circa 10-15 minuti, ed a parte la puntura dell'ago, è completamente indolore. Questo lo rende ideale per un controllo su vasta scala, anche se i risultati non sono nel 100% dei casi identici a quelli dell'eco-cardiografia (per coloro che si intendono di statistica, ha una sensibilità del 100% ed una specificità dell'88%). Attenendosi rigorosamente agli standard di esecuzione, è facile ottenere un risultato riproducibile ed affidabile.

Questo è quanto concerne la procedura dell'esame, ma come ci si procura i soggetti per i test? A-ha! Adesso entriamo nel vivo della questione. La Ricerca del DAN Europe ha cercato (e sta ancora cercando) la collaborazione di specialisti in medicina subacquea in diversi paesi, ha fornito loro un addestramento formale nel procedimento ed ha ottenuto la loro cooperazione nell'attuare indipendentemente i test ciascuno presso la propria "base operativa". Attualmente ci sono ricercatori attivi in Belgio, Svizzera, Austria, Germania, Italia ed Africa del Sud. Sono inoltre previsti nuovi ricercatori in altri paesi. Ciascuno di loro investe molto del proprio tempo per favorire l'avanzamento delle conoscenze sul PFO e sul suo rischio reale nell'attività subacquea - non sarebbe grande se anche i subacquei stessi potessero essere giustamente entusiasti di partecipare a questo progetto di ricerca?

Fondamentalmente, l'ipotesi dello studio è positiva: Al DAN piacerebbe verificare che i PFO non sono necessariamente una causa di preoccupazione per un popolazione di subacquei che effettua immersioni sicure. Dopo tutto, noi siamo convinti che la subacquea sia in genere un'attività abbastanza priva di rischi e che in particolare la subacquea ricreativa ha un margine di sicurezza sufficiente da non dover preoccuparsi di un PFO.

I risultati della prova, per ovvie ragioni, non possono essere immediatamente resi noti. Soltanto dopo 5 anni, quando sarà terminato il periodo di studio, sarà possibile fornire al subacqueo/a i risultati del test. Lo studio è stato approvato formalmente dal Comitato Etico del DAN Europe e dai Comitati di Biomedica Etica in Belgio, Africa Meridionale, Regno Unito ed Austria come Protocollo di Ricerca sull'Uomo. Ciò vuol dire che ciascun subacqueo firmerà un Modulo di Consenso Informato, dopo aver ricevuto pieni ed esaurienti chiarimenti sullo scopo dello studio e delle procedure implicate.

I risultati dello studio saranno manifesti soltanto entro pochi anni, e saranno ampiamente resi noti attraverso la letteratura scientifica, le pubblicazioni del DAN Europe e la stampa di settore. Fino ad allora, naturalmente, bisogna lavorare tanto! I Subacquei volontari, per poter partecipare, possono contattare uno dei ricercatori nei pressi della zona dove abitano. Se al momento non vi sono ricercatori in attività nella vostra area non disperatevi! Ogni anno vengono addestrati e cominciano ad agire nuovi ricercatori, per saperlo basta collegarsi regolarmente con il sito web del DAN Europe alla sezione "Ricerca/Medicina subacquea".

SUBACQUEI E PFO: "PRENDETE NOTA DI QUESTA INFORMAZIONE"

In definitiva, cosa possiamo concludere in base alla attuale ricerca sul PFO?

Prima di tutto, niente panico.

Il PFO è una possibile causa del passaggio ("shunting") di bolle d'azoto dopo un'immersione, anche quando si rimane entro (ma vicino a) i limiti di non decompressione. In alcune circostanze, questo può condurre alla cosiddetta "MDD inaspettata".

Il rischio di MDD è comunque così piccolo nell'immersione ricreativa in sicurezza, che anche con un PFO (ricordate che circa il 25-30% di tutti i subacquei ne ha uno!) il rischio rimane sufficientemente basso da non essere fonte di preoccupazione.

La chiusura del PFO in un subacqueo che non ha mai avuto episodi di MDD e che si immerge esclusivamente in maniera ricreativa e sicura, probabilmente non ha alcun senso. Nei subacquei che hanno sofferto di MDD, può essere effettuata una valutazione individuale, ma nella maggior parte dei casi i rischi e le

incognite di tale procedura controbilanceranno i possibili benefici (se ce ne sono).

In effetti, la discussione dovrebbe essere affrontata ad un altro livello. I subacquei dovrebbero essere molto più consapevoli di quanto hanno fatto finora, nessun computer e nessuna tabella di immersione è in grado di simulare perfettamente la fisiologia della decompressione in un modo corretto ed individuale. Perciò, anche se nei loro algoritmi è previsto un ampio "margine di sicurezza", i computer subacquei non possono e non potranno mai impedire totalmente la comparsa di una MDD. Per questo motivo, è opportuno non "credere" ciecamente a tutto ciò che il computer subacqueo vi dice, e non spingere ai limiti il computer (o la tabella). In altre parole: è sempre meglio mantenere il vostro computer ben entro i limiti di "non decompressione". Ci sono altre regole ben note e riconosciute per praticare una "subacquea sicura": non si devono effettuare immersioni impegnative dopo un prolungato periodo di inattività, né eseguire profili di "immersioni inverse", bisogna sempre effettuare una "sosta di sicurezza" al termine dell'immersione... giusto per citarne solo alcune. Ancor meglio: perchè non impiegare il Nitrox come miscela respiratoria - ma assicurandosi che il proprio computer sia impostato sulla modalità "aria" e seguendo le stesse regole - si ridurrà il rischio di MDD in un modo molto più efficace che preoccupandosi del PFO!

Attualmente il DAN Europe sta indagando su altri sistemi per favorire la riduzione della presenza di bolle d'azoto al termine di un'immersione, come la "deep stop" - tenetevi informati su questi nuovi programmi di ricerca!

Pag 11:

Figura 1 Anatomia del Forame Ovale Pervio

Figura 2 Eco-cardiografia Trans-esofagea

Pag. 12:

Figura 3 Esame Doppler Carotideo

IL DAN EUROPE DIVING PHYSIOLOGY

Research Laboratory di Bruxelles
e i principali risultati di questo progetto di ricerca



Del Prof. Costantino Balestra, Vicepresidente DAN Europe per la Research and Education, Direttore del DAN Europe BeNeLux

ECOGRAFIA

L'attuale ricerca nella fisiologia della subacquea si sta dirigendo verso nuovi metodi per monitorare i subacquei sul campo.

Fino ad oggi, il sistema più comune ed attualmente ancora in uso per determinare la presenza di bolle venose gassose dopo un'immersione è stato l'impiego del Doppler sui subacquei.

Questo ha portato ad una catalogazione del tono Doppler con numerosi diversi metodi di classificazione, ciononostante tutte queste semi-distinzioni dei toni Doppler hanno una limitazione: non sono lineari. Questo vuole dire che la classificazione grado 2 non comporta un quantitativo di bolle doppio rispetto ad un grado 1.

Questa situazione non permette di ottenere elevati livelli di calcolo statisticamente predittivi. Bisogna scegliere un sistema per trasformare il "grado" delle

bolle in "numero" di bolle.

Questo può essere realizzato con un ecografo; chiaramente questo genere di apparecchio (Brubakk et al., 2005) è costoso e sostanzialmente reperibile solo in ambiente ospedaliero, così è stato molto difficile utilizzarlo sui subacquei visto che il "lasso di tempo" necessario per scoprire le bolle circolanti era incompatibile con il trasporto del subacqueo in un ospedale e sottoporlo ad una ecografia per la visualizzazione delle bolle (Boussuges et al., 1998; Boussuges et al., 1999; Carturan et al., 2000; Carturan et al., 2002).

Le nuove tecnologie hanno permesso la produzione di ecografi molto piccoli e dal costo relativamente abbordabile per la conta delle bolle sul campo. L'impatto predittivo di queste misurazioni sarà molto interessante per il futuro della Sicurezza in Immersione. Attualmente noi stiamo usando due sistemi per il conteggio delle bolle, uno automatico con un programma PC "fatto in casa" e l'altro chiaramente manuale. L'accordo per il conteggio delle bolle al momento si basa su almeno 10 battiti cardiaci ed è espresso in numero di bolle per centimetro quadrato con una finestra di 1 cm² nel ventricolo destro. Il ventricolo destro, delle quattro camere cardiache, è quello più adatto per la conta delle bolle, in quanto l'atrio destro potrebbe presentare delle bolle "ridondanti" che verrebbero contate due volte.

Un altro interessante sistema per l'impiego dell'ecografo nei subacquei è la misurazione del Flow Mediated Dilatation (FMD - Dilatazione Flusso Mediata) dopo un'immersione. È stato dimostrato che le reazioni dell'endotelio possono essere alterate dopo un'immersione, e si è presunto che la presenza di bolle silenziose può danneggiare l'endotelio, producendo alcune micro-particelle endoteliali che potrebbero essere trasportate attraverso il flusso sanguigno e produrre reazioni vascolari a distanza, anche nella parte arteriosa del nostro sistema vascolare. Questa scoperta è di maggiore interesse, poiché la presenza di "shunts" come il Forame Ovale Pervio nel cuore non è più fondamentale per spiegare la comparsa di MDD "inaspettate". Sono necessari nuovi dati sul campo per capire meglio la decompressione in quanto l'aspetto fisiopatologico non è facile da spiegare come il danno provocato dalla bolla occlusiva.

Subacquea, Ossigeno ed EPO (Eritropoietina)

Sono state eseguite alcune sperimentazioni su subacquei apneisti; abbiamo misurato diversi parametri dopo una serie di 5 immersioni condotte a 40 metri di profondità in un lasso di tempo di 2 ore. La scoperta più importante in queste misurazioni è stato l'aumento della EPO in 2 individui del gruppo composto da 9 subacquei. Questo incremento era tale da essere clinicamente significativo.

Attualmente, la causa scatenante ritenuta responsabile della produzione di EPO è essenzialmente l'ipossia tissutale. Nel caso degli apneisti, la consistenza dell'ipossia era molto difficile da considerare visto che il subacqueo in profondità è in condizioni di iperossia e, se alcuni episodi di ipossia possono intervenire nel corso della risalita, il lasso di tempo di tale ipossia è estremamente breve e non è in accordo con l'attuale punto di vista, largamente accettato in letteratura, di essere responsabile di scatenare la produzione di EPO.

Per cercare di capire questo fenomeno abbiamo chiesto a 15 volontari di partecipare ad uno studio controllato effettuato in un centro iperbarico. Essi dovevano recarsi presso questo centro per tre volte nell'arco di 36 ore ed accettare di sottoporsi a prelievi di sangue ad intervalli di tempo predeterminati.

Il primo prelievo di sangue serviva a stabilire, per ognuno, la propria curva standard di produzione di EPO che, essendo un ormone, come ben sapete subisce significative variazioni circadiane (ritmo

biologico giornaliero) di concentrazione. La seconda volta i volontari dovevano respirare ossigeno puro per due ore e compiere 10 flessioni sulle ginocchia ogni 10 minuti. Questo protocollo è stato stabilito per simulare l'esposizione a 5 ata dei subacquei apneisti ad una profondità di 40 metri respirando una miscela composta dal 20% di ossigeno e 80% di N₂ (aria atmosferica). A pressione atmosferica è stato fatto respirare ossigeno al 100%, mentre gli esercizi furono fatti effettuare per mantenere un flusso di sangue più o meno costante verso tutti i tessuti, cosa che permette una migliore deidrogenazione durante la respirazione di ossigeno. La terza volta, i volontari vennero pressurizzati a 2,5 ata negli alloggi iperbarici per poter osservare la presunta risposta di EPO.

I risultati sono stati eccezionali, l'esposizione di ossigeno normobarico ha prodotto un aumento del 60% di EPO endogeno dopo 36 ore, mentre il trattamento iperbarico ha provocato una riduzione di EPO endogeno (Balestra et al., 2006).

Queste scoperte, originate da rilevamenti subacquei, hanno segnalato il particolare ruolo svolto dall'ossigeno nella produzione di EPO negli esseri umani, effetto che abbiamo denominato "Paradosso dell'Ossigeno Normobarico" e che potrebbe fornire in futuro risultati molto promettenti per i pazienti... e non soltanto nel campo della subacquea.

Subacquea e Sistema Linfatico

Per la Ricerca sulla decompressione la questione delle bolle extra-vascolari o delle famose bolle di nuova formazione sono come "Nessy", il famoso mostro di Loch Ness in Scozia. Ognuno suppone che vi possano essere eventuali bolle extra-vascolari da decompressione, ma finora non ne è stata fornita nessuna risposta certa. Ciò che al momento si accetta è che se queste bolle esistono davvero, devono essere molto piccole.

Riferendosi al modello di decompressione delle bolle, si considera e si ammette che dopo la sua formazione la bolla venga "rivestita" da agenti reattivi; ma se la bolla è extra-vascolare, che succede? Il sistema preposto a prendersi cura delle proteine extra-vascolari o della proteina che riveste gli "oggetti Non Identificati" è il sistema linfatico. Noi abbiamo voluto capire se gli attuali protocolli proposti per il primo soccorso con ossigeno negli incidenti subacquei possano aiutare il sistema linfatico incrementando la sua capacità di captare questi "oggetti extra-vascolari". Presso il nostro laboratorio abbiamo iniettato nel primo spazio inter-osseo dorsale di alcuni volontari, per via sottocutanea, una miscela di proteine marcate; queste proteine marcate vengono tracciate, mediante una gamma camera, nella zona ascellare, che è risaputo presentare molti nodi linfatici.

Durante l'esperimento ai volontari è stato fatto respirare ossigeno per 30 minuti mentre erano sotto la gamma camera. La stessa procedura è stata poi ripetuta senza che i soggetti respirassero ossigeno. La velocità di captazione della proteina e la sua quantità sono significativamente aumentate nel corso della respirazione di ossigeno, il che dimostra che gli attuali protocolli di primo soccorso con ossigeno per subacquei possono avere benefici effetti anche nel trattamento dei piccoli emboli extra-vascolari (Balestra et al., 2004b).

Subacquea ed HSP (Heat Shock Protein - Proteine da Shock Termico)

Le Heat Shock Proteins sono davvero i migliori "chaperoni" (complessi che interagiscono con le proteine) delle nostre cellule... ...se alla cellula viene provocato uno stress (principalmente di tipo ambientale), le proteine che la compongono possono risultarne alterate; una proteina è una complessa struttura ricurva che può essere "aperta" dall'induzione di uno stress (dal calore, per esempio); le HSP riparano le proteine aperte e le riportano alla loro forma originaria. Quest'attività riparatrice si è mostrata essere di aiuto

nel contrastare gli effetti collaterali della chemioterapia nel trattamento delle patologie tumorali.

È stato inoltre evidenziato che la presenza di HSP può avere un effetto protettivo sul subacqueo nella fase di decompressione.

Alcuni articoli della letteratura medica sembrano dimostrare che un lieve riscaldamento del corpo potrà indurre la produzione di HSP negli esseri umani. Il DAN Europe attualmente sta conducendo uno studio sul riscaldamento pre-immersione dei subacquei per analizzare l'impatto di questo pre-trattamento sulla formazione delle bolle

Subacquea, Vibrazioni e Bolle

Alcuni articoli hanno riportato sorprendenti storie di azzardate procedure di decompressione dopo immersioni profonde senza comparsa di sintomi di MDD. Molti di questi "super subacquei" pretendevano di possedere una "fisiologia speciale" che li aiutava ad affrontare lo stress della decompressione. Alcuni hanno anche dichiarato di essere in grado di "sentire" la crescita delle bolle di decompressione nelle loro vene e che interrompevano le soste di sicurezza quando quella sensazione scompariva....

Una storia particolare venne fuori da un vecchio subacqueo che sosteneva di essere protetto dalla malattia da decompressione grazie al largo impiego del gommone prima dell'immersione; la spiegazione che forniva era una strana storia sulla rimozione pre-immersione di micro emboli dovuta all'effetto della vibrazione dell'imbarcazione....

Abbiamo quindi provato a far vibrare alcuni subacquei volontari prima di una immersione standardizzata in un ambiente controllato. Dopo 30 minuti di vibrazioni di tutto il corpo per mezzo di un piatto di oscillazione, abbiamo osservato una riduzione degli emboli gassosi venosi dopo l'immersione. Abbiamo misurato la produzione endoteliale di monossido di azoto dopo tale trattamento, ma non è stato trovato alcun aumento significativo. Adesso stiamo realizzando un nuovo protocollo usando un tappeto vibrante al posto del piatto. Le misurazioni dell'FMD (dilatazione flusso-mediata) dopo le vibrazioni di tutto il corpo non sono riuscite a dimostrare alcun aumento della produzione di NO (ossido di azoto). Attualmente è sotto indagine un nuovo apparecchio: l'utilizzo di un tappeto vibrante invece di un piatto, ciò può forse modificare le reazioni dell'organismo ed in particolare le reazioni vascolari, in quanto con questa apparecchiatura le vibrazioni sono principalmente di tipo assiale. Sono ancora necessari molti dati per poter comprendere questo tipo di meccanismo ed è quindi ancora troppo presto per poter suggerire per i subacquei qualsiasi pre-trattamento con le vibrazioni.

Subacquea e Termoregolazione

Mantenere una temperatura stabile in immersione è una difficoltà ben nota per qualsiasi essere umano. Oggi l'evoluzione delle tecniche subacquee permette di rimanere sott'acqua più lungo grazie all'impiego di appropriate miscele respiratorie o dei rebreather e permette anche ad alcuni gruppi più facilmente esposti all'ipotermia, come i bambini, di avvicinarsi al mondo della subacquea (Doubt, 1996; Panchard, 2002).

Una argomento più difficile è correlato all'embolia gassosa venosa post immersione in relazione alla temperatura dell'acqua. Secondo la nostra esperienza con i subacquei sottoposti ad esame Doppler, abbiamo evidenziato una relazione tra la temperatura cutanea ed il grado delle bolle dopo l'immersione. In che modo può essere collegata al grado delle bolle la temperatura cutanea? La nostra ipotesi si fonda sul possibile ruolo della pelle come "serbatoio" di azoto. Come sapete, la cute è l'"organo" più vasto del corpo (ad eccezione dell'endotelio). Se questo tessuto ben vascolarizzato è in grado di immagazzinare molto azoto, potrebbe evidenziarsi un collegamento col picco del grado delle bolle che noi ritroviamo dopo più o meno un'ora dall'emersione. Stiamo cercando di misurare la temperatura cutanea

in diversi punti strategici sulla pelle per tutta la durata dell'immersione, e di controllare poi i dati della temperatura per due ore dopo l'emersione per vedere se la variazione della temperatura cutanea possa essere correlata con i picchi del grado Doppler.

Subacquea, Disidratazione ed MDD

Si presume che un subacqueo sia disidratato. Questo può essere facilmente comprensibile se noi consideriamo la diuresi come un fenomeno largamente noto in immersione, che si verifica anche in piscina e che, igienicamente parlando, naturalmente non è ben accetto.

Durante l'immersione in acqua, il ritorno venoso al cuore aumenta e l'atrio destro aumenta di diametro; questo fenomeno indurrà la produzione di un particolare peptide, il cosiddetto peptide natriuretico atriale (ANP). Questo peptide viene prodotto e rilasciato nel flusso sanguigno in risposta all'allargamento dell'atrio, che viene percepito dall'organismo come un aumento del volume del sangue.

Il miglior modo per l'organismo di ridurre il volume del sangue è quello di ridurre il contenuto di acqua del sangue attraverso un aumento della secrezione di acqua tramite la minzione. Questo effetto, detto anche "fenomeno P" è dovuto all'inibizione dell'ormone anti-diuretico da parte dell'ANP.

Detto questo, saranno tutti d'accordo sul fatto che un subacqueo possa essere disidratato, almeno in base a questi parametri ambientali. Naturalmente, se vi aggiungiamo l'ambiente caldo e la sudorazione cui va incontro il subacqueo durante il periodo antecedente all'immersione, la disidratazione sarà sicuramente presente.

Dando un'occhiata alla letteratura scientifica, i dati che si possono trovare a dimostrazione di questo effetto si riferiscono esclusivamente ai subacquei infortunati (Boussuges et al., 1996)...dati divergenti possono essere rintracciati per i subacquei non infortunati; attualmente il DAN sta organizzando viaggi subacquei dove saranno misurati diversi parametri come l'ematocrito (la concentrazione del sangue), il peso specifico dell'urina (la concentrazione dell'urina) e la misurazione della bioimpedenza dell'intero organismo (lo stato di idratazione extracellulare), per giungere ad una migliore comprensione di ciò che accade ai fluidi del subacqueo durante l'immersione.

I risultati preliminari suggeriscono uno scambio di fluidi dal compartimento extravascolare a quello intravascolare per compensare la perdita di liquidi indotta dal fenomeno P. Questo studio è attualmente in corso e potrà essere di grande aiuto per la comprensione degli incidenti subacquei inaspettati, che forse potrebbero essere spiegati da una sovrassaturazione dell'azoto nei tessuti disidratati.

Subacquea ed Articolazione Temporo-Mandibolare (TMJ)

L'articolazione temporo-mandibolare è l'articolazione che viene maggiormente utilizzata nel corso di tutta la nostra vita. Questa è una articolazione alquanto complessa, con legamenti e lamine interne (il menisco) proprio come quella del ginocchio. Al vertice di queste peculiarità, la TMJ è collegata, attraverso la sua zona posteriore, ad un fascio neurovascolare che la connette con i nervi cranici. Questa caratteristica architettura determina un particolare stress durante l'avanzamento della lamina intra-articolare (cioè quando si spalancano la bocca).

Un significativo numero di subacquei (circa il 15%) riferisce dolore nella zona mandibolare o cefalea dopo l'immersione. Il DAN ha messo in atto un protocollo di ricerca con lo scopo di conoscere le ragioni di tali problematiche. Un gruppo di 15 subacquei ha accettato di essere sottoposto a scansione della regione temporo-mandibolare durante un esame di MRI (risonanza magnetica). Le scansioni sono state effettuate tenendo la bocca in tre posizioni diverse: la posizione a bocca chiusa è stata considerata quella di riferimento, successivamente a bocca completamente aperta (con un tubo di plastica di 4cm di diametro

inserito in bocca) ed infine con in bocca un boccaglio di tipo standard.

I risultati hanno mostrato, durante la fase con il boccaglio in bocca, un dislocamento della lamina interna della TMJ comparabile con quello della posizione a bocca completamente spalancata. Questo dislocamento mostra una chiara tensione del fascio neurovascolare retrolaminare, che evidentemente può suscitare malgia o mal di testa (Balestra et al., 2004a). Durante l'immersione il boccaglio è tenuto in bocca per un periodo prolungato di tempo, quindi, se immaginiamo che questo può essere comparato alla posizione a bocca completamente spalancata, è comprensibile che ciò possa indurre dolore.

Sono necessari nuovi dati, e quindi sta iniziando un nuovo protocollo di studio sui boccagli termo-modellabili. Questo nuovo protocollo è mirato ad analizzare la biomeccanica dei dislocamenti della TMJ per mezzo di calchi dentali montati su un articolatore e boccagli sagomati in maniera professionale che saranno testati sull'articolatore e quindi successivamente dati ai subacquei per determinarne gli effetti positivi sul dolore.

Subacquea e Danni Cerebrali: il mistero degli UBO

Quando un medico riscontra diverse chiazze bianche nel corso di una risonanza magnetica cerebrale, ovviamente si preoccupa per il paziente. Questi UBO (Oggetti Brillanti Non identificati) sono delle lesioni a macchia che possono essere scoperte in individui asintomatici così come pure nei subacquei.

Sono stati pubblicati alcuni studi che hanno mostrato un collegamento tra le immersioni subacquee e la presenza di UBO. Noi crediamo che in molti studi, come ad esempio quello di Ginevra sulla memoria che tutti noi del campo conosciamo, c'è un problema di "self selection bias" (errore di auto-selezione). Poiché molti subacquei manifestano una sorta di malattia da decompressione di tipo lieve, di tipo cerebrale o di tipo transitorio con la presenza di poche bolle che si formano ma che passano inosservate e considerano tutto ciò come sintomi normali dopo un'immersione, alcuni di questi sono stati arruolati per lo studio...e naturalmente sono state trovate correlazioni. Per fare un esempio, sono stati scritti degli articoli come quello di Knauth (Knauth et al., 1997), che affermano che esiste una chiara correlazione tra il PFO e questo tipo di macchie nel cervello. Noi, per esserne certi, abbiamo fatto anche questo tipo di studio e naturalmente abbiamo cercato di evitare questo errore di selezione, così abbiamo scelto casualmente i subacquei tra oltre 200 volontari e abbiamo cercato diverse lesioni come queste macchie nei subacquei, trovandone 4.

In seguito abbiamo esaminato anche non subacquei e ne abbiamo trovate 3. Così, se noi confrontiamo queste due tipologie di popolazione, non c'è differenza. Non c'è neanche differenza nel numero delle macchie. Quello che occorre sapere di questo gruppo di subacquei è che il PFO era presente nel 56% dei casi. Così, se il PFO fosse realmente connesso con questo tipo di macchie nel cervello, noi avremmo dovuto trovarne molte di più rispetto all'altro gruppo di persone. Così, per noi, questa non è una chiara correlazione. Abbiamo ancora altri quesiti, questi UBO rappresentano delle lesioni? Gli UBO sono riferibili ad eventi vascolari di tipo trombotico?

Il modo migliore per esserne certi è rivolgersi alla medicina forense. Così abbiamo provato a trovare nuovi volontari con un'altra tecnica.

I frattali matematici stanno tentando di spiegare la struttura e la distribuzione spaziale. Mettendo in pratica il metodo cosiddetto "box-counting" (letteralmente contare le scatole), ci forniscono quella che viene chiamata la "dimensione frattale". Questa dimensione frattale è un sistema per cercare di spiegare la complessità e la distribuzione di alcune questioni. Questo, quindi, è proprio ciò che cercavamo. La maggiore particolarità dei frattali matematici è chiamata "self-similarità" (auto-somiglianza). Così, ciò che viene fuori dallo stesso modello, avrà lo stesso tipo di distribu-

zione; questa, in parte, è la teoria del caos e non è lineare. Così abbiamo messo in atto questo tipo di analisi con le macchie trovate nel cervello dei subacquei. Abbiamo comparato la dimensione frattale trovata con le immagini di eventi trombotici certi (di un gruppo di non subacquei) e le abbiamo comparate anche con le macchie della sclerosi multipla (non trombotiche) ed il tutto è stato confrontato con la dimensione frattale della distribuzione dell'albero vascolare del cervello.

Secondo la particolarità dell'auto-somiglianza, ogni macchia che proviene dall'albero vascolare dovrebbe avere una dimensione frattale compatibile; ed ovviamente ogni macchia che non è correlata con il sistema vascolare una dimensione frattale non compatibile.

Tra gli eventi vascolari e gli eventi trombotici non vi è nessuna differenza significativa nella dimensione frattale. E questo è logico.

Nella sclerosi multipla si vede chiaramente una differenza rispetto agli eventi ischemici o agli eventi trombotici, ovviamente perché vi è una grande differenza tra di essi, in quanto non derivano dalla stessa causa. E se si osservano le macchie del subacqueo, anche qui c'è una grande differenza con l'albero arterioso. Così, attualmente non si può affermare con certezza che queste macchie siano riferite ad eventi trombotici. Allo stato delle cose possiamo affermare che non c'è una chiara correlazione con il danno cerebrale nei subacquei ricreativi e non c'è nessuna vera correlazione o legame tra il PFO e questo tipo di macchie. (Balestra et al., 2004c).

Subacquea in Apnea

Oggi stanno emergendo molti nuovi elementi per comprendere meglio l'apnea; specialmente da parte di alcuni record in apnea come ad esempio quello dei fantastici 209 m di profondità di Patrick Musim. Questo indurrà riflessioni realmente nuove sull'apnea, a partire dai maggiori problemi che dovettero essere presi in considerazione e che erano precedentemente riferiti principalmente all'ipossia, visto che le profondità attualmente raggiunte possono anche essere compatibili con la "high pressure nervous syndrome" (sindrome nervosa da alta pressione).

Altre interessanti vie per comprendere l'apnea estrema sono collegate alla fisiologia dell'affaticamento. Secondo i nostri test sull'apnea estrema, sembra essere presente un collegamento con un particolare fenomeno di controllo ben noto nell'essere coinvolto nel meccanismo dell'affaticamento durante le contrazioni muscolari ed il controllo centrale della respirazione. Questo, recentemente, è stato parzialmente dimostrato e sembra esserci un interessante direttrice da seguire (Duchateau et al., 2002).



PER LA PRIMA VOLTA AL MONDO UN SOFISTICATO LABORATORIO DI FISILOGIA SUBACQUEA DI LIVELLO UNIVERSITARIO AL LAVORO "SUL CAMPO" PER LO STUDIO E LA PREVENZIONE DEGLI INCIDENTI SUBACQUEI.

Ricavare numerosi ed importanti dati per la ricerca scientifica sulla sicurezza dell'immersione, direttamente dalle immersioni reali dei subacquei,

raccogliendo dati scientifici in numero elevato e sufficiente a raggiungere un elevato valore scientifico e statistico: questo lo scopo dei ricercatori DAN Europe intervenuti alla manifestazione "Technical & Extreme Diving Scientific Research Event", che si è tenuta a Tronzano, sul Lago Maggiore, dal 30 settembre al 1 ottobre 2006. L'evento, organizzato dalla agenzia didattica PTA, prevedeva immersioni multiple nel lago, con range di profondità dai 40 ai 130 metri. I subacquei, tutti volontari, tra cui il recordman di profondità in immersione trimix a circuito aperto Nuno Gomez, hanno accettato di sottoporsi a numerosi test scientifici, effettuati dalla squadra di Ricerca del DAN Europe, prima e dopo le loro immersioni, che si svolgevano in condizioni ambientali accuratamente programmate e controllate dalla PTA, dal punto di vista logistico e della sicurezza, ma secondo profili di immersione e metodiche di risalita e decompressione liberamente scelti da ogni sub partecipante.

PAG. 21: FOTO 1 - FOTO 2

Le tende-Laboratorio del DAN Europe

"È stata un'occasione unica" ha detto il Prof. Alessandro Marroni, presidente del DAN Europe "perché nello stesso giorno, abbiamo avuto a disposizione circa 100 subacquei che si sono immersi, secondo profili di immersione da loro autonomamente scelti e programmati, su fasce di profondità variabili fino a 130 metri, con tutte le tecniche dell'attuale immersione ricreativa (aria, nitrox, trimix, rebreather). Per ottenere la stessa messe di dati ed il test di tutte le procedure di ricerca che abbiamo utilizzato, sarebbero stati necessari moltissimi giorni, viaggi, costi e difficoltà logistiche"

La raccolta dei dati è avvenuta grazie all'utilizzo sul campo di un laboratorio di fisiologia subacquea, unico nel suo genere, messo a punto e coordinato dalla squadra di ricerca italo/belga del DAN, diretta dal Prof. Alessandro Marroni e dal Prof. Costantino Balestra (vicepresidente della ricerca DAN Europe e docente di fisiologia all'università di Bruxelles). Molto utile è stato anche il supporto dei ricercatori del CNR di Pisa che, ormai da qualche tempo, collaborano attivamente con il DAN.

PAG. 21:

FOTO 3 La DAN Europe Research Team

FOTO 4 La Squadra "Doppler"

"Abbiamo raccolto le immersioni secondo il metodo standard del Diving Safety Laboratory" spiega Massimo Pieri coordinatore della raccolta dati DAN Europe "questionari e profili di immersione, con analisi doppler per tutti i partecipanti, effettuata dai nostri Research Operators del Sub Novara Laghi e del Sub Del Lago di Verbania. Abbiamo allestito, inoltre, un vero e proprio laboratorio adibito agli esami strumentali per la definizione del rischio della decompressione, valutando ecografie cardiache, metodi per la eliminazione delle bolle circolanti, metodi per lo studio dello scambio dei liquidi corporei, reazioni biologiche allo stress decompressivo"

Il programma seguito dai subacquei volontari è stato:

- esami pre-immersione
- immersione
- rilevamento doppler
- esami post-immersione

Per favorire la fluidità e la rapidità di questa operazione, i subacquei erano divisi in gruppi di quattro e il laboratorio si divideva in aree distinte, a seconda degli esami previsti.

La prima tenda/laboratorio era adibita a:

- rilevamento doppler;
- scarico dei profili di immersione dal computer di almeno un subacqueo per ogni gruppo.

PAG. 22:

FOTO 5 Rilevamento Doppler Pre-Post Immersione

FOTO 6 Download dei profili di immersione

Nella seconda tenda si effettuavano:

- impedenziometria total body (misurazione elettrica impedenziometrica degli scambi dei fluidi corporei);
- densità urinaria (misurazione del peso specifico di un campione di urine);
- ematocrito.

PAG. 22:

FOTO 7 Nuno Gomes alla per la misurazione Impedenziometria

FOTO 8 Prelievo di sangue capillare dell'Ematocrito

La terza tenda è stata destinata a:

- esame combinato pletismo-ecografico per la misurazione della Flow Mediated Dilatation (FMD) (monitoraggio indiretto degli effetti dell'immersione sulla produzione endogena di ossido nitrico e le sue variazioni, a seguito dello stress immersione/decompressione);
- equilibrio termico (misurazione della temperatura cutanea post-immersione);
- ecocardiografia post-immersione (visualizzazione delle bolle gassose nelle cavità cardiache).

PAG. 22:

FOTO 9 Misurazione della FMD

FOTO 10 Misurazione della temperatura cutanea

Era presente, inoltre, un laboratorio mobile, che il DAN ha fatto arrivare direttamente dalla Germania, appositamente attrezzato per rendere fattibili, sul campo, ulteriori tipologie d'esame:

- vibrazione total body pre-immersione, per la deplezione dei micronuclei gassosi (riduzione dei nuclei gassosi per ottimizzare la decompressione);
- total body pre-dive heating (riscaldamento totale de subacqueo), per la stimolazione della HSP (Heat Shock Protein), una proteina che protegge le cellule da danni esterni (Studio dei possibili fattori di protezione dal danno causato dalla bolle gassose).

PAG. 22:

FOTO 11 - FOTO 12 - FOTO 13

Il Laboratorio Mobile con i materassi per la vibrazione e la cabina per il riscaldamento total-body

Infine, per un gruppo pre-selezionato di subacquei, erano previsti esami anche durante l'immersione:

- monitoraggio metabolico su prototipi di apparecchi rebreather, dotati di particolari sensori scafandrati, per il monitoraggio dei gas metabolici durante l'immersione (Ossigeno, CO2 ed il loro rapporto, da cui si derivano informazioni sul metabolismo e la performance cardio-respiratoria e generale del subacqueo in immersione)
- ecocardiografia transtoracica durante la fase di decompressione, con uno speciale ecocardiografo scafandrato e muta dotata di una speciale finestra apribile. Queste particolarissime attrezzature sono state progettate e costruite dall'Istituto di Fisiologia Clinica (IFC) del CNR di Pisa, inizialmente per lo studio della risposta cardiaca alla immersione in apnea. Successivamente l'interesse si è rivolto anche alla risposta del cuore durante immersioni con autorespiratore ed alla possibilità di visualizzare in tempo reale eventuali nuclei gassosi circolanti.

Nel quadro del programma di collaborazione scientifica con il DAN ed in occasione di questa manifestazione, lo IFC di Pisa ha inviato una sua squadra di ricerca per la dimostrazione sul campo dell'esecuzione di questo particolare esame.

PAG. 23:

FOTO 14 Varo dell'Ecocardiografo subacqueo

FOTO 15 Dettaglio dell'ecocardiografo

nello scafandro

FOTO 16 La speciale muta fenestrata per l'ecografia subacquea

L'evento si è concluso domenica 1 ottobre, a Luino, con un convegno che prevedeva interventi di medici e ricercatori DAN, testimonials, invitati speciali ed esperti sub.

Questa seconda parte della manifestazione è risultata utilissima per approfondire e spiegare il lavoro del giorno precedente.

Gli oratori del DAN sono stati:

- Prof. Alessandro Marroni
- Prof. Costantino Balestra
- Ing Corrado Bonuccelli
- Ing Mario Giuseppe Leonardi

"è stata una giornata faticosa" ha detto il prof. Marroni " ma, grazie all'efficienza della nostra squadra ed alla disponibilità dei volontari, tutto è andato oltre ogni più rosea aspettativa e la quantità e qualità dei dati raccolti è stata davvero elevata.

Eravamo partiti con la semplice intenzione di testare la possibilità di portare "sul campo" un laboratorio di ricerca fisiologica di livello scientifico elevato, con strumenti di indagine che normalmente si trovano solo in sofisticati laboratori. Saremmo stati soddisfatti nel confermare la possibilità logistica di eseguire tali esami in condizioni di immersioni reali, e di avere anche un numero discreto di dati interpretabili.

Alla fine della giornata, invece, non solo abbiamo visto che questo elevato livello di ricerca scientifica sul campo è tecnicamente possibile, che è possibile eseguire esami complessi su di un grande campione di subacquei, aumentando, così, il valore scientifico delle osservazioni, ma abbiamo anche avuto la piacevole sorpresa, a conferma del valore di ogni componente della Squadra di Ricerca DAN, di vedere che i dati raccolti sono stati di grande qualità, tanto che la quantità di dati scartati è stata pressoché inesistente e che abbiamo raccolto, già da questa volta, elementi che possono consentire valutazioni scientificamente importanti, sui cui risultati stiamo già lavorando e che verranno comunicate a breve sia su riviste scientifiche, che su Alert Diver ed il sito web del DAN Europe"

Il laboratorio di ricerca è ora all'opera per analizzare il grande numero di dati raccolti:

- 94 immersioni in totale (delle quali n° 89 effettuate dai sub volontari della PTA, n° 3 per la prova dell'ecocardiografo subacquei e n° 2 con il rebreather modificato);
 - 97 rilevamenti doppler;
 - 440 test fisiologici.
- Notizie più dettagliate sui risultati verranno pubblicate a breve sul sito www.daneurope.org e sulla rivista del DAN Europe Alert Diver.
- Laura Marroni



Liebe DAN Europe Mitglieder,

Wie Sie bereits am Umschlag und an den Überschriften erkennen können, geht es in dieser Ausgabe 'Ihres Tauchsicherheitsmagazins' konzentriert um DAN Research, die Forschungsabteilung von DAN, die ihren 12. Geburtstag und gleichzeitig herausragende und überaus anerkannterworte Forschungsergebnisse feiern kann.

Während dieser Jahre hat das Team von DAN Europe Research zahlreiche bedeutende Forschungsprojekte in den Bereichen Tauchphysiologie, Tauchmedizin und Tauchsicherheit realisiert; einige davon brachten Ergebnisse, die es uns ermöglichen, bestimmte Aspekte und Vorgehensweisen des Sporttauchens neu aufzurollen. Das DAN Europe Research Team brachte in diesem Zeitraum 78 wissenschaftliche Veröffentlichungen heraus, die auf internationalen Konferenzen zur Tauchmedizin vorgestellt und in internationalen Wissenschaftsjournalen, Büchern und Tagungsdokumentationen veröffentlicht wurden.

Viele der Projekte von DAN Europe Research produzierten Ergebnisse, die für die Tauchmediziner und Tauchwissenschaftler mittlerweile Referenz sind.

Die Forschungsmethodik, die DAN Europe von Anfang an einsetzte, wurde von vielen Wissenschaftlern als unorthodox angesehen, weil sie meinten, dass wissenschaftliche Forschung nur von qualifizierten akademischen Wissenschaftlern, in vorschriftgemäß ausgerüsteten Forschungslabors und mit Unterstützung von umfangreich ausgebildeten, leistungsfähigen Technikern durchgeführt werden könnte.

Dies mag zwar richtig sein, andererseits sind sowohl tauchmedizinische Wissenschaftler als auch spezialisierte Tauchmediziner Mangelware, und für tauchwissenschaftliche Forschungsaufgaben qualifizierte Techniker sind nochmals schwerer zu finden.

Viel zu oft läuft dies darauf hinaus, dass Vorgehensweisen beim Tauchen, insbesondere, was die Sicherheit der Dekompression betrifft, auf vielen (und unterschiedlichen) Meinungen beruhen, die aus Extrapolationen oder Interpolationen einer begrenzten Anzahl wissenschaftlicher Beobachtungen abgeleitet wurden.

Die vorherrschende Unsicherheit bei der Einschätzung des DCS-Risikos entsteht wegen der nur begrenzt verfügbaren Datenmenge. Wir begreifen die Dekompression immer noch nicht umfassend genug, weil wir nicht über ausreichendes Datenmaterial verfügen, und diese Situation kann nur über die Datenmenge verbessert werden.

Wenn Datenpunkte in einem Berechnungssystem fehlen, werden diese von den meisten Dekompressionsmodellen interpoliert oder extrapoliert; dies ersetzt aber nicht die eigentlich fehlenden Daten.

Um an eine ausreichende Datenmenge zu gelangen, muss die Forschung deshalb hinaus in das Praxisfeld, dorthin, wo reale Taucher tatsächliche Tauchgänge durchführen; sie kann und darf sich nicht damit begnügen, im abgeschotteten Labor mit gezwungenermaßen begrenzten Datenmengen zu arbeiten, und wenn dies auch mit der höchstmöglichen Qualität geschehen mag. Ernstzunehmende Lösungskonzepte können nur auf einer großen Anzahl von Daten, Tauchgängen und Beobachtungen aufbauen, die das Tauchen und alle seine Facetten realistisch widerspiegeln.

Und genau das war die große Herausforderung, der sich DAN Europe stellte, als zuerst das Projekt 'Safe Dive' und dann das 'Diving Safety Laboratory' ins Leben gerufen wurden.

Doch worin bestand nun die Neuerung? Taucher wurden jetzt an der Forschung beteiligt, sie wurden zu einem aktiven Bestandteil der Forschung. Taucher wurden zu 'Tauchforschern' gemacht, die fortan in der Lage waren, ihre Tauchgänge unter Einhaltung einer epidemiologisch und wissenschaftlich einwandfreien Methodik effektiv und präzise zu protokollieren und die Ergebnisse an eine zentrale Datenbank weiterzuleiten, wo

schließlich eine wissenschaftliche Analyse hunderttausender realer Tauchgänge durchgeführt werden konnte, die alle mit einer einheitlichen Methodik ausgewertet wurden.

Wir hatten damit Erfolg und können mittlerweile auf einer Basis von mehr als zweihunderttausend Tauchgängen arbeiten. Diese Zahl wächst kontinuierlich weiter und eröffnet uns nie dagewesene Möglichkeiten, epidemiologische und statistische Analysen zu allen erdenklichen Aspekten des Tauchens zu erstellen, angefangen bei Verhaltensweisen oder der körperlichen Fitness von Tauchern bis hin zur Sicherheit von Dekompressionsverfahren.

Und es gab eine weitere wichtige Neuerung, die DAN Europe mit seiner 'Tauchforschung von Tauchern für Taucher' einleitete: Wir glaubten daran, dass Taucher mehr leisten können, als nur ihre Tauchgänge zu protokollieren und die entsprechenden Daten an ein Datenzentrum zu senden. Wir glaubten an die Taucher, an ihre Bewusstheit, an ihren Wissensdurst, und daran, dass sie ihre Sicherheit und ihre Fähigkeiten ernst nehmen.

Wir entwickelten eine spezielle Methodik, um die Taucher darin auszubilden, solche Signale richtig zu erfassen und die Arbeitsschritte für Empfang, Speicherung und Übertragung der erforderlichen Daten durchzuführen. Und wir hatten damit Erfolg!

Ist diese Sammlung von wichtigen Daten eventuell schon ein Ergebnis, oder was soll letztlich damit erreicht werden? Wir verfügen am Ende über eine umfangreiche Datenbank für die Tauchrisikooanalyse, die Plattform und Werkzeug zugleich ist, und der alle zukünftigen Resultate, Forschungsergebnisse spezieller Projekte und unterschiedlichen Typologien von Tauchprofilen gegenübergestellt werden müssen.

Somit gibt es endlich harte Fakten zur Tauchsicherheit, und nicht nur Meinungen. Ich bin stolz auf das Erreichte, und ich bin Ihnen allen dankbar, den Tauchern und Mitgliedern von DAN Europe, dafür, dass Sie 'Ihre' Tauchsicherheitsorganisation beständig unterstützen, und dafür, dass so viele von Ihnen zahlreiche Tauchgänge DAN 'gespendet' haben. Sicherheit beruht auf korrekten, unvoreingenommenen Informationen – die Forschung stellt die Daten bereit, auf der diese korrekten Informationen basieren. Unterstützen Sie weiterhin die Tauchforschung, werden Sie aktiv und gestalten Sie die Zukunft der Tauchsicherheit mit!

Somit gibt es endlich harte Fakten zur Tauchsicherheit, und nicht nur Meinungen. Ich bin stolz auf das Erreichte, und ich bin Ihnen allen dankbar, den Tauchern und Mitgliedern von DAN Europe, dafür, dass Sie 'Ihre' Tauchsicherheitsorganisation beständig unterstützen, und dafür, dass so viele von Ihnen zahlreiche Tauchgänge DAN 'gespendet' haben. Sicherheit beruht auf korrekten, unvoreingenommenen Informationen – die Forschung stellt die Daten bereit, auf der diese korrekten Informationen basieren. Unterstützen Sie weiterhin die Tauchforschung, werden Sie aktiv und gestalten Sie die Zukunft der Tauchsicherheit mit!

Sets klares Wasser wünscht Ihnen

Alessandro Marroni,
Präsident DAN Europe

Die Geschichte von DAN Europe's Diving Safety Laboratory



Von Dr. Ramiro Cali Corleo, Vizepräsident DAN Europe; Direktor DAN Europe, englischsprachiger Bereich

Das Forschungsprojekt 'DSL' von DAN Europe ('Diving Safety Laboratory', zu deutsch Tauchsicherheitslabor) entstand 1994 während der jährlichen 'European Conference on Diving and Hyperbaric Medicine', durchgeführt von der 'European Underwater Baromedical Society' (EUBS) in Norwegen. Dr. Alessandro Marroni und Dr. Iro Cali-Corleo setzten sich zusammen und erarbeiteten das Konzept für ein Forschungsprojekt, das zum ersten Mal Taucher und Tauchausbilder gemeinsam einbeziehen sollte.

Dieses Projekt wurde 'Safe Dive' benannt; seine Zielsetzung bestand darin, zum ersten Mal systematisch und in großem Umfang zu untersuchen, wie europäische Taucher tauchen, wie ihr vermeintlicher Fitnesszustand aussieht und welche medizinischen Probleme aus den Tauchgängen entstanden. Bemerkenswerterweise dachte DAN America, die Partnerorganisation von DAN Europe, unabhängig davon ebenfalls darüber nach, real durchgeführte Sporttauchgänge wissenschaftlich zu untersuchen.

Safe Dive war von Anfang an als ambitioniertes Projekt geplant, mit dem Ziel, eine Million Sporttauchgänge zu beobachten. Diese Zahl wurde festgelegt, nachdem aus der Anzahl der gemeldeten tauchbedingten Vorfälle auf die Anzahl nötiger Tauchgänge geschlossen wurde, mit denen eine ausreichende Anzahl von Unfällen beobachtet werden konnte, um ein wissenschaftlich verwertbares Resultat zu erhalten, so dass das Forschungsprojekt dem Taucher wirklich den Nutzen bringt, sein Risiko einschätzen zu können, wenn er tauchen geht.

Als wissenschaftliche Methode wurde die Beobachtung gewählt, wobei ein speziell geschulter, als RFO (Research Field Operator) bezeichneter Taucher oder Tauchausbilder das Tauchverhalten einer kleineren Tauchergemeinschaft überwacht und genaue Aufzeichnungen über den Gesundheits- und Gemütszustand eines Tauchers vor und während des Tauchgangs, den Tauchgang selbst und medizinische Auswirkungen infolge des Tauchgangs macht. Der RFO erstellt zudem vor und nach dem Tauchgang jeweils eine Doppler-Aufnahme der präkordialen Herztöne, um so durch den Tauchgang ggf. hervorgerufene, im Kreislauf vorhandene Gasblasen zu erfassen und später identifizieren zu können.

Speziell für die Anwendung durch die RFOs wurde ein Doppler-Gerät entwickelt, und man konzipierte eine Lehrmethode, die es dem Taucher bzw. Tauchausbilder ermöglichen sollte, das Gerät richtig zu bedienen, den charakteristischen Klang zu erkennen (durch Identifizieren seiner musikalischen Tonabfolge) und zu wissen, zu welchem Zeitpunkt die Aufnahme durchzuführen ist. Die erste Gerätegeneration, bestehend aus einem standardmäßigen Doppler und einem Tonbandgerät, funktionierten präzise, aber wurden als zu empfindlich für den Außeneinsatz befunden. Nach einer Reihe von Versionen und Modifikationen kam es zu der aktuellen Bauform, bei der ein robuster, wirklich wasserdichter Doppler – normalerweise für Unterwassergerburten eingesetzt – mit einem digitalen Tonaufzeichnungsgerät verbunden wird; dieses Gerät produziert eine gute Signalqualität für die Analyse und ist gleichzeitig sehr haltbar. Die Tauchgänge selbst wurden mithilfe eines speziell modifizierten, von einem Computerhersteller zur Vergütung gestellten Tauchcomputers ebenfalls aufgezeichnet; dieser Computer zeigte keinerlei Daten auf seinem Display an (nur den Schriftzug 'DAN'), um den Taucher nicht zu beeinflussen und ihn nicht dazu zu veranlassen, seine normalen Verhaltensweisen beim Tauchen zu ändern. Diese Computer wurden nach den Tauchgängen auf einen Rechner ausgelesen und erbrachten so präzise Aufzeichnungen von den Tauchprofilen der beobachteten Tauchgänge.

Safe Dive wurde mit einer besonderen Tauchforschungsreise auf Malta ins Leben gerufen. Die freiwilligen Teilnehmer konnten eine Woche lang das Tauchen genießen und nahmen gleichzeitig, direkt im Forschungsfeld, an theoretischen und praktischen Ausbildungslektionen teil. Erfreulich war, dass die mehr als dreißig Anwärter sich allesamt zu RFOs qualifizieren konnten. In den vergangenen Jahren wurde eine Reihe weiterer entsprechender Kurse abgehalten, normalerweise in Verbindung mit einer Tauchreise.

Hervorzuheben sind dabei jene, die auf dem Tauchboot 'MV Duda' durchgeführt wurden, in Gewässern vor Italien und Malta, im Roten Meer, in Oban auf Schottland, auf Elba in Italien und auf Istrien in Kroatien. Alle Kurse waren sehr erfolgreich und brachten eine Reihe tatkräftiger, begeisterter RFOs hervor.

1999 kam es zu einer formellen Partnerschaft mit dem Hersteller Uwatec, dies führte zur Erweiterung des Projektes 'Safe Dive' zum 'DSL', dem 'Diving Safety Laboratory'. In den Forschungsbereich wurde zusätzlich die Beobachtung spezieller Tauchprofile aufgenommen, die als simulierte Tauchgänge in speziell ausgestatteten Druckkammereinrichtungen durchgeführt wurden, um so Tauchprofile und Dekompressionsmuster identifizieren zu können, die nur minimale oder gar keine Gasblasen produzieren.

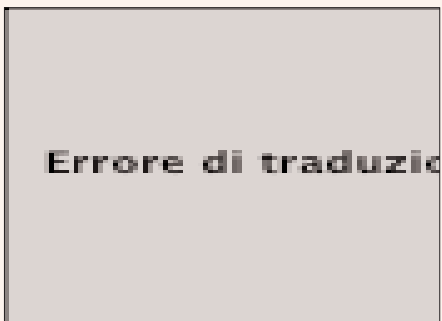
Die Beteiligung von Tauchern und Tauchausbildern wurde ebenfalls modifiziert: Ein ausgebildeter RFO konnte sich nun zum RT (Research Technician, Forschungstechniker) weiterbilden; und eine weitere Teilnehmerfunktion wurde eingeführt, der RO (Research Operator) überwacht die Tauchprofile, aber erstellt keine Doppler-Aufzeichnungen. Bis heute wurden so über 39.000 Tauchgänge beobachtet, bei mehr als 10.000 davon wurden von den RFOs/RTs Doppler-Aufzeichnungen erstellt.

Nach Ablauf der Partnerschaftvereinbarung mit dem Computerhersteller gab es beim DSL weitere Veränderungen. Mehrere unterschiedliche, zur Erfassung von Tauchprofilen geeignete Messgeräte und Tauchcomputer wurden fortan eingesetzt, die aufgezeichneten Profile übertragen und in die Datenbank des Forschungsprojekts geladen.

Mittlerweile umfasst die Forschung des DSL weitere Faktoren, die Einfluss auf das Tauchen haben, z.B. das PFO, und auch biochemische und zelluläre Faktoren. Obwohl die Datenbank des DSL mitsamt ihren Resultaten immer noch ausgebaut wird, wurden bereits Forschungsberichte veröffentlicht, die das Tauchverhalten beeinflusst haben, beispielsweise die Forschungen zum 'Deep Stop'.

Das DSL wird zu immer bedeutenderen Forschungserfolgen gelangen, dank der Unterstützung, die es von den Tauchern und dem engagierten Forscherteam erfährt.

DSL: Die tauchmedizinische Forschung und die Tauchsicherheit von morgen gestalten



Von Massimo Pieri, Koordinator des Diving Safety Laboratory für die Datensammlung, und Marzia Ferrone, DSL Research Operator

Seitdem im Jahr 1999 das unbefristete Projekt eines Forschungslabors von DAN Europe ins Leben gerufen und 'DSL' benannt wurde, hat dieses Forschungsprogramm wertvolle Ergebnisse hervorgebracht. Diese Ergebnisse und auch die nicht gerade unbedeutenden Daten von über 39.000 aufgezeichneten und vollständig dokumentierten Tauchgängen konnten nur durch die leidenschaftliche Mitarbeit der DAN Europe Research Operators realisiert werden, die unermüdlich quer durch Europa reisten und an allen erdenklichen Veranstaltungen zum Thema Tauchen teilnahmen, und durch all die

Sporttaucher, die begeistert ihre Tauchgänge dem DSL und einige ihrer Herzschläge den DAN Europe Dopplersonden für die Aufzeichnung von zirkulierenden Gasblasen nach ihren Tauchgängen 'spendeten'. Die aktuellen Entwicklungen des DSL und die wachsende, immer engere Zusammenarbeit mit DAN America und DAN Southern Africa ermöglichten weitere faszinierende Forschungen. So wurde aus dem Stehgreif eine Studie ins Leben gerufen, die die Auswirkungen unterschiedlicher Aufstiegsmodi, Aufstiegsgeschwindigkeiten und Stopps während des Aufstiegs nach vorher festgelegten Tauchprofilen – innerhalb des normalen, modernen Sporttauchbereichs, ohne Dekompressionsverpflichtung – untersuchte.

In dieser Studie erklärte sich eine Reihe freiwilliger Taucher aus italienischen Tauchclubs (anfangs 'Sub Ravenna', später 'Sub Novara Laghi' und 'Sub Del Lago') bereit, den gleichen Tauchgang von 25 Minuten auf 25 Meter wiederholt mit verschiedenen Aufstiegsprofilen, Aufstiegsgeschwindigkeiten und Stopps während des Aufstiegs zu unternehmen.

Diese Studie, ein sowohl tiefgreifendes als auch bis dahin beispielloses Feldforschungsprojekt zu den Auswirkungen unterschiedlicher Aufstiegsmodi beim Sporttauchen, brachte bereits bedeutende Ergebnisse, die eine Neukonzeption der Aufstiegsverfahren ermöglichen und für eine sicherere, 'ökonomischere' Dekompression sorgen.

Die Studie, die innerhalb des DAN Research Teams mit dem Spitznamen 'MarBen' bezeichnet wird, nach den beiden Wissenschaftlern, die sie entwarfen, Professor Marroni und Professor Bennett, wird fortgesetzt, und nun werden einige weitere Tauchmodalitäten untersucht, u.a. Umkehrprofile, Flach-Tief-Profile, Tauchen mit Nitrox nach Luft- und nach Nitroxtabellen bzw. –computern unter Beobachtung des Unterschieds in der Bildung zirkulierender Gasblasen. Alle diese Tauchprofile repräsentieren das, was tagtäglich draußen in der wahren Taucherwelt geschieht, und die Freiwilligen des DSL-Projekts unterziehen die Tauchgänge, die sie ganz normal unternehmen, ganz einfach der Forschungsmethodik und sammeln die entsprechenden DSL-Daten. Diese einzigartige Kombination von ernsthafter Forschungsmethodik und normalem Sporttauchen ermöglicht eine unerreichte Sammlung maßgeblicher Tauchdaten, mit Zahlen, die weit jenseits jeder bislang zur Überprüfung aktueller Vorgehensweisen beim Tauchen oder Dekompressionsalgorithmen durchgeführten Tauchgangsserie liegen.

Innerhalb dieser Forschungsaktion verdienen die Taucher des Tauchclubs 'Sub Novara Laghi' (Omegna, Italien) besonderen Dank für ihre beinahe ungläubliche Hingabe und Begeisterung, und dafür, dass sie mehr als 1.000 vollständig aufgezeichnete Tauchprofile geliefert haben, teils unlimitierte Tauchgänge, teils 'MarBen' Profile.

Nach Auswertung der ersten Resultate der gemeinsamen Forschungsanstrengungen aller freiwilligen Taucher und des DAN Europe Research Teams ist uns völlig klar, dass aussagekräftige Ergebnisse nur durch die Teilnahme von noch weit mehr Tauchern und die wissenschaftliche Auswertung von hunderten von Sporttauchgängen erreicht werden können, und eben dies ist unsere aktuelle, anspruchsvolle, aber auch machbare Aufgabe.

Dieses Ziel wird nur mit Unterstützung der Sporttauchergemeinschaft und mit all den Tauchgängen, die sie DAN Research 'spenden' will und kann, erreicht werden.

Um dies nochmals leichter und einfacher zu gestalten, hat DAN Europe eine spezielle Software mit dem Namen 'Immersioni' ('Tauchgänge') eingeführt, die von Mario Giuseppe Leonardi entwickelt wurde.

'Immersioni' steht jedem Taucher, der es herunterladen und verwenden möchte, nach Registrierung kostenlos zur Verfügung. Die Software ist ein wunderbares Werkzeug, um die eigenen Tauchgänge aufzuzeichnen und arbeitet wie ein leistungsfähiges und multifunktionales Logbuch; es verfügt aber auch über weitergehende und wissenschaftlich relevante Funktionen:

- direkter Download von Tauchprofilen aus praktisch jeder existierenden Tauch- und Dekompressionssoftwa-

re;

- Hinzufügen von wissenschaftlich relevanten Aufzeichnungen, Ausfüllen von speziellen, von DAN entwickelten epidemiologischen Fragebögen;
- Aufzeichnung von Doppler-Signalen;
- direkter Upload aller aufgezeichneten Daten auf den DAN Europe Zentralserver, von wo sie statistisch ausgewertet werden können.

(Wenn Sie weitere Informationen wünschen, schreiben Sie eine E-mail an: dsl@daneeurope.org).

Alle Taucher und Mitglieder von DAN Europe sind eingeladen, sich 'Immersioni' herunterzuladen (wird demnächst in einer mehrsprachigen Version erhältlich sein, zuerst in Italienisch, Englisch und Französisch), die Software als persönliches Logbuch zu verwenden und wichtige Tauchgangsdaten an DAN Europe zu senden, um damit an diesem Projekt teilzunehmen und an der Sporttauchsicherheit von morgen mitzuarbeiten.

Sie sind alle eingeladen, DAN Europe Research Diver zu werden!

Taucher können eine aktive Rolle auf dem Weg zu einem sichereren und besseren Tauchen übernehmen. Kommen Sie in die erste Reihe der Tauchsicherheitsforschung! Schließen Sie sich dem DAN Europe Diving Safety Laboratory an und werden Sie ein DAN Research Diver!



EINE STUDIE VON DAN EUROPE ÜBER DIE SICHERHEIT DES AUFSTIEGS UND DIE AUSWIRKUNGEN VON DEEP STOPS

Von Dr. Frans J. Cronjé, Präsident DAN Southern Africa, Mitglied des Vorstands (Board of Directors) von DAN Europe

In der Tauchmedizin und der Forschung über das Sporttauchen gibt es in diesem Zusammenhang zwei umfassende Kategorien: Themenbereiche, die sich nicht auf Gasblasen beziehen, und Themenbereiche, die sich auf Gasblasen beziehen. DAN kümmert sich um diese Kategorien mit zwei breit angelegten, internationalen Studien, dem 'Project Dive Exploration' und dem 'Dive Safety Laboratory'.

So weit es um die gasblasenbezogenen Probleme geht, meinen wir damit den Vorgang der Dekompression mitsamt seiner physischen und pathologischen Auswirkungen. Der einzig gangbare Weg, die derart komplexen Vorgänge der Gasabsorption und Entsättigung im menschlichen Körper zu beschreiben und vorauszurechnen, besteht darin, sie mithilfe von mathematischen Formeln oder Rechenmodellen zu generalisieren und anzugleichen. Man muss sich dabei allerdings bewusst machen, dass dies unvermeidlich auch eine starke Vereinfachung der Vorgänge bedeutet, lediglich auf theoretischen Konzepten beruht und nicht unbedingt widerspiegelt, was tatsächlich im Körper geschieht.

Mit den Dekompressionsalgorithmen soll im Wesentlichen erreicht werden, dass der komplexe Inertgasaus-tausch auf fünf grundlegende Konzepte heruntergebrochen wird: (1) Unter erhöhtem Umgebungsdruck absorbiert unser Körper Inertgas; (2) unser Körper gibt Inertgas ab, wenn der Umgebungsdruck sinkt – allerdings langsamer; (3) wenn die Gasspannung in Körpergewebe den Umgebungsdruck übersteigt, entsteht ein Zustand der Übersättigung; (4) ab einem gewissen Punkt wird die Übersättigung zur Bildung von Gasblasen führen; (5) ab einem gewissen Stadium können die Gasblasen Symptome oder Verletzungen verursachen. Wie die meisten von Ihnen wissen werden, enthalten

Dekompressionsmodelle sogenannte langsame und schnelle Gewebe oder Kompartimente. Dies bedeutet, dass einige hypothetische Bereiche mehr Stickstoff absorbieren als andere. Beim normalen Sporttauchen sind die schnellen Gewebe eher von Übersättigung betroffen.

1908 entwickelte John Scott Haldane die berühmte Zwei-zu-Eins-Regel zur Vermeidung von Dekompressionsverletzungen. Dieses 2:1-Prinzip wurde später jedoch modifiziert, da Taucher höhere Übersättigungsgrade in den schnellen Geweben verkräften konnten. Dies führte zu Aufstiegsregeln, die speziell in den schnellen Geweben weit höhere Übersättigungsgrade zuließen. Anstelle des einheitlichen 2 zu 1 Verhältnisses für alle Gewebe erachtete man für die schnellen Gewebekompartimente nun Verhältnisse von bis zu 4 zu 1 als sicher. Leider hat diese Herangehensweise das Problem der Dekompressionskrankheit nicht beseitigt. Etwa 57,6% der DCI-Fälle treten bei Tauchern auf, die eigentlich nichts falsch gemacht haben. Vereinfacht gesagt bedeutet dies, dass ein stures Befolgen der Regeln eines Dekompressionsalgorithmus nicht unbedingt effektiv ist.

Also, zurück zu den Aufstiegsregeln: In letzter Zeit wird die Erkenntnis, dass höhere Übersättigungsgrade in schnellen Geweben zulässig sind, erneut in Frage gestellt, da die entsprechenden Handlungsempfehlungen weder die Auswirkungen der großen Gas Mengen, die sich nach einem Tauchgang in den Venen formieren, berücksichtigen, noch die biologischen Wirkungen, die diese auf den Taucher haben. Wenn das Vorhandensein dieser Gasblasen auch nicht bedeutet, dass der Taucher unbedingt eine Dekompressionskrankheit erleiden wird, so gibt es zumindest eine Verbindung zwischen der Anzahl der Gasblasen und der Wahrscheinlichkeit von Symptomen.

Außerdem können venöse Gasblasen die natürliche Blasenbarriere des Körpers, den Lungenfilter, umgehen oder durchwandern, und zwar durch zwei Mechanismen: Erstens, durch ein PFO (offenes Foramen ovale, 'patent Foramen ovale'); unter bestimmten Bedingungen kann sich dieses Einwegventil, das bei etwa 25% aller Taucher vorliegt, öffnen, damit den Transfer von venösen Gasblasen von der rechten zur linken Herzhälfte ermöglichen ['Rechts-Links-Shunt'] und so zu einer arteriellen Gasembolie führen. Zweitens, bis zu 15% aller Taucher haben einen nur unzureichend arbeitenden Kapillarfilter in der Lunge. Dieses Problem kann bei einer routinemäßigen ärztlichen Untersuchung nicht festgestellt werden. Darum ist es weit wichtiger, Tauchgänge mit hoher venöser Inertgasbelastung zu vermeiden, als Taucher auf ein offenes Foramen ovale hin zu untersuchen – oder schlimmer, vom Tauchen auszuschließen; das Gleiche gilt für die Problematik des Lungenfilters – keine Gasblasen, keine Probleme!

Viele subtile und beschwerliche Symptome nach dem Tauchen kann man nur schwer erklären. Im Zusammenhang mit Gasblasen scheint es auch indirekte, biochemische und immunologische Auswirkungen zu geben. Obwohl man diese Symptome nicht unter den Begriff DCS im eigentlichen Sinne subsumieren kann, sind sie deshalb nicht bedeutungslos. Wir wissen beispielsweise, dass Gasblasen mit Blutbestandteilen reagieren und die Auskleidung der Blutgefäße schädigen können. Dies wiederum verursacht eine Ausschüttung von Substanzen, die eine Entzündung fördern. Die 'Müdigkeit', insbesondere nach tiefen Tauchgängen, könnte von diesen Vorgängen verursacht werden. Die beschriebenen individuellen Unterschiede und deren Auswirkungen könnten erklären, warum einige Taucher problemlos aggressive Tauchgänge unternehmen, während andere völlig unerwartet eine DCS erleiden!

Worin besteht denn nun die Lösung für das Problem? Wie können wir 'blasenfrei' tauchen? Ursache und Wirkung von Gasblasen können auf drei Wege angegangen werden, und hier liegt auch die Zukunft der Dekompressionsforschung: (1) Die Effektivität der Dekompression optimieren – zügig, aber sicher zur Oberfläche zurückkehren, indem die Kombinationen von Aufstiegs geschwindigkeit und Sicherheits-/Deko-Stops modifiziert werden; (2) Gasblasenbildung und –transfer reduzieren bzw. vermeiden; (3) die biologische Reaktion des Körpers auf die Gasblasen reduzieren, da diese das ursprüngliche Problem sonst weiter verschärft.

Eine ökonomische Dekompression erreichen wir, wenn wir Druck und Gasgradienten derart kombinieren, dass wir so schnell wie eben möglich zur Oberfläche zurückkehren, ohne dabei eine übermäßige venöse Inertgasbelastung oder eine riskante Geweüberfüllung herbeizuführen. Seltsamerweise scheint es, als ob Haldane's 2:1-Konzept eine geeignete Lösung anbietet, allerdings aus einem ganz anderen Grund, als es sich Haldane vorstellen konnte. Haldane's Beobachtungen geben die Richtung zu dem bestmöglichen Kompromiss zwischen den Variablen von Aufstiegs geschwindigkeit und Stops beim Tauchen in flacherem Wasser vor, verhindern aber nicht eine kritische Übersättigung. Um das weiterzuentwickeln, was Haldane für die äußersten Grenzen einer sicheren Dekompression herausfand (d.h., wo ein Fehler wahrscheinlich zu einer DCS führt), werfen wir nun einen Blick auf die Grenzwerte für Tiefe und Zeit, von denen wir vorher annahmen, dass sie schon grundsätzlich sicher wären, aber nicht immer. Aus der Sicht der Forschung entsteht beim Warten auf DCS ein praktisches Problem, denn eine DCS tritt tatsächlich relativ selten auf. Die Projekte PDE und DSL haben bereits Daten von mehr als 150.000 Tauchgängen und etwa 15.000 Tauchern gesammelt. Nur 41 Fälle von DCS wurden gemeldet. Wenn das Auftreten der DCS als Maßstab für die Relevanz gelten soll, werden wir vielleicht 100 Millionen Tauchgänge benötigen, um alle Parameter für ein sicheres Tauchen zu erkunden. Selbst dann werden wir nicht jede mögliche Kombination berücksichtigt haben. Wenn wir das Auftreten der DCI aber nicht als Gradmesser für ein erhöhtes Risiko verwenden können, was nehmen wir dann? Als Alternative bietet sich an, zusätzlich zur Überwachung auf DCI unser Augenmerk auf die Vermeidung der VGE (venöse Gasembolie) zu richten; und hier kommt die Anwendung des Doppler-Geräts ins Spiel.

Zwischen 1995 und 2006 hat DAN Europe mehr als 39.000 Tauchgänge beobachtet. Mithilfe von 'Black Boxes' beim Tauchen und Dopplern aus der Geburtshilfe waren wir in der Lage, uns an die Enträtselung einiger wesentlicher, fehlender Schlüsselerkenntnisse für das große Dekompressionspuzzle zu machen... Neuere Studien von DAN Europe drehen sich um die Auswirkungen verschiedener Aufstiegs geschwindigkeiten und Stops im Anschluss an einen 25-Meter-Tauchgang, mit nachfolgender Aufzeichnung der Blasenhäufigkeit per Doppler-Gerät. Auf Basis der Ergebnisse dieser und weiterer, nachfolgender Studien können die folgenden, vorläufigen Empfehlungen gemacht werden:

Für Tauchgänge bis zu 25 msw scheint die beste Vorgehensweise ein 2½- bis 5-minütiger Deep Stop auf 15 msw (bitte beachten Sie, dass 1 Minute hierfür nicht ausreicht), gefolgt von einem 3- bis 5-minütigen Flachwasserstopp auf 3 bis 5 msw zu sein – der letztere sollte eher länger ausfallen als der Deep Stop. Die anzustrebende Aufstiegs geschwindigkeit beträgt 10 Meter pro Minute – weder langsamere noch schnellere Geschwindigkeiten scheinen effektiver zu sein.

Zusammengefasst, eine 'ökonomische Dekompression' bedeutet nicht, wie lange Sie dafür benötigen, sondern eher, auf welcher Tiefe Sie diese Zeit verbringen!



DIE STUDIEN VON DAN EUROPE ZUM PFO:

GIBT ES EIN REALES RISIKO FÜR DEN SPORTTAUCHER MIT PFO?

Dr. Peter Germonprè, Medizinischer Direktor, DAN Europe BeNeLux und französischer Sprachraum
Gegen Ende der 80er Jahre wurden einige medizini-

sche Berichte veröffentlicht, die allem Anschein nach darauf hindeuteten, dass einige Taucher ein höheres Risiko aufwiesen, eine Dekompressionskrankheit (DCS) zu erleiden, als andere. Das Vorhandensein eines sogenannten 'persistierenden -' bzw. 'offenen Foramen ovale' ('patent foramen ovale', PFO) konnte – laut diesen Berichten – erheblich häufiger bei Tauchern, die eine DCS erlitten hatten, nachgewiesen werden als bei anderen Tauchern. Der Unterschied war beeindruckend: Etwa 66% der Taucher mit einer DCS hatten ein PFO, bei der 'Kontrollgruppe' waren es lediglich 20%. Ein offenes Foramen ovale ist keine Krankheit. Tatsächlich haben etwa 25 bis 30 Prozent aller Menschen ein PFO. Ein PFO ist eigentlich eines der wenigen Dinge, die uns von unserem Leben vor der Geburt geblieben sind, und es hat nicht im Entferntesten etwas mit einer seltenen Erkrankung zu tun. Das PFO ist eine winzige Verbindung zwischen der rechten und der linken Herzseite. Während wir uns noch im Mutterleib befanden, war diese Öffnung weit größer. Sie sorgt dafür, dass fast 80% des venösen Blutes auf die linke (arterielle) Kreislauflinie gelangt und so die Lunge umgeht. Die Lunge arbeitet beim Fötus noch nicht – die Atmung würde jetzt ja nur Wasser hin und her bewegen. Die Sauerstoffversorgung des Fötus erfolgt allein über den placentaren Gasaustausch. Das sauerstoffangereicherte Blut fließt in die zentrale Hauptvene des Körpers ('untere Hohlvene') und gelangt auf die venöse Seite der rechten Herzhälfte. Von dort wird es in erster Linie durch das Foramen ovale auf die arterielle Seite gebracht, anstatt eine recht lange und enge Umleitung über die Lunge zu nehmen, und wird vom linken Ventrikel in die Aorta, zum Hirn und zu den lebenswichtigen Organen gepumpt.

Erinnern Sie sich daran, was direkt nach Ihrer Geburt geschah? Der Arzt oder die Hebamme gab Ihnen einen ordentlichen Klaps auf den Hintern, und Sie haben mit Wut und Empörung angefangen zu schreien, nicht wahr? Nein, hier waren keine Sadisten am Werk – diese Handlung brachte Sie aber dazu, so tief wie möglich einzuatmen, und damit die Alveolen Ihrer Lunge vollständig zu öffnen und mit frischer Luft zu füllen. Aber nicht nur mit Luft, auch mit Blut: Der Druck in der Lungenarterie sinkt drastisch, und venöses Blut wird in den pulmonalen Blutkreislauf förmlich hineingesogen. Der Druck in der rechten Herzhälfte sinkt unter den Wert der linken Hälfte, und die ventilartige Öffnung, die das Foramen ovale ist, wird, wie eine Tür vom Wind, zugeschlagen. Innerhalb von Stunden oder Tagen verwächst das Ventil, und die Öffnung ist abgedichtet – bei 30% aller Menschen bleibt allerdings ein schmaler, kanalartiger Durchlass bestehen. Ein solches PFO hat im alltäglichen Leben wenig Bedeutung – es gibt hierdurch keinerlei Einschränkungen bei der körperlichen Leistungsfähigkeit oder der allgemeinen Gesundheit –, aber es stellt eben eine mögliche Verbindung vom venösen zum arteriellen Blut dar (s. Abb. 1).

Die Hypothese hinter diesen frühzeitigen medizinischen Berichten war, dass die Stickstoffblasen, die ein Taucher nach dem Auftauchen im Blut hat, über das Foramen ovale auf die arterielle Seite des Herzens gelangen und zur Ursache einer Dekompressionskrankheit werden können. Das PFO wurde daher als Risikofaktor für die Dekompressionskrankheit angesehen.

DAN Europe hat schnell die mögliche Problematik dieser Hypothese erkannt. Schließlich haben 25 bis 30% aller Taucher ein PFO – und offenbar haben nicht alle diese Taucher ein inakzeptables DCS-Risiko! Man startete eine Reihe von Untersuchungen, um mehr über dieses Phänomen und das entsprechende Risiko für den Taucher zu erfahren.

Eine erste Studie wurde 1998 veröffentlicht. Die Annahme, dass eine unerwartete (sogenannte 'unverdiente') DCS tatsächlich durch ein PFO verursacht werden kann, wurde darin bestätigt. DCS wird als 'unverdient' bezeichnet, wenn sie nach einem Tauchgang auftritt, der nach den allgemein akzeptierten 'Verhaltensregeln' für die Dekompression durchgeführt wurde (sei es mit Tauchcomputer oder -tabelle). Mithilfe einer aufwendigen Untersuchungsmethode (transösophageale Echokardiographie, s. Abb. 2) wurden Taucher, die eine DCS

erlitten hatten, mit 'gleichwertigen' Tauchern verglichen, die niemals eine DCS hatten. Aus dieser Studie folger- te man, dass 'unverdiente' DCS tatsächlich mit einem häufigeren Vorhandensein (bis zu 80%) eines (großen) PFO in Verbindung gebracht werden kann, wenn die Symptome auf eine Verletzung im Bereich von Hirn, Augen oder Ohren bzw. Vestibularorgan hindeuteten. Auf der anderen Seite zeichnete sich ab, dass andere Formen der DCS (mit Symptomen von Verletzungen im Bereich von Knochen, Gelenken oder der unteren Wir- belsäule) nicht mit dem PFO in Verbindung gebracht werden konnten. Die Ergebnisse der Studie waren bedeutend, unterstrichen sie doch, niemals zu verges- sen, dass die bei der Dekompression entstehenden Gasblasen die wahre Ursache einer DCS sind, und dass das Vorhandensein eines PFO nur einen mög- lichen Schlußweg auf die arterielle Kreislaufseite dar- stellt. Nicht jede 'unverdiente' DCS kann mit dem Vor- handensein eines PFO in Verbindung gebracht werden, und dies bedeutet, dass es weitere Mechanismen geben muss, die Dekompressionsblasen pathologisch werden lassen.

Ein zweite Studie untersuchte eingehender die Umstän- de, unter denen sich ein PFO und damit der Durchlass vom venösen Blut zur arteriellen Seite des Herzens öff- nen könnte. Indem wir bei freiwilligen Tauchern den intrathorakalen Druck gemessen haben, konnten wir feststellen, dass einige, nach einem Tauchgang durch- geführte Aktionen wahrscheinlich risikobehafteter sind als andere. Beispiele hierfür sind das Anheben schwer- er Lasten (Tauchflaschen), anstrengender Sport, Luft- anhalten und Pressdruck im Bauch (z.B. sich Hoch- drücken an Bord eines Schlauchboots, Pressen beim Entleeren des Darms). Abgesehen von den Handlung- en an sich ist die Dauer des Luftanhaltens von Bedeu- tung. Um es kurz zu erklären, während der Luftdruck in der Lunge ansteigt, wird das Blut außerhalb des Brust- korbs 'gestaut' und kann so nicht in die rechte Herzhäl- fe gelangen. Beim Lösen der Anspannung schiebt die- ses Blut ins Herz hinein und lässt den Druck in der rech- ten Herzhälfte kurzzeitig höher als den in der linken ansteigen. Dieser Vorgang könnte das PFO für einige Sekunden öffnen, lange genug, um Blut (und Gasbla- sen) passieren zu lassen.

Um die gleiche Zeit herum (1997-1998) tauchten weite- re Berichte auf, die auf ein Gesundheitsrisiko für das Tauchen mit einem PFO hindeuteten, auch, wenn der Taucher niemals eine DCS erleiden sollte. Mithilfe von Magnetresonanztomographie fanden die Wissenschaft- ler mehr und größere 'weiße Flecken' im Hirn von Tau- chern mit PFO als bei Tauchern ohne PFO. Selbst wenn die durch das PFO gewanderten Gasblasen keine DCS verursachten, würden sie gleichwohl als Emboli ins Hirn wandern und dort zu bleibenden Schäden führen, so lautete die Hypothese. Sie können sich denken, dass diese Berichte eine gehörige Portion Manik unter den Tauchern verursachte.

Wieder versuchte DAN Europe Research nachzuprü- fen, ob diese Annahmen korrekt waren. Eine bekannte Tatsache ist, dass Gasblasen, die eine neurologische DCS verursachen, bleibende Hirnschäden nach sich ziehen können. Es ist ebenfalls bekannt, dass Taucher Symptome der DCS oftmals totschweigen, auch wenn sie ernstzunehmen sind und eine medizinische Unter- suchung sowie ggf. eine Druckkammerbehandlung erforderlich wären (z.B. bei unerklärlichem Schwindel und Übelkeit nach einem Tauchgang). Wenn ein Tau- cher mehrere dieser Vorfälle erlebt hat, könnte man bei durch Hirntomographie gefundenen 'weißen Flecken' deshalb annehmen, dass diese als Folgen einer DCS entstanden und nicht einfach nur durch das 'Tauchen mit PFO'. Nochmals, die Ursache einer DCS sind Gas- blasen, nicht das PFO selbst.

Die Ergebnisse der Studie von DAN Europe war hinge- gen beruhigend: Aus einer größeren Menge geeigneter Freiwilliger wurden 44 erfahrene Taucher zufällig aus- gewählt und mithilfe modernster Medizintechnik, d.h. mit Hirntomographie, Echokardiographie und neuropsy- chologischen Tests, untersucht. Zwischen den Tau- chern mit und ohne PFO konnte kein nennenswerter Unterschied gefunden werden, was darauf schließen

lässt, dass es in früheren Untersuchungen entweder Probleme mit den Untersuchungsmethoden oder mit der Auswahl der Freiwilligen gegeben haben muss. Es stellt sich tatsächlich eher heraus, dass wir noch nicht einmal sicher sind, dass die 'weißen Flecken', die auf Tomogrammen einiger Taucher zu sehen waren (und übrigens auch bei Nicht-Tauchern über 40), über- haupt durch irgendwas verursacht wurden, das im Hirn 'embolisierend' wirkte. Bei der Fraktalanalyse von Hirnbildern (einem weiteren Projekt von DAN Europe Research) konnten mehr Übereinstimmungen mit Läsionen durch Immunkrankheiten gefunden werden als mit Gefäßproblemen. Man könnte also mutmaßen, ob diese zerebralen Flecken [im englischen 'unidenti- fied bright objects' – UBOs] tatsächlich pathologisch sind, oder einfach nur Teil des normalen Alterungspro- zesses... Jedenfalls ist jetzt klar, dass Taucher, die sich an die Sicherheitsregeln von DAN für das Nullzeittau- chen halten und niemals eine DCS hatten, kein erhöh- tes Risiko für derartige UBOs haben!

Die Kontroverse geht allerdings weiter, und viele Tau- cher bitten um eine Untersuchung auf PFO, obwohl es höchstwahrscheinlich überhaupt keinen Grund gibt, sich beim Sporttauchen innerhalb der Nullzeitgrenzen darüber Sorgen zu machen. Aus diesem Grund hat DAN eine sogenannte prospektive Studie [Langzeitstudie] lanciert, die das Risiko des Tauchens mit PFO abschließend bewerten soll, die 'DAN Europe Carotid Doppler Study' ['DAN Europe Carotis Doppler Studie'].

DAS RISIKO EINES PFO UND SEINE ROLLE BEI 'UNVERDIENTER' DCI: FAKT ODER FIKTION?

Das Problem all dieser Studien liegt offenbar darin, dass man mit einer Gruppe von Tauchern beginnt, die ein ernstes, aber äußerst seltenes Gesundheitsproblem durchlebt haben, DCS. Eine Dekompressionskrankheit tritt mit der Wahrscheinlichkeit von 1 zu 10.000 Tauch- gängen auf, abhängig von der Art des unternommenen Tauchgangs. Wracktauchen in kaltem Wasser hat bei- spielsweise ein weit höheres Risiko (etwa 1:1000), erholsames Sporttauchen innerhalb der Nullzeit ein weit niedrigeres (nach den Statistiken von DAN Europe etwa 1:35000). Zur Erinnerung, DCS hängt im Wesentlichen von der Anzahl der Dekompressionsblasen im venösen Blut des Tauchers nach dem Auftauchen ab!

Da wir wissen, dass annähernd 25 bis 30% aller Tau- cher eine mögliche Verbindung zwischen der venösen und der arteriellen Seite des Herzens über das PFO aufweisen, kann man sich leicht vorstellen, dass bei vie- len von denen, die eine DCS erlitten haben, auch ein PFO vorhanden ist (es sind tatsächlich etwa 80%). Aber es lässt sich nicht so leicht verstehen, dass alle ande- ren Taucher mit einem PFO zahlreiche Tauchgänge unternommen haben, ohne jemals eine DCS zu erleiden.

Mit anderen Worten, selbst wenn das Risiko für eine DCS bei einem Taucher mit PFO doppelt so hoch sein sollte, bleibt dieses Risiko vernachlässigbar, solange bei den Tauchgängen keine bedeutende Menge an Gasblasen entsteht. Dies kann leicht bewerkstelligt wer- den, indem man die Regeln für ein 'sicheres' Tauchen befolgt. Viele Sporttaucher unternehmen nicht mehr als eintausend Tauchgänge in ihrem ganzen Leben, und somit bedeutet die Wahrscheinlichkeit einer DCS von 1:17.500 einen Risikofaktor nahe Null.

Da es allerdings viele Faktoren für eine DCS gibt, die wir noch nicht kennen, kann niemand einem Taucher einen Tauchgang ohne jedes DCS-Risiko garantieren. In allen Studien zum PFO erlitt eine Anzahl Taucher ohne PFO eine 'unverdiente' DCS. Die Ursache dieser Fälle von DCS bezieht sich eindeutig auf andere Fakto- ren. Es könnte andere, möglicherweise pulmonale Shunts geben, die das Hinüberwandern von Gasblasen in den arteriellen Kreislauf ermöglichen. DCS kann durch von Gasblasen verursachten venösen Blockaden in den Geweben selbst entstehen (z.B. DCS im Rück- mark, DCS in Knochen und Gelenken...).

Durch eine Untersuchung auf ein PFO wird daher nur ein Teil des Risikos geklärt. Wenn die soeben beschrie- benen Faktoren nicht berücksichtigt werden, besteht die

Gefahr, sich in einer trügerischen Sicherheit zu wiegen: "Ich habe kein PFO, also kann ich meine Grenzen ein wenig weiter fassen als jemand, der ein PFO hat". Eine solche Einstellung wird früher oder später sicher ein ernstes Problem hervorrufen!

KANN DIESES PFO VERSCHLOSSEN WERDEN?

Nachdem ein Taucher 'entdeckt' hat, dass er ein PFO hat, kommt unvermeidlich die nächste Frage auf: "Kann ich dagegen etwas unternehmen?". Das Verschließen eines PFO war einmal eine riskante Prozedur; die Brust musste geöffnet werden, und es wurde unter Zuhilfe- nahme einer Herz-Lungen-Maschine am offenen Her- zen operiert.

Während der vergangenen 15 Jahre wurden Geräte entwickelt, die das Verschließen eines PFO durch das Einbringen eines sogenannten 'Ankerschirmchens' mittels einer einfachen Kathetertechnik möglich mach- ten und deren einziges 'Überbleibsel' eine punktförmige Wunde an der rechten Beinvene in der Leiste ist. Diese Okkluder werden immer häufiger verwendet, nicht bei Tauchern, sondern hauptsächlich bei Personen, die einen 'unerklärlichen Schlaganfall' erlitten haben. Es ist kaum verwunderlich, dass viele Taucher sich nach den Möglichkeiten erkundigen, ihr PFO verschließen zu las- sen, um ihr Risiko beim Tauchen zu senken. Wie steht es damit, kann man ihnen dies empfehlen?

Zuerst müssen wir uns wieder die verschiedenen betei- ligten Risiken ansehen.

Das Risiko, beim sicheren, entspannten Gerätetauchen eine DCS zu erleiden, ist sehr klein, auch mit einem PFO. Lassen Sie uns einmal annehmen, es sei 1 in 10.000 Tauchgängen.

Das unmittelbare Risiko der Verschlussoperation ist nicht sonderlich hoch, aber liegt im Bereich von 0,5 bis 1% (1 in 100). Der Eingriff wird unter Vollnarkose aus- geführt, eine transösophageale Echokardiographie ist erforderlich, eine Punktion wird durchgeführt, und ein großer Katheter wird in eine große Vene hineingescho- ben und bis ins Herz geführt. Es kann Komplikationen beim Platzieren des Okkluders geben, seien es techni- sche Schwierigkeiten oder ungenaues Positionieren des Schirmchens. Obwohl tödliche oder lebensbedroh- liche Komplikationen selten sind, sie kommen vor.

In etwa 5 bis 10% aller Fälle kommt es nach dem Ein- griff zu Problemen mit dem Herzrhythmus, denen man manchmal über längere Zeit mit einer Medikamenten- gabe gegen Rhythmusstörungen begegnen muss.

Da das Implantat einen im Blut platzierten Fremdkörper darstellt, muss der Patient 4 bis 6 Monate lang Medika- mente gegen Blutgerinnung einnehmen – während die- ser Zeit gibt es ein gewisses Risiko von unkontrollierten Blutungen.

Schließlich kann heute noch niemand sagen, was mit diesen Gegenständen in vielleicht 20 Jahren passieren wird, es gibt sie ja erst seit weniger als 15 Jahren! Wer- den sie zerfallen und ein großes Loch im Septum hinter- lassen? Werden sie sich lösen und in den arteriellen Kreislauf gelangen? Werden sie neue, möglicherweise schwer zu behandelnde Herzrhythmusstörungen her- vorrufen? Niemand weiß es.

Selbst im Zusammenhang mit kryptogenen Schlagan- fällen (winzige Blutgerinnsel passieren das PFO und gelangen rasch ins Hirn) gibt es eine rege Debatte zwi- schen Kardiologen und Neurologen, ob man nun den Aufwand treiben sollte, das PFO zu schließen. Es scheint so, als ob die Einnahme niedrig dosierter Aspi- rintabletten annähernd die gleiche Wirkung hätte – ohne die zusätzlichen Risiken und Nebenwirkungen!

Ob eine Freizeitaktivität wie das Gerätetauchen nun die Risiken (und den finanziellen Aufwand) eines PFO-Verschlusses rechtfertigt, mag weiterhin diskutiert werden. Wir können Ihnen abschließend einen mindestens ebenso guten Rat schlag geben: Tauchen Sie sichere Nullzeitprofile, und Sie haben kein erhöhtes Risiko gegenüber den anderen! Wenn Sie das Tauchen beruf- lich betreiben und für Ihren Lebensunterhalt größere Dekompressionsrisiken auf sich nehmen müssen, mag Ihre Risiko-Nutzen-Bewertung anders aussehen. Für den 'normalen' Sporttaucher ist es das aber vielleicht

nicht wert.

DIE 'DAN EUROPE CAROTID DOPPLER STUDY': EIN UPDATE

Um das wahre Risiko des Tauchens mit einem PFO ermitteln zu können, muss eine sogenannte 'prospektive' Studie durchgeführt werden. Dies bedeutet die Untersuchung einer großen Zahl von Tauchern, sie über einen gewissen Zeitraum normal tauchen zu lassen, die entsprechenden Daten zu sammeln (Anzahl der Tauchgänge, Häufigkeit von DCS), und schließlich die Gruppe von Tauchern mit PFO der Gruppe ohne PFO gegenüberzustellen. Wenn man die durchschnittliche Anzahl Tauchgänge, die ein Taucher jährlich unternimmt, sowie das relativ seltene Vorkommen einer DCS betrachtet, müssen statistisch gesehen 4.000 Taucher über einen Zeitraum von etwa 5 Jahren untersucht und begleitet werden. Und genau darum geht es in der 'DAN Europe Carotid Doppler prospective study on the risk of diving with a right-to-left shunt (PFO)' [zu deutsch: Prospektive Carotis Doppler Studie von DAN Europe zum Risiko des Tauchens mit einem Rechts-Links-Shunt (PFO)] – wow!

Wie kann man nun feststellen, ob bei einem Taucher ein PFO vorliegt? Die offenbar zuverlässigste Methode besteht in einer Echokardiographie, oder noch besser, einer 'transösophagealen Echokardiographie'. Dies ist eine recht unangenehme Untersuchung, bei der kostspielige Untersuchungsgeräte über den Mund in die Speiseröhre eingeführt werden, um so das Herz visuell beobachten zu können; währenddessen wird ein Kontrastmittel in die Armvene injiziert. Wenn diese Untersuchungsform in großem Maßstab durchgeführt werden soll, sind die logistischen Probleme einfach nicht zu bewältigen. DAN Europe Research hat deshalb einen viel einfacheren Weg entwickelt und getestet ('evaluiert'), um herauszufinden, ob jemand einen Rechts-Links-Shunt hat. Diese Methode wird als 'Doppler-Sonographie der Arteria carotis' [auch Arteria carotis Doppler, ACD] (engl.: 'Carotid Doppler Ultrasound') bezeichnet. Hierbei wird ebenfalls ein Kontrastmittel ins Blut injiziert (normale Kochsalzlösung), das Abtasten selbst erfolgt mithilfe einer schlichten Dopplersonde auf der Haut im Nackenbereich (s. Abb. 3). Die gesamte Untersuchung dauert etwa 10 bis 15 Minuten und ist, abgesehen von dem Einstich der Nadel, absolut schmerzfrei. Somit ist diese Methode prädestiniert für großangelegte Untersuchungen, auch wenn ihre Ergebnisse nicht zu 100% identisch mit denen der Echokardiographie sind (falls Sie sich für Statistik interessieren: die Methode hat eine Sensitivität von 100% und eine Spezifität von 88%). Wenn die Richtlinien für ihre Ausführung strikt befolgt werden, kommt man mit dieser Methode auf einfache Weise zu verlässlichen, reproduzierbaren Ergebnissen.

So weit zum Untersuchungsverfahren – aber wie kommen wir jetzt an die Testpersonen? Aha! Jetzt kommen Sie ins Spiel. DAN Europe Research bat Taucherärzte in diversen Ländern um Zusammenarbeit (und sucht noch weitere) und unterzog sie einer formellen Schulung in der Durchführung der Tests. Ihre Mitwirkung besteht nun darin, dass sie die Tests eigenständig in ihren Arbeitsräumen durchführen. Bislang gibt es in Belgien, der Schweiz, Österreich, Deutschland, Italien und Südafrika untersuchende Ärzte, und es sollen weitere Staaten folgen. Jeder der untersuchenden Ärzte investiert eine Menge Zeit, um das Wissen über das PFO und dessen Risiko für das Tauchen weiter zu bringen – wäre es nicht toll, wenn auch die Taucher selbst so begeistert wären, an diesem Forschungsprojekt teilzunehmen?

Die Grundannahme der Studie ist im Wesentlichen eine positive: DAN würde gern nachweisen, dass ein PFO für alle normalen, auf Sicherheit bedachten Taucher kein Grund zur Sorge ist. Wir sind schließlich der Überzeugung, dass Tauchen im Allgemeinen sehr sicher ist, und dass insbesondere das entspannende Sporttauchen über einen derartigen Sicherheitspuffer verfügt, um sich über ein PFO keine Sorgen mehr machen zu müssen.

Das Ergebnis dieser Untersuchung kann dem Taucher

aus ersichtlichen Gründen nicht sofort mitgeteilt werden. Erst nach 5 Jahren, wenn der Untersuchungszeitraum für den Taucher beendet ist, wird man ihm anbieten, das Ergebnis zu erfahren. Die Studie wurde von DAN Europe's Ethikausschuss, sowie von Komitees für biomedizinische Ethik in Belgien, Südafrika, Großbritannien und Österreich formell als Forschungsprotokoll für Studien am Menschen gebilligt. Dies bedeutet, dass jeder teilnehmende Taucher ein Formular 'Patienteninformation und Einwilligungserklärung' unterzeichnen muss, nachdem ihm das Forschungsziel und die angewandten Maßnahmen vollständig und zufriedenstellend erläutert wurden.

Die Ergebnisse der Studie können erst in ein paar Jahren bekannt gemacht werden; man wird sie dann auf breiter Front in der wissenschaftlichen Literatur, in den DAN Publikationen und in den populären Tauchmagazinen veröffentlichen. Bis dahin gibt es natürlich noch viel zu tun! Wenn Sie als freiwilliger Taucher an dem Programm teilnehmen möchten, können Sie sich bei einem der untersuchenden Ärzte in ihrer Nähe melden. Verzweifeln Sie nicht, wenn es zurzeit in Ihrer Gegend keinen Untersuchenden geben sollte. Jedes Jahr werden zusätzliche Untersuchende ausgebildet und nehmen ihre Tätigkeit auf – besuchen Sie regelmäßig die Forschungsseiten auf der DAN Europe Website.

DAS PFO UND DIE TAUCHER: SCHLUSSBETRACHTUNG

Welches Resümee können wir nun aus der aktuellen PFO-Forschung mitnehmen? Zuerst einmal, keine Panik.

Das PFO ist eine mögliche Ursache für einen Transfer ('Shunt') von Stickstoffblasen nach einem Tauchgang, auch innerhalb (aber an der Grenze) der Nullzeit. Unter gewissen Bedingungen kann dies zu einer 'unverdienten' DCS führen.

Beim sicheren, entspannten Sporttauchen ist das Risiko einer DCS jedoch dermaßen klein, dass es auch mit einem PFO (zur Erinnerung, etwa 25-30% aller Taucher haben eins!) noch so klein bleibt, dass man sich weiter keine Sorgen machen muss.

Der operative Verschluss eines PFO ist bei einem Taucher, der niemals unter DCS litt und der ausschließlich sichere und entspannte Freizeittauchgänge unternimmt, wahrscheinlich Unsinn. Bei Tauchern, die DCS hatten, kann dies ggf. individuell beurteilt werden; aber in den meisten Fällen werden die möglichen positiven Auswirkungen (falls es sie gibt) die Risiken und Ungewissheiten des Eingriffs nicht aufwerten können.

Die eigentliche Diskussion muss auf einer ganz anderen Ebene stattfinden. Taucher sollten sich vielmehr klar werden, dass kein Tauchcomputer und keine Tabelle in der Lage ist, die physiologischen Vorgänge der Dekompression genau und individualisiert zu simulieren. Deshalb kann und wird auch kein Tauchcomputer jemals das Auftreten einer DCS komplett verhindern, auch wenn ein großer Sicherheitspuffer in seinem Algorithmus eingerechnet sein mag. Sie sollten darum auch nicht alles 'glauben', was Ihnen Ihr Tauchcomputer 'sagt', und Sie sollten nicht an seine Grenzen gehen (oder an die Ihrer Tabelle). Mit anderen Worten: Bleiben Sie immer klar im 'No-Deco'-Bereich Ihres Computers. Und es gibt weitere, bekannte und akzeptierte Regeln für ein 'sicheres Tauchen': Übertreiben Sie es nicht gleich mit dem Tauchen, wenn Sie vorher lange nicht aktiv waren, tauchen Sie keine 'Umkehrprofile', legen Sie immer einen Sicherheitsstopp am Ende Ihres Tauchgangs ein..., um nur ein paar zu nennen. Noch besser: Warum tauchen Sie nicht mit Nitrox – aber bitte lassen Sie Ihren Tauchcomputer auf 'Luft' eingestellt und befolgen Sie die entsprechenden Regeln –, Sie werden das Risiko einer DCS weit wirksamer senken als mit Ihren Gedanken über das PFO!

DAN Europe untersucht zurzeit weitere Wege zur Reduktion von Stickstoffblasen nach einem Tauchgang, z.B. den 'Deep Stop' – bleiben Sie auf dem Laufenden, informieren Sie sich weiter über diese neuen oder aktualisierten Forschungsprojekte!

Seite 11:

Abbildung 1, Anatomie des patent Foramen ovale
Abbildung 2, Transoesophageale Echokardiographie

Seite 12:

Abbildung 3, Dopplersonographie der Karotisarterie

DAS 'DAN EUROPE DIVING PHYSIOLOGY

Research Laboratory' in Brüssel, und die wesentlichen Ergebnisse seiner Forschungsprojekte



Prof. Costantino Balestra, DAN Europe Vizepräsident für Forschung und Ausbildung, Direktor DAN Europe BeNeLux

ECHOKARDIOGRAPHIE

Die aktuelle tauchphysiologische Forschung geht hinsichtlich der zur Untersuchung von Tauchern im Forschungsfeld verwendeten Gerätschaften neue Wege. Bis heute ist das Abtasten von Tauchern mittels eines Dopplergeräts die gängigste Methode, um venöse Gasblasen nach einem Tauchgang aufzuspüren.

Zur Beurteilung der vom Doppler erzeugten Klangmuster führte man 'Klassen' ein, und es gab mehrere unterschiedliche Systeme, wie die Blasenmenge eingestuft wurde. Alle diese Klassifizierungen leiden unter einer Einschränkung: Sie sind nicht linear. Eine Einstufung 'zweiten Grades' bedeutet also nicht die doppelte Gasblasenmenge von 'ersten Grades'.

Dieser Umstand lässt keine hochwertigen Berechnungen statistisch hergeleiteter Voraussagen zu. Man war also gezwungen, ein Gerät auszuwählen, welches die Gasblasen nicht mehr einstuft, sondern 'zählte' (Brubbak et al., 2005).

Dies kann mittels eines Ultraschallgeräts bewerkstelligt werden. Ein solches Gerät ist natürlich teuer, und man findet es in erster Linie im Klinikbereich. Daher war es nur schwierig für Taucher einsetzbar; denn für das Aufspüren der Gasblasen steht nur ein kurzes Zeitfenster zur Verfügung, und wenn der Taucher erst in eine Klinik geschafft werden muss, bevor die Gasblasen in einer Echokardiographie sichtbar gemacht werden können, macht dies wenig Sinn (Boussuges et al., 1998; Boussuges et al., 1999; Carturan et al., 2000; Carturan et al., 2002).

Dank neuer Technologien war es möglich, sehr kleine und erschwingliche Ultraschallgeräte zu entwickeln, mit denen Gasblasen vor Ort gezählt werden können. Der Einfluss dieser Messungen auf Vorhersagen wird von großer Bedeutung für die künftige Tauchsicherheit sein. Wir zählen die Gasblasen zurzeit mit zwei Methoden, einmal automatisch mit einem selbst entwickelten Computerprogramm, zum anderen natürlich manuell. Das gemeinsame Vorgehen bei der Blasenmessung beruht auf einem Intervall von mindestens 10 Herzschlägen, und die Messgröße wird in Blasen pro Quadratzentimeter angegeben. Dieses Messfenster von 1 cm² befindet sich im rechten Ventrikel; der rechte Ventrikel erscheint im Vergleich der vier Herzkammern am geeignetsten, da im rechten Atrium einige 'redundante' Blasen vorhanden sein können, die doppelt gezählt würden. Eine weitere interessante Anwendung des Ultraschalls bei Tauchern ist die Messung der 'Flow Mediated Dila-

tion', FMD ['strömungsvermittelte Dilatation', Ultraschall der Brachialarterie], nach einem Tauchgang. Es zeigte sich hierbei, dass sich die Reaktionen des Endothels nach einem Tauchgang verändert haben können, und es wird vermutet, dass die Anwesenheit von Blasen das Endothel dahingehend beeinträchtigen kann, dass sich einige Mikropartikel vom Endothel ablösen, mit dem Blutstrom davongetragen werden und weiter entfernt Gefäßreaktionen hervorrufen, selbst noch im arteriellen Teil des Gefäßsystems. Da das Vorkommen von 'Shunts', wie dem patent Foramen ovale, nicht mehr zur Erklärung von 'unverdienten' Dekompressionsunfällen gebraucht wird, sind diese Erkenntnisse von großer Bedeutung. Um die Dekompression besser verstehen zu können, werden weitere Daten direkt aus der Praxis benötigt, denn das physiopathologische Modell ist nicht so trivial wie die gefäßverschießende, gefährliche Gasblase selbst.

TAUCHEN, SAUERSTOFF UND EPO (ERYTHROPOIETIN)

Einige Experimente wurden mit Apnoe-Tauchern durchgeführt; nach einer Serie von 5 Tauchgängen auf 40 m Tiefe, die innerhalb von 2 Stunden erfolgten, ermittelten wir verschiedene Parameter. Die wichtigste Entdeckung bei diesen Messungen war die Zunahme der EPO-Konzentration im Blut von zwei der neun Taucher. Die Zunahme war so groß, dass sie klinisch relevant war.

Der tatsächliche Auslöser für die Produktion von EPO ist anerkanntermaßen hauptsächlich eine Hypoxie in den Geweben. Bei diesen Apnoisten wäre die Relevanz einer Hypoxie aber kaum verständlich, da der Taucher sich in der Tiefe ja in einer hyperoxischen Situation befindet. Falls bei seinem Aufstieg eine Hypoxie auftreten sollte, wird diese nur von sehr kurzer Dauer sein und stimmt nicht mit dem in der Literatur beschriebenen Auslösefaktor für die EPO-Produktion überein.

Um dieses Phänomen verstehen zu können, baten wir 15 Freiwillige, an einer kontrollierten Studie im Druckkammerzentrum teilzunehmen. Sie mussten uns dreimal für jeweils 36 Stunden aufsuchen und nach festgelegten Zeitintervallen Blutproben abgeben.

Bei ihrem ersten Besuch mussten sie lediglich Blutproben abgeben, um so den normalen Verlauf ihrer EPO-Produktion zu ermitteln; wie Sie sicher wissen, ist EPO ein Hormon, und dessen Schwankungen innerhalb des 24-Stunden-Zyklus sind beträchtlich. Beim zweiten Besuch mussten sie zwei Stunden lang Sauerstoff atmen und alle 10 Minuten 10 Kniebeugen durchführen. Diese Versuchsvorgaben entsprachen den 5 Bar Druck der Apnoe-Taucher auf 40 m Tiefe, mit einem Atemgasgemisch von 20% Sauerstoff und 80% Stickstoff (atmosphärische Luft) in ihren Lungen. Die Taucher mussten also zur Simulation unter atmosphärischem Druck nur 100% Sauerstoff atmen. Die Übungen wurden durchgeführt, um so für eine mehr oder weniger konstante Blutzirkulation in allen Geweben zu sorgen; dies würde auch zu einer besseren Stickstoffabgabe während der Sauerstoffatmung führen. Beim dritten Besuch wurden sie in der Druckkammer auf 2,5 Bar gebracht, um zu sehen, ob die vermutete Entwicklung des EPO-Wertes eintraf.

Die Ergebnisse waren erstaunlich. Die Atmung von normobarem Sauerstoff brachte eine Zunahme des endogenen EPO-Wertes um 60%, die Druckkammerbehandlung bewirkte eine Abnahme des endogenen EPO (Balestra et al., 2006).

Diese Erkenntnisse, ursprünglich ausgelöst durch die Messungen bei den Tauchern, zeigten eine besondere Rolle des Sauerstoff bei der Produktion von EPO auf, die wir als 'normobares Sauerstoff-Paradox' bezeichneten; sie könnten zu einer vielversprechenden Entwicklung für die Zukunft werden, nicht nur im Umfeld des Tauchens, sondern auch im klinischen Bereich.

TAUCHEN UND DAS LYMPHGEFÄßSYSTEM

Die Suche nach außerhalb der Blutgefäße befindlichen Gasblasen oder den legendären 'de novo' Gasblasen ist für die Dekompressionsforschung wie die Suche nach 'Nessy', dem berühmten Monster von Loch Ness in Schottland. Alle vermuten, dass es möglicherweise

eine Art Dekompressionsblasen außerhalb der Blutgefäße gibt, aber bislang gibt es keine klaren, allgemein akzeptierten Aussagen darüber. Allgemein eingeräumt wird, dass diese Blasen, wenn es sie denn gibt, sehr klein sein müssen.

Wenn wir uns das Modell einer Dekompressionsblase vor Augen führen, so wird anerkanntermaßen angenommen, dass diese nach ihrer Freisetzung von einer Vielzahl reaktiver Substanzen 'umhüllt' wird; doch wenn die Blase außerhalb der Gefäße gelangen würde, was geschähe dann?

Das Körpersystem, das sich um Proteine oder proteinummantelte 'unidentifizierte Objekte' außerhalb der Blutgefäße kümmern soll, ist das Lymphgefäßsystem. Wir wollten nun wissen, ob die zurzeit empfohlene Vorgehensweise bei der Ersten Hilfe mit Sauerstoff nach einem Tauchunfall auch das Lymphgefäßsystem dabei unterstützen kann, seine Effektivität beim Aufspüren und Einfangen solcher 'außergefäßlicher Objekte' zu verbessern. Einige Freiwillige kamen zu uns ins Labor, und wir injizierten ihnen in die Muskeln zwischen Daumen und Zeigefinger subkutan eine Mischung markierter Proteine. Diese dotierten Proteine wurden im Achselbereich, in dem sich bekanntermaßen viele Lymphknoten befinden, mit einer Gammakamera aufgespürt. In diesem Experiment atmete der Proband 30 Minuten lang Sauerstoff, während er sich unter der Gammakamera befand. Das gleiche Experiment wurde nachfolgend ohne Sauerstoffatmung durchgeführt. Die Kaptation von Proteinen nahm während der Sauerstoffatmung sowohl hinsichtlich Geschwindigkeit als auch Menge deutlich zu, und dies bedeutet, dass die aktuell empfohlene Vorgehensweise bei der Ersten Hilfe für Taucher sich auch bei kleinen Emboli außerhalb der Gefäße vorteilhaft auswirkt. (Balestra et al., 2004b).

TAUCHEN UND HSP (HITZESCHOCKPROTEINE)

Hitzeschockproteine sind in der Tat die besten 'Chaperone' (Anstandsdamen) unserer Körperzellen. Die Proteine, aus der die Zelle aufgebaut ist, können nach einer Stressbelastung (hauptsächlich äußere Einflüsse) Veränderungen unterliegen. Ein Protein hat eine komplex gefaltete Struktur, die vom auftretenden 'Stress' (z.B. Hitze) entfaltet werden kann; die HSP haben die Funktion, die entfaltenen Proteine zu reparieren und wieder in ihre ursprüngliche Form zu bringen.

Man konnte belegen, dass sich diese Funktion bei der Bekämpfung von Nebenwirkungen der Chemotherapie bei Krebserkrankungen vorteilhaft auswirkt.

Es konnte weiter nachgewiesen werden, dass das Vorhandensein von HSP eine Schutzwirkung für den dekomprimierenden Taucher haben kann.

Einige Berichte in der Literatur deuten darauf hin, dass ein sanftes Aufwärmen des Körpers beim Menschen HSP freisetzt. DAN Europe führt gerade eine Studie zum Aufwärmen von Tauchern vor dem Tauchen durch, um die Auswirkungen dieser Vorbehandlung auf die Blasenbildung zu untersuchen.

TAUCHEN, VIBRATIONEN UND GASBLASEN

Einige Berichte enthielten erstaunliche Schilderungen von gefährlichen Dekompressionsverfahren nach tiefen Tauchgängen, jedoch ohne DCS Symptome. Viele von diesen 'Supertauchern' behaupten, eine 'spezielle Physiologie' zu haben, die ihnen hilft, die Dekompressionsbelastung zu bewältigen. Einige behaupten sogar zu fühlen, wie sich die Dekompressionsblasen in ihren Venen entwickeln und beenden den Sicherheitsstopp, wenn dieses Gefühl nachlässt....

Eine bemerkenswerte Aussage kam von einem älteren Taucher, der behauptete, dass er durch die ausgiebige Benutzung seines Schlauchbootes vor dem Tauchgang vor der Dekompressionskrankheit geschützt werde; seine Erklärung war eine verworrene Theorie über die schon vor dem Tauchgang vorhandenen Mikrogasblasen, die von den Vibrationen eliminiert würden....

Wir versuchten daraufhin, freiwillige Taucher vor einem standardisierten Tauchgang in einer kontrollierten Umgebung Vibrationen auszusetzen. Nachdem der gesamte Körper 30 Minuten lang den Schwingungen einer Vibrationsplatte ausgesetzt war, beobachteten wir

eine Reduktion der venösen Gasblasen nach dem Tauchgang. Wir konnten nach einer solchen Behandlung die Produktion von Stickstoffmonoxid (NO) durch das Endothel messen, aber wir fanden keine bedeutend erhöhten Werte. In einem neueren Versuchsverfahren verwenden wir anstelle der Platte teilweise nun eine Vibrationsmatte; dies könnte unter Umständen die Körperreaktionen und insbesondere die Reaktionen in den Gefäßen verändern, da die Vibrationen bei diesem Gerät hauptsächlich axial verlaufen. Nach den Vibrationen im gesamten Körper konnte mithilfe der FMD [Ultraschall der Brachialarterie] keine Zunahme der NO-Produktion festgestellt werden. Um die zugrundeliegenden Mechanismen zu verstehen, bedarf es noch vieler weiterer Daten, und es ist viel zu früh, den Tauchern eine Vorbehandlung mit irgendeiner Art von Vibrationen zu empfehlen.

THERMOREGULATION UND TAUCHEN

Jedem Menschen, der sich ins Wasser begibt, ist bewusst, dass er für das Aufrechterhalten einer stabilen Körpertemperatur sorgen muss. Die Weiterentwicklung der Tauchausrüstung erlaubt dem Taucher heute aber, mit geeigneten Atemgasen oder mit Rebreathern länger im Wasser zu bleiben als früher, außerdem kommen einige Menschen heute eher mit der Hypothermie in Berührung, z.B. Kinder, die an das Tauchen herangeführt werden (Doubt, 1996; Panchar, 2002).

Nicht ganz so klar ist der Zusammenhang zwischen den venösen Gasblasen nach einem Tauchgang und der Wassertemperatur. Entsprechend unseren Erfahrungen beim 'Dopplern' von Tauchern fanden wir einen Zusammenhang zwischen der Hauttemperatur und dem Grad an Gasblasen nach dem Tauchgang. Wie könnte nun die Hauttemperatur mit dem Grad an Gasblasen verknüpft sein? Unsere Hypothese beruht auf der möglichen Rolle der Haut als 'Stickstoffreservoir'. Wie Sie wissen, ist die Haut (nach dem Endothel) das ausgedehnteste 'Organ' des Körpers. Wenn dieses reichlich mit Gefäßen durchzogene Gewebe eine Menge Stickstoff puffern kann, könnte eine Verbindung mit dem Spitzenwert im Grad an Blasen gefunden werden, den wir mehr oder weniger eine Stunde nach dem Tauchgang verzeichnen.

Wir versuchen hierzu, die Temperatur während des gesamten Tauchgangs an mehreren strategischen Stellen auf der Haut zu messen, und diese Messungen bis zwei Stunden nach dem Tauchgang fortzuführen, um sehen zu können, ob die Temperaturentwicklung zu den Maximalmesswerten beim Dopplergrad in Beziehung gesetzt werden kann.

TAUCHEN, DEHYDRATION UND DCI

Man geht davon aus, dass ein Taucher dehydrat ist. Dies wird verständlich, wenn wir uns die Immersions- oder Taucherdiurese vor Augen führen, ein bekanntes Phänomen, das schon im Swimmingpool auftritt, über das aber aus hygienischen Gründen ungern gesprochen wird.

Während Ihr Körper sich im Wasser befindet, steigt die zum Herzen zurückkehrende venöse Blutmenge an, und das Volumen des rechten Atriums vergrößert sich. Da der Körper die Vergrößerung des Atrium als Anzeichen für eine größere Blutmenge interpretiert, führt dieser Vorgang zur Produktion eines Peptids, dem sogenannten 'atrialen natriuretischen Peptid' (ANP), das in den Blutstrom ausgeschüttet wird.

Der einfachste Weg, das Blutvolumen zu reduzieren, besteht für den Körper darin, den Wassergehalt des Blutes mittels Harnausscheidung zu vermindern. Diese im Englischen auch als 'P-Phänomen' bezeichnete Erscheinung entsteht, wenn das 'antidiuretische Hormon' [ADH] durch ANP blockiert wird.

Daher besteht allgemein Konsens darüber, dass ein Taucher – zumindest wegen dieser umweltbedingten Vorgänge – dehydrat ist. Wenn Sie dann noch eine heiße Außentemperatur und das Schwitzen des Tauchers vor dem Tauchgang hinzunehmen, muss eine Dehydratation definitiv vorhanden sein.

In der wissenschaftlichen Literatur findet man Daten, die sich auf diesen Körperzustand beziehen, nur im

Zusammenhang mit den verletzten Tauchern (Boussuges et al., 1996); im Zusammenhang mit unverletzten Tauchern sind nur divergierende Daten vorhanden. DAN organisiert aktuell Tauchausfahrten, bei denen verschiedene Parameter, u.a. Hämatokrit (Blutkonzentration), spezifisches Gewicht des Urins (Urinkonzentration) und Bioimpedanz des Körpers (extrazelluläre Hydratation), gemessen werden, um so ein umfassendes Bild von den Vorgängen im Flüssigkeitshaushalt des Tauchers während des Tauchgangs zu erhalten. Die vorläufigen Ergebnisse lassen darauf schließen, dass Flüssigkeit von den Kompartimenten außerhalb der Gefäße in die Gefäßkompartimente übertritt, um so den Verlust durch die Taucherdiurese auszugleichen. Diese Studie ist noch nicht abgeschlossen; sie wird eine große Hilfe für die Ursachenforschung bei den unverdienten Tauchunfällen sein, die vielleicht durch eine Stickstoffübersättigung der dehydrierten Gewebe erklärt werden könnten.

TAUCHEN UND DAS KIEFERGELENK

Das Kiefergelenk ist das Gelenk, das Sie in Ihrem Leben am häufigsten nutzen. Es ist ein komplexes Gelenk mit Bändern und innenliegender Scheibe (Diskus), ähnlich dem Kniegelenk. Im hinteren Bereich ist das Kiefergelenk zudem über ein neurovaskuläres Bündel mit einigen Kranialnerven verbunden. Durch seinen speziellen Aufbau bedingt, entsteht beim Vorrücken der innenliegenden Scheibe (wenn der Mund weit geöffnet ist) eine besondere Belastung.

Eine nennenswerte Anzahl Taucher (etwa 15%) berichtete über Beschwerden im Bereich des Kiefergelenks oder über Kopfschmerzen nach dem Tauchen. DAN entwickelte ein Untersuchungsprotokoll, das darauf angelegt war, die Ursache für derartig schmerzhaft Erfahrungen verständlich zu machen. Eine Gruppe von 15 Tauchern willigte ein, dass der Bereich ihrer Kiefergelenke mithilfe einer Magnetresonanztomographie gescannt wurde. Die entsprechenden Scans wurden mit drei unterschiedlichen Mundpositionen durchgeführt. Der geschlossene Mund wurde als Referenz betrachtet, das andere Extrem war der weit geöffnete Mund (mit einer Plastikröhre von 4 cm Durchmesser im Mund), und schließlich wurde ein Standard[atemrekler]mundstück im Mund gehalten.

Die Ergebnisse zeigten, dass sich die innenliegende Scheibe beim Festhalten des Mundstücks ähnlich weit nach vorn bewegte wie beim weit geöffneten Mund. Diese Verlagerung bewirkte eine klar erkennbare Spannung des hinter dem Diskus liegenden neurovaskulären Bündels, die offensichtlich die Entstehung von Myalgie [Muskelschmerz] oder Kopfschmerz fördert (Balestra et al., 2004a). Während eines Tauchgangs wird das Mundstück für längere Zeit im Mund gehalten; wenn Sie sich vorstellen, das diese Stellung vergleichbar mit dem vollständig geöffneten Mund ist, können Sie sich vielleicht vorstellen, warum sie Schmerzen hervorrufen kann.

Auch hier werden neue Daten benötigt, und ein neues Protokoll mit wärmegeformten Mundstücken wird gerade lanciert. Dieses neue Protokoll zielt darauf ab, die Vorwärtsverlagerung des Kiefergelenks biomechanisch zu analysieren. Nachdem mit thermischen Abdrücken geformte Gebissduplikate auf einen Artikulator montiert wurden, werden professionell geformte Mundstücke darauf getestet und anschließend an Taucher übergeben, um zu überprüfen, ob es dadurch zu Verbesserungen hinsichtlich der Schmerzbelastung kommt.

TAUCHEN UND HIRNSCHÄDEN: DAS RÄTSEL DER UBOs

Wenn ein Arzt viele weiße Flecken auf dem Magnetresonanztomogramm eines Patienten erkennt, macht er sich um den Patienten Sorgen. Diese zerebralen Flecken ('Unidentified Bright Objects' – UBOs) sind Punkte im Hirn, die wie Läsionen aussehen und sowohl bei symptomlosen Menschen als auch bei Tauchern vorkommen können.

In einigen veröffentlichten Studien wurde ein Zusammenhang zwischen dem Tauchen und solchen UBOs hergestellt. Wir meinen, dass es in Studien wie der Genfer 'Memory Dive' Studie, die wir alle aus die-

sem Bereich kennen, ein Problem mit einer Selbst-Selektions-Verzerrung (auch engl. 'self selection bias') gibt. Viele Taucher machen eine Art leichter Dekompressionskrankheit durch, zerebrale DCS, DCS von kurzer Dauer, mit nur wenigen hinübergelangten Gasblasen, aber ohne es zu bemerken, da sie die Erscheinungen als normale Symptome nach dem Tauchen interpretieren. Sie melden sich als Teilnehmer für die Studie an..., und natürlich werden Verletzungsspuren gefunden. Vor dem gleichen Hintergrund wurden einige Dokumente veröffentlicht, z.B. der Knauth-Bericht (Knauth et al., 1997), in denen erklärt wird, dass es einen klaren Zusammenhang zwischen dem PFO und dieser Art Verletzungen im Hirn gibt. Um Gewissheit zu haben, führten wir ebenfalls eine derartige Studie durch, wobei wir natürlich versuchten, diese Selbst-Selektions-Verzerrung zu vermeiden. Wir wählten Taucher zufällig aus 200 Freiwilligen aus und untersuchten sie auf verschiedene, läsionsähnliche Flecken hin; wir entdeckten bei den Tauchern vier. Dann untersuchten wir Nichttaucher und identifizierten drei. Wenn wir die beiden Gruppen miteinander vergleichen, gibt es also keinen Unterschied. Es gibt keinen Unterschied in der Anzahl der Flecken. Sie sollten von der Gruppe von Tauchern noch wissen, dass wir unter ihnen einen Anteil von 56% mit PFO hatten. Wenn ein PFO wirklich einen Zusammenhang mit diesen Flecken im Hirn haben sollte, hätten wir aber weit mehr Flecken als bei der Vergleichsgruppe finden müssen; für uns ist dies daher nicht klar.

Wir haben noch ein weiteres Problem, sind diese UBOs wirklich Läsionen? Gibt es bei den UBOs einen Zusammenhang mit gefäßbedingten, sagen wir, thrombotischen Ereignissen?

Um hier Gewissheit zu erlangen, sollten wir am besten über die forensische Medizin gehen. Wir versuchten also, Freiwillige für eine andere Methodik zu finden.

Die Fraktale Geometrie versucht, Struktur und räumliche Verteilung zu beschreiben. Indem man die 'Box-Counting-Methode' anwendet, ermittelt man die sogenannte 'fraktale Dimension'. Diese fraktale Dimension ist ein Mittel, um Komplexität und Verteilung zu beschreiben, und genau diese Faktoren wollten wir uns ansehen. Die wesentliche Besonderheit von Fraktalen bezeichnet man als 'Selbstähnlichkeit'. Was vom gleichen Muster abstammt, hat demnach auch die gleiche Art der Verteilung; dies ist Teil der Chaostheorie, es ist nichtlinear. Wir unterzogen also die in den Hirnen der Taucher gefundenen Flecken einer solchen Analyse und verglichen deren fraktale Dimension mit denen von eindeutig thrombotischen Ereignissen (einer Gruppe von Nichttauchern). Dann verglichen wir sie mit Flecken von multipler Sklerose (nichtthrombotisch), und alles wurde nochmals mit der fraktalen Dimension von dendritenartigem Gefäßwachstum im Gehirn verglichen. Entsprechend der fraktalen Selbstähnlichkeit sollte jeder Fleck, der aus dem Gefäßbett herrührt, eine verwandte fraktale Dimension aufweisen; und natürlich sollte jeder Fleck, der keine Beziehung zum Gefäßbett hat, eine abweichende fraktale Dimension aufweisen.

Bei der Angiographie thrombotischer Ereignisse gab es in der mittleren fraktalen Dimension keine bedeutende Abweichung; dies ist normal. Für die multiple Sklerose ergab sich bei der Arteriographie ischämischer oder thrombotischer Ereignisse eine Abweichung; dies ist ganz natürlich, da diese nicht von der gleichen Stelle aus entstehen. Auch für die bei den Tauchern gefundenen Flecken ergab sich eine große Differenz gegenüber denen aus dem arteriellen Gefäßbett. Wir sind also nicht einmal sicher, ob diese Flecken überhaupt mit thrombotischen Ereignissen in Verbindung zu bringen sind.

Soweit wir heute erkennen können, gibt es tatsächlich weder klar erkennbare Auswirkungen hinsichtlich Hirnschädigungen bei Sporttauchern, noch eine greifbare Beziehung oder einen Zusammenhang zwischen einem PFO und dieser Art zerebraler Flecken (Balestra et al., 2004c).

APNOE-TAUCHEN

Zurzeit kommt eine Vielzahl von Aspekten zum Ver-

ständnis der Vorgänge um die Apnoe ans Tageslicht, insbesondere, nachdem kürzlich einige neue Rekorde beim Tauchen mit angehaltenem Atem aufgestellt wurden, z.B. die unglaubliche Tiefe von 209 m, erreicht von Patrick Musum. Dies wird komplett neue Überlegungen hinsichtlich der Apnoe nötig machen; die hauptsächlich zu berücksichtigenden Probleme hatten in erster Linie mit Hypoxie zu tun, die jetzt erreichten Tiefen stoßen aber schon in den Bereich vor, in dem 'High Pressure Nervous Syndrome' (HPNS) ein Thema wird. Weitere interessante Wege zum Begreifen der Vorgänge beim extremen Apnoe-Tauchen ergeben sich aus der Physiologie der Ermüdung. Nach unserem Tests bei extremen Apnoe-Tauchgängen scheint es eine Verbindung zwischen einem speziellen Steuerungsvorgang im Ermüdungsmechanismus während muskulärer Kontraktionen und der zentralen Atemsteuerung zu geben. Dies konnte kürzlich teilweise nachgewiesen werden, und es wird spannend, weiter in dieser Richtung zu forschen (Duchateau et al., 2002).



ERSTMALIG IN DER GESCHICHTE DER MEDIZINISCHEN ERFORSCHUNG DES SPORTTAUCHENS HAT, MITTEN IM FORTSCHRITTLICHEN PHYSIOLOGISCHES UNTERSUCHUNGSLABOR AUF AKADEMISCHEM NIVEAU DIE ARBEIT AUFGENOMMEN UND BEOBACHTETE ZAHLEICHRE, UNBESCHRÄNKTE SPORT- UND TECHNISCHE TAUCHGÄNGE, UM DAS TAUCHMEDIZINISCHE WISSEN ZU ERWEITERN UND UM UNFÄLLE BEIM SPORTTAUCHEN VERHINDERN ZU KÖNNEN.

Von Laura Marroni

"An wichtige Daten für unser Forschungsprojekt zur Tauchsicherheit zu gelangen, und zwar direkt aus realen, unbeschränkten Tauchgängen und in einer Menge, die eine wissenschaftlich haltbare Aussagekraft trägt", dies war das Ziel des DAN Europe Research Teams, als es am 'Technical & Extreme Diving Scientific Research Event' teilnahm, das am 30. September und 1. Oktober 2006 in Tronzano, am Lago Maggiore in Italien, stattfand.

Im Rahmen dieser vom italienischen Tauchsportverband PTA effizient organisierten Veranstaltung wurden im Lago Maggiore zeitgemäße Tauchgänge mit Tiefen zwischen 40 und 130 Metern durchgeführt.

Alle Taucher, auch der international bekannte Trimix-Rekordtaucher Nuno Gomes, hatten sich freiwillig für die Veranstaltung gemeldet und bereiterklärt, eine Reihe von mehrfach ausgeführten medizinischen und physiologischen Untersuchungen sowie non-invasive physiologische Forschungsprozeduren über sich ergehen zu lassen, jeweils vor und nach ihren Tauchgängen. Alle Tauchgänge wurden nach Profilen durchgeführt, die die Taucher selbst frei auswählen und planen konnten; sie wurden allerdings seitens der PTA sorgfältig und effektiv organisiert und beaufsichtigt, sowohl logistisch, als auch sicherheitstechnisch.

Seite 21: Foto 1 - Foto 2
Die Zelte, in denen das DAN Europe Field Research Laboratory untergebracht war

"Diese einmalige Gelegenheit konnten wir uns einfach

nicht entgehen lassen.“, sagte Prof. Alessandro Marroni, Präsident von DAN Europe, “Wir konnten an nur einem Tag vielfältige, komplexe tauchphysiologische Untersuchungen an beinahe 100 Tauchern durchführen, die frei geplante Tauchgänge auf Tiefen bis hinunter auf 130 msw unternahmen, mit Pressluft, Nitrox, Trimix und mit Kreislauffauchgeräten.

Unter anderen Bedingungen hätten wir Monate, wenn nicht mehr, investieren müssen, um an die gleiche Menge von Daten und Praxistests zu kommen, ohne überhaupt von Kosten und logistischen Schwierigkeiten zu reden!”

Die umfangreiche Datensammlung wurde durch Entwicklung eines komplexen physiologischen Praxisfeldlabors möglich, entworfen und realisiert vom italienisch-belgischen DAN Europe Research Team, geleitet von Prof. Alessandro Marroni und Prof. Costantino Balestra (DAN Europe Vizepräsident Forschung und Ausbildung, Direktor DAN Europe BeNeLux), und unter Beteiligung des Forschungsteams des 'Institute of Clinical Physiology' (Bestandteil des 'Italian National Research Institute') und der Universität von Pisa, Italien, mit der DAN Europe schon in vielen Tauchforschungsprojekten aktiv zusammengearbeitet hat.

Seite 21:

Foto 3 Das DAN Europe Research Team

Foto 4 Das Doppler-Team

“Wir sammelten die Tauchdaten mit der regulären Vorgehensweise des Diving Safety Laboratory (DSL),“ sagt Massimo Pieri, der Koordinator von DAN Europe für die Sammlung von Tauchdaten, “d.h., mit speziellen Fragebögen, mit dem Download von Tauchprofilen und mit der Aufzeichnung von präkordialen Doppleruntersuchungen nach den Tauchgängen, durchgeführt von den DAN Research Operators der Tauchclubs 'Sub Novara Laghi' und 'Sub Del Lago'.

Außerdem installierten wir ein komplettes physiologisches Untersuchungslabor, um durch eine Reihe von Untersuchungen, u.a. durch Echokardiographie, Begutachtung des Austauschs von Körperflüssigkeiten, der Eliminierung von Mikrogasblasen und der biologischen Reaktion auf die Dekompressionsbelastung, ein umfassenderes Bild der Risiken und der Physiologie der Dekompression zu erhalten.”

Alle freiwilligen Taucher unterzogen sich der folgenden Untersuchungssequenz:

- Physiologische Untersuchungen vor dem Tauchgang
- Tauchgang
- Aufzeichnung der präkordialen Dopplertöne
- Wiederholung der physiologischen Untersuchungen nach dem Tauchgang

Um all dies zu ermöglichen, einen reibungslosen Ablauf zu gewährleisten und eine Überbelegung der physiologischen Untersuchungsstellen zu vermeiden, wurden die Taucher in Vierergruppen und das Labor je nach Art der Untersuchung in Stationen eingeteilt, so dass die Tauchergruppen leicht von Station zu Station rotieren konnten.

Die erste Forschungsstation war zuständig für:

- Doppler-Aufzeichnung
- Download der Tauchprofile

Seite 22:

Foto 5 Doppler-Aufzeichnung nach dem Tauchgang

Foto 6 Download der Tauchprofile

Die zweite Forschungsstation war zuständig für die Messung von:

- Bioimpedanz des Körpers (eine Methode, um den Flüssigkeitsaustausch zwischen Körpergewebe und -kompartimenten zu ermitteln);
- spezifischem Gewicht des Urins (eine weitere Methode, die Flüssigkeitsbalance im Körper zu messen);
- Hämatokrit (das Verhältnis zwischen Blutzellen und Blutplasma, welches vom Hydratationszustand der Per-

son beeinflusst wird).

Seite 22:

Foto 7 Nuno Gomes bei der Station für die Bioimpedanzmessung

Foto 8 Entnahme von Blut für die Hämatokrit-Messung

Die dritte Untersuchungsstation war zugleich die komplexeste und zuständig für:

- kombinierte echographische / plethymographische Messung der strömungsvermittelten Dilatation (Flow Mediated Dilatation – FMD) an der Brachialarterie (indirekte Messung der Auswirkungen des Tauchens und des Dekompressionsstress auf die Körperproduktion von Stickoxiden);
- Thermische Bilanz (durch Messung der Hauttemperatur nach dem Tauchgang);
- Echokardiographie nach dem Tauchgang (zum Sichtbarmachen möglicher Gasblasen im Herz)

Seite 22:

Foto 9 FMD-Untersuchung

Foto 10 Messung der Hauttemperatur

Die vierte mobile Forschungsstation wurde aus Deutschland direkt an den Tauchplatz geliefert und war für zwei recht ungewöhnliche Konditionierungsverfahren vor dem Tauchen ausgerüstet:

- Ganzkörper-Vibration vor dem Tauchgang, mit dem Ziel, die Möglichkeit einer Beseitigung von Mikrogasblasen im Körper zu untersuchen, die eine optimierte Dekompression sowie Minimierung der zirkulierenden Gasblasen nach dem Tauchgang bedeuten könnten;
- Ganzkörper-Vorwärmung vor dem Tauchgang, mit dem Ziel, die endogene Produktion von HSP (Hitze-schockproteine) zu stimulieren, zellschützenden Proteinen, die für den Schutz von Geweben vor Dekompressionsverletzungen von Bedeutung sein könnten.

Seite 22:

Foto 11 - Foto 12 - Foto 13

Das mobile Labor mit Körpervibrations-Matten und Infrarot-Heizkabinen für die Ganzkörpervorwärmung

Die fünfte, eine spezielle 'nasse Forschungsstation', befand sich unter Wasser und widmete sich besonderen, experimentellen Untersuchungen mit Prototypen von Messinstrumenten.

Auf dieser Station unterzog sich eine kleinere Gruppe von Tauchern, ebenfalls Mitglieder des DAN Research Teams, den folgenden Untersuchungen:

- Überwachung des Stoffwechsels und Untersuchung der Leistungsfähigkeit von Atmung und Kreislauf durch Echtzeitmessung des Sauerstoffverbrauchs und der Kohlendioxidproduktion unter Wasser beim Rebreathertauchen, mithilfe einer eigens entwickelten, wasserdichten Messvorrichtung für den metabolischen Gasaustausch.
- Transthorakale Echokardiographie (TTE) während der Dekompression nach einem Tauchgang mit Pressluft, mittels eines speziell modifizierten Echokardiographen, der in einem eigens dafür konstruierten wasserdichten Behälter (max. 4 Bar) eingebaut war. Die Taucher trugen modifizierte Nasstauchanzüge, die über ein zu öffnendes Brustfenster verfügten, um die Ultraschallsonde ansetzen zu können.

Diese sehr spezielle, einzigartige Ausrüstung wurde am IFC, dem 'Istituto di Fisiologia Clinica' (Institut für Klinische Physiologie) des CNR (Nationales Forschungsinstitut von Italien) in Pisa, Italien, entwickelt und angefertigt; sie war ursprünglich für die Erforschung der Reaktion des Herzens auf das Apnoe-Tauchen vorgesehen. Mittlerweile wird dieses Equipment auch für die Untersuchung der Herzreaktionen auf das Gerätetauchen und den Dekompressionsstress verwendet, es ermöglicht zudem eine direkte Visualisierung möglicher Gasblasen während des Aufstiegs und der Dekompressionsphase eines Tauchgangs. Vom IFC wurde ein besonderes Forschungsteam entsandt, um den tauchfähigen Echokardiographen während dieser Veranstaltung, entsprechend den Bestimmungen der wissen-

schaftlichen Vereinbarung zwischen DAN und dem IFC, zu testen.

Seite 23:

Foto 14 Der tauchfähige Echograph kommt zum Einsatz

Foto 15 Der

Echograph in der wasserdichten Box

Foto 16 Für die Unterwasserkardiographie modifizierter Nasstauchanzug

Die Veranstaltung endete mit einer am darauffolgenden Sonntag, dem 1. Oktober in Luino, Italien, abgehaltenen Konferenz, auf der die DAN Forscher Alessandro Marroni, Costantino Balestra, Mario Giuseppe Leonardi und Corrado Bonuccelli die Gründe für die einzelnen Untersuchungen des Vortags noch eingehender erklären und die wesentlichen Ergebnisse der Forschungen von DAN Europe zur Tauchsicherheit darstellen konnten.

“Es war ein arbeitsreicher, anstrengender Tag,“ sagte Professor Marroni, “aber dank der Effektivität und dem Engagement des DAN Forschungsteams, dank dem Enthusiasmus der freiwilligen Taucher lief alles reibungslos, und die erzielten Ergebnisse sind weit jenseits aller vorherigen Erwartungen. Die Quantität und Qualität der gewonnenen Daten ist wirklich herausragend. Ursprüngliche Absicht und Ziel war es, dass wir die Möglichkeiten erkunden, eine Untersuchungsqualität 'hinaus ins Praxisfeld' zu transferieren, die man normalerweise nur in hochentwickelten akademischen Forschungslabors antrifft. Wir wären allein mit der Feststellung zufrieden gewesen, dass dies tatsächlich möglich ist. Aber am Ende dieses Forschungstages begriffen wir, dass dieses Niveau einer komplexen und fortgeschrittenen Forschung 'im Feld' und mit großen Tauchergruppen nicht einfach nur realisierbar ist; denn wir waren zudem höchst erfreut, dass die gesammelten Daten nicht nur zahlreich, sondern auch von sehr guter Qualität und wissenschaftlich voll verwertbar waren. Dies bestätigt die Aussagekraft der Feldforschungsmethodik, die DAN entwickelt und angewendet hat, und gleichermaßen die Bedeutung und Kompetenz jedes einzelnen Mitglieds des DAN Europe Research Teams. Wir begeben uns jetzt an die Analyse der erhaltenen Daten und werden die Ergebnisse demnächst in Wissenschaftsmagazinen, im DAN Europe Magazin 'Alert Diver' und auf der DAN Europe Website (www.daneurope.org) veröffentlichen.”

Daten zum Forschungstauchtag:

- 93 Taucher (45m/EAN29: 13; 45m/Luft: 10; 60m/Luft: 38; 70m/Trimix: 4; 80m/Trimix: 5; 90m/Trimix: 2; 100m/Trimix: 4; 110m/Trimix: 4; 120m/Trimix: 4; 130m/Trimix: 4. UW-Echokardiographie: 3. Metabolische Messung / Rebreathertauchen: 2)
- 93 heruntergeladene Tauchprofile
- 93 Fragebögen vor/nach dem Tauchgang
- 97 Doppler-Aufzeichnungen
- 440 Physiologische Untersuchungen

Laura Marroni



Chers membres de DAN Europe,

Comme le montrent la couverture et les titres, cette édition de « votre revue sur la sécurité de la plongée »

est entièrement consacrée à DAN Europe Research, qui célèbre son 12e anniversaire avec des résultats excellents et extrêmement gratifiants.

Au cours de cette période, l'équipe de DAN Europe Research a mis en œuvre de nombreux et importants projets de recherche portant sur la physiologie, la médecine et la sécurité de la plongée. Certains de ces projets ont donné des résultats qui nous amènent à revoir certains aspects et procédures de la plongée récréative.

Durant cette période, l'équipe DAN Europe Research a produit 78 articles scientifiques, prononcé des discours lors de conférences internationales sur la médecine de la plongée et publié des articles dans des revues scientifiques de portée internationale, des manuels et des comptes rendus.

Nombre de projets de recherche de DAN Europe ont apporté des résultats qui servent aujourd'hui de référence pour la communauté scientifique et médicale de la plongée.

Depuis le début, la méthode de recherche adoptée par DAN Europe a été considérée comme non conforme aux méthodes habituelles par de nombreux chercheurs, selon lesquels toute recherche scientifique doit être menée uniquement par des chercheurs universitaires, dans des laboratoires correctement équipés et avec l'aide de techniciens hautement qualifiés.

Certes, nous ne dirons pas le contraire. Il faut toutefois savoir que les chercheurs en médecine de la plongée, tout comme les spécialistes de la médecine de la plongée, sont une espèce rare. Et les techniciens qualifiés dans la recherche en plongée le sont encore plus.

Par conséquent, il arrive bien trop souvent que les procédures de plongée, en particulier en ce qui concerne la sécurité de la décompression, soient fondées sur des opinions (nombreuses et diverses) découlant d'extrapolations ou d'« intrapolations » faites à partir d'un nombre limité d'observations scientifiques.

L'incertitude actuelle inhérente aux estimations relatives au risque de MDD provient de la quantité limitée de données disponibles à ce sujet. À ce jour, nous ne comprenons pas encore bien la décompression car nous ne possédons pas suffisamment de données. Pourtant, les solutions ne peuvent se fonder que sur des données.

La plupart des modèles de décompression extrapolent ou intrapolent lorsque les données manquent, mais ils ne les remplacent pas.

Pour disposer de suffisamment de données, des recherches doivent être menées sur le terrain, où des plongées réelles sont réalisées par des plongeurs réels, et non dans des laboratoires, où les recherches sont restreintes à une quantité limitée de données, bien que celles-ci soient de la meilleure qualité possible.

Des solutions totalement appropriées ne peuvent se fonder que sur un nombre extrêmement élevé de données, de plongées et d'observations reflétant la plongée en situation réelle ainsi que ses multiples facettes.

C'était l'objectif ambitieux de DAN Europe, au lancement du projet Safe Dive puis du Diving Safety Laboratory.

La nouveauté ? L'implication des plongeurs et leur rôle actif dans la recherche. Nous voulions transformer les plongeurs en « plongeurs chercheurs », en leur donnant les moyens de consigner leurs plongées de manière efficace et précise conformément à une méthodologie épidémiologiquement et scientifique-

ment correcte, et d'envoyer les résultats à une base de données centrale à partir de laquelle nous pouvions procéder à une analyse scientifique de milliers de plongées réelles, rassemblées selon une méthode uniforme.

Nous y sommes parvenus, et nous pouvons désormais compter sur une base de données mondiale de plus de 200 000 plongées, qui est en croissance constante et offre des possibilités sans précédent d'analyse statistique et épidémiologique de nombreux aspects de la sécurité de la plongée, depuis l'état et le comportement des plongeurs jusqu'à la sécurité des procédures de décompression.

Autre nouveauté importante dans l'approche « recherche en plongée par les plongeurs et pour les plongeurs » de DAN Europe ? Notre certitude que les plongeurs peuvent en réalité offrir bien plus encore que l'archivage de leurs plongées et l'envoi des informations à une base de données : nous avons cru en eux, en leur conscience du problème, en leur soif de connaissances, en leur intérêt pour la sécurité et en leurs compétences.

Nous étions convaincus qu'outre consigner leurs plongées, les plongeurs pouvaient consigner des données scientifiquement significatives, remplir des questionnaires simples mais complets et même réaliser des tâches plus complexes. Ils pouvaient par exemple rendre compte de signes physiologiques importants en enregistrant le son produit par les bulles gazeuses circulantes à l'aide d'un appareil Doppler ultrasonique.

Nous avons développé des techniques visant à former les plongeurs à l'enregistrement correct de tels signaux et à l'exécution des procédures requises pour la récupération, le stockage et la transmission des données. Et nous avons réussi !

L'objectif final, de premiers résultats qui apportent déjà des informations importantes ? En effet, nous disposons enfin d'une vaste banque de données d'analyse des risques en plongée, qui servira de base et d'outil pour l'exploitation de découvertes futures, l'analyse des résultats de projets de recherche spécifiques et l'examen de différents profils de plongée.

Nous disposons enfin de faits réels et non plus uniquement d'opinions sur la sécurité de la plongée.

Je suis très satisfait de tous ces résultats et je tiens à vous remercier tous, plongeurs et membres de DAN Europe, pour votre soutien à « votre » organisme de sécurité de la plongée et pour les nombreuses plongées que beaucoup d'entre vous ont déjà consacrées à la recherche.

La sécurité se fonde sur des informations correctes et impartiales. La recherche fournit les données sur lesquelles se baser pour obtenir des informations correctes. Continuez à soutenir la recherche en plongée, devenez un acteur dynamique de l'avenir de la sécurité de la plongée !

Bonnes bulles à toutes et à tous !

Alessandro Marroni
Président, DAN Europe

L'histoire du Diving Safety Laboratory de DAN Europe



Par le Dr Ramiro Cali Corleo, vice-président DAN Europe, directeur DAN Europe région anglophone

Le projet DSL (Diving Safety Laboratory) de DAN Europe a été initié en 1994 au cours de la conférence européenne annuelle sur la plongée et la médecine hyperbare tenue par la European Underwater and Baromedical Society en Norvège cette année-là. Les docteurs Alessandro Marroni et Iro Cali-Corleo y ont élaboré conjointement un projet de recherche impliquant activement, pour la première fois, des plongeurs et des instructeurs de plongée.

Ce projet a été baptisé Safe Dive et visait pour la première fois à porter un regard systématique et à grande échelle sur la façon de plonger des plongeurs européens, sur leur condition physique telle qu'ils la perçoivent et sur tout problème physique résultant de ces plongées. Il se fait qu'au même moment, et de façon tout à fait indépendante, l'organisation sœur de DAN Europe, DAN Amérique, envisageait elle aussi de porter un regard scientifique sur la plongée récréative.

Safe Dive a immédiatement pris la tournure d'un projet ambitieux et de grande envergure ayant comme objectif le suivi d'un million de plongées récréatives. Ce nombre a été déterminé après que l'on s'est penché sur la proportion d'accidents de plongée déclarés. En effet, le nombre de plongées analysées devait couvrir un nombre suffisant d'accidents que pour valider les résultats de la recherche et que ces résultats puissent être utilisés par les plongeurs pour évaluer les risques inhérents à une plongée donnée.

La méthode scientifique choisie fut une méthode observationnelle, selon laquelle un plongeur ou un instructeur spécifiquement formé était désigné RFO (Research Field Operator, opérateur de recherche sur le terrain). Le rôle du RFO était de suivre le schéma de plongée d'un petit groupe de plongeurs et de maintenir un journal de l'état de santé des plongeurs et de leur motivation avant la plongée, du déroulement de la plongée en elle-même et de tout problème médical survenant après la plongée. Le RFO était également chargé de réaliser un enregistrement Doppler des sons précordiaux détectés avant et après la plongée afin de repérer, et plus tard d'identifier, toute bulle présente dans la circulation après la plongée.

Le RFO recevait à cet effet un appareil Doppler spécifique et était formé à son utilisation. Il apprenait à identifier le son correct (en repérant le schéma musical propre à ce son) et à choisir le bon moment pour l'enregistrement. Les premiers systèmes utilisés consistaient en un Doppler standard raccordé à un enregistreur sur cassette. Mais ces systèmes se sont avérés trop fragiles pour une utilisation sur le terrain et ont été remplacés par plusieurs versions avant d'aboutir au système actuel, comprenant un appareil Doppler solide et étanche, généralement utilisé pour les naissances dans l'eau, connecté à un enregistreur numérique. Cet appareil présente en outre les avantages de produire un son facile à analyser et d'avoir une longue durée de vie.

Les plongées étaient également contrôlées à l'aide d'un ordinateur de plongée spécialement modifié pour l'étude, offert par un fabricant d'ordinateurs de plongée. La spécificité de cet ordinateur résidait dans son affichage néant (hormis le mot DAN) dont le but était d'éviter d'influencer le plongeur en le déviant de son schéma de plongée normal. Les données enregistrées sur ces ordinateurs étaient ensuite téléchargées sur un PC et fournissaient des informations précises sur les profils des plongées étudiées.

Safe Dive a été inauguré lors d'un séjour spécial « recherche en plongée » à Malte au cours duquel des participants volontaires ont pu profiter d'une semaine de plongée tout en assistant à des cours théoriques et à des sessions pratiques sur le terrain. Nous avons été heureux de qualifier la trentaine d'élèves présents en tant que RFO. Plusieurs autres cours, généralement associés avec un séjour plongée, ont été organisés les années suivantes.

Ces cours se sont notamment déroulés à bord du bateau de plongée MV Duda dans les eaux maltaises

et italiennes, dans la mer Rouge en Égypte, à Oban en Écosse, sur l'île d'Elbe en Italie et en Istrie, Croatie. Tous les participants ont brillamment réussi et ont donné un grand nombre de RFO efficaces, enthousiastes et actifs.

En 1999, un partenariat officiel a été établi avec Uwatec. Suite à cet événement, le projet Safe Dive s'est mué en DSL, Diving Safety Laboratory, dont la portée de la recherche s'est étendue pour englober le suivi de profils de plongée spécifiques au moyen de simulations effectuées dans des caissons dans le but d'identifier les profils de plongée et les schémas de décompression produisant un minimum de bulles, voire aucune.

La participation des plongeurs et des instructeurs a également évolué avec la substitution des RFO par des RT (Research Technician, techniciens de recherche) ainsi que l'arrivée d'un nouveau type de participants, les RO (Research Operator, opérateurs de recherche), chargés du suivi des profils de plongée mais non des enregistrements Doppler. Jusqu'à ce jour, plus de 39 000 plongées ont été consignées, dont plus de 10 000 ont fait l'objet d'une analyse Doppler par les RFO et les RT.

Suite à la fin de l'accord avec le fabricant d'ordinateurs, le projet DSL a subi de nouvelles modifications. De nouveaux appareils et ordinateurs de plongée de divers types ont commencé à servir au suivi des profils de plongée, dont les données ont été téléchargées et incluses dans la base de données de recherche.

Aujourd'hui, le projet DSL englobe des études portant sur d'autres facteurs intervenant dans la plongée, tels que le FOP et des facteurs biochimiques et cellulaires.

Même si le DSL n'a pas terminé de développer sa base de données de profils de plongée, il a déjà donné lieu à la publication d'articles de recherche, notamment sur le palier profond, qui ont influencé certains schémas de plongée.

Le DSL ne fera que s'étendre grâce au soutien qu'il reçoit des plongeurs et de l'équipe de chercheurs dévoués.

Le DSL et l'avenir de la recherche médicale et de la sécurité en plongée



Par Massimo Pieri, coordinateur de la récolte de données pour le projet Diving Safety Laboratory, et Marzia Ferrone, opérateur de recherche pour le DSL.

Depuis 1999, année de l'institution du laboratoire permanent de recherche de DAN Europe, baptisé DSL (Diving Safety Laboratory), les résultats obtenus ont été plus que gratifiants. Ces résultats, ainsi que les 39.000 plongées et plus consignées et entièrement suivies, sont principalement le fruit de la motivation exceptionnelle des opérateurs de recherche DAN Europe qui ont voyagé sans relâche à travers l'Europe pour participer à toutes sortes d'événements liés à la plongée, sans oublier les plongeurs loisir qui ont généreusement consacré leurs plongées au projet

DSL et fait don de quelques battements de cœur aux analyses Doppler menées par DAN Europe afin de détecter les bulles gazeuses circulantes présentes après leurs plongées.

Les récents développements du DSL et la collaboration plus étroite que jamais avec DAN Amérique et DAN Afrique du Sud ont donné lieu à de nouveaux développements passionnants dans la recherche. Une étude a notamment été lancée sur le suivi des effets de différents modes et vitesses de remontées et des paliers de décompression lors de plongées effectuées dans les limites de la plongée récréative au sens actuel du terme.

Dans le cadre de cette étude, un certain nombre de plongeurs volontaires provenant de différents clubs de plongée italiens (Sub Ravenna, puis Sub Novara Laghi et Sub Del Lago) ont accepté de répéter un même profil de plongée de 25 minutes à 25 mètres en faisant varier le profil de remontée, la vitesse de remontée et les paliers.

Cette étude pionnière, une recherche en profondeur et sur le terrain sur les effets des différents modes de remontée en plongée récréative, a déjà donné des premiers résultats significatifs qui ont permis de concevoir de nouvelles procédures de remontée ainsi qu'une « économie de décompression » meilleure et plus sûre.

Cette étude, baptisée MarBen par l'équipe de recherche DAN, du nom des deux scientifiques qui l'ont conçue, le professeur Marroni et le professeur Bennett, suit son cours. De nombreux autres profils de plongée sont en cours d'investigation, dont les profils inversés, les profils impliquant une plongée peu profonde suivie d'une plongée profonde, les plongées au nitrox avec des temps basés sur l'air et des temps basés sur le nitrox, tout en analysant les différences au niveau de la production de bulles circulantes. Tous ces profils sont en fait le reflet des plongées « de tous les jours ». Les volontaires DSL ne font qu'appliquer les données et les méthodes de recherche DSL aux plongées qu'ils effectuent normalement. Cette combinaison unique d'une méthodologie de recherche éprouvée et de plongées récréatives normales permet de récolter des informations significatives sur un nombre de plongées dépassant déjà de loin toute autre collection de plongées ayant servi pour valider les procédures de plongées et algorithmes de décompression actuellement en vigueur.

Dans le cadre de cette étude, les plongeurs du club de plongée « Sub Novara Laghi » (Omegna, Italie) méritent un remerciement spécial pour leur dévouement, leur motivation et leur enthousiasme admirables, et pour avoir produit plus de 1000 profils de plongée entièrement suivis, depuis des profils sans restriction particulière jusqu'à des profils « MarBen ». Après analyse des premiers résultats des efforts de recherche combinés de tous les plongeurs et de l'équipe de recherche DAN Europe, nous reconnaissons tout à fait que nous ne pourrions obtenir de résultats significatifs que grâce à la participation d'un nombre sans cesse croissant de plongeurs et à l'évaluation scientifique de centaines de milliers de plongées récréatives. Il s'agit là d'un défi, mais également d'un objectif réalisable.

Pour y parvenir, nous aurons besoin de l'aide et du soutien de la communauté de plongeurs loisir et des plongées qu'ils pourront et voudront bien consacrer à la recherche DAN.

Pour simplifier le suivi de ces nombreuses plongées, DAN Europe a mis au point un logiciel spécifique, baptisé « Immersioni » (Plongées) et développé par Mario Giuseppe Leonardi.

Tout plongeur est libre de télécharger et d'utiliser ce logiciel gratuitement, après inscription. Il s'agit d'un excellent outil d'archivage des plongées : il fonctionne comme un carnet de plongée puissant et multifonctionnel tout en offrant des fonctionnalités supplémentaires tout à fait pertinentes sur le plan scientifique :

- le téléchargement direct de profils de plongée depuis quasiment tout logiciel de plongée et de

décompression,

- l'ajout de notes scientifiques et le remplissage de questionnaires épidémiologiques spécifiquement développés par DAN,

- l'enregistrement de signaux Doppler,

- le téléchargement direct des données enregistrées vers le serveur central de DAN Europe, où elles peuvent faire l'objet d'une étude statistique.

(Pour de plus amples informations, vous pouvez envoyer un courriel à l'adresse dsl@daneurope.org).

Tous les plongeurs et tous les membres de DAN Europe sont invités à télécharger le logiciel « Immersioni » (qui sera très bientôt disponible en version multilingue, à commencer par l'italien, l'anglais et le français), à l'utiliser comme carnet de plongée et à envoyer les données de plongée importantes à DAN Europe, participant ainsi à ce projet passionnant qui contribuera à façonner l'avenir de la sécurité de la plongée récréative.

Vous êtes tous les bienvenus parmi les plongeurs chercheurs de DAN Europe !

Les plongeurs peuvent jouer un rôle actif dans la quête d'un univers de plongée plus sûr. Soyez parmi les précurseurs de la recherche sur la sécurité de la plongée ! Rejoignez le Diving Safety Laboratory de DAN Europe et devenez un plongeur chercheur DAN Research !



L'ÉTUDE DE DAN EUROPE SUR LA SÉCURITÉ DE LA PLONGÉE ET LES EFFETS DES PALIERS PROFONDS

Par le Dr Frans J Cronjé, président DAN Afrique du Sud, membre du conseil de directeurs DAN Europe

La médecine de la plongée et la recherche en plongée récréative se penchent sur deux grandes catégories de problèmes : ceux liés aux bulles et ceux non liés aux bulles. DAN adresse ces problèmes par le biais de deux études internationales à grande échelle : Project Dive Exploration (PDE) et Dive Safety Laboratory (DSL).

En ce qui concerne les problèmes liés aux bulles, les recherches se concentrent sur la décompression et ses implications physiques et pathologiques. La seule façon de décrire et de prédire de tels processus complexes d'absorption et d'élimination de gaz par l'organisme est de les généraliser au moyen de formules ou modèles mathématiques approximatifs. Toutefois, on est bien forcé de constater que cela implique inévitablement une hypothèse simplificatrice basée sur des concepts théoriques qui ne reflètent pas nécessairement ce qui se passe réellement dans l'organisme.

Les algorithmes de décompression ont pour objectif de schématiser les échanges complexes de gaz inerte sous forme de cinq concepts principaux : (1) nous absorbons du gaz inerte à des pressions ambiantes accrues ; (2) nous éliminons le gaz inerte lorsque la pression ambiante diminue – mais à une vitesse moindre que lors de l'absorption ; (3) lorsque la tension dans les tissus dépasse la pression ambiante, il se produit un état de sursaturation ; (4) à un moment donné, cette sursaturation provoque la formation de bulles ; (5) puis à un certain moment, ces bulles peuvent causer des symptômes ou des lésions.

Comme nombre d'entre vous le savent déjà, ces modèles de décompression sont divisés en « compartiments, ou tissus, lents et rapides ». En d'autres termes, certaines régions hypothétiques de l'organism-

me absorbent plus d'azote que d'autres. Les tissus rapides sont plus susceptibles à la sursaturation au cours d'une plongée récréative typique.

En 1908, John Scott Haldane inventa le fameux principe du rapport 2:1 pour éviter les accidents de décompression. Avec le temps, ce concept a été modifié car on a découvert que les plongeurs toléraient un rapport de sursaturation plus élevé dans les tissus rapides. L'on a donc adopté des règles permettant des sursaturations beaucoup plus élevées dans les tissus rapides en particulier. Ainsi, au lieu d'attribuer un rapport 2:1 à tous les compartiments tissulaires, les tissus plus rapides se sont vu attribuer des rapports allant jusqu'à 4:1. Cette approche n'a toutefois pas résolu le problème de la maladie de décompression. Environ 57,6 % des MDD se produisent chez des plongeurs qui n'ont rien fait de « mal ».

En d'autres termes, cela signifie qu'une adhérence aveugle aux algorithmes de décompression n'est pas une solution appropriée. Pour en revenir aux règles de remontée, depuis peu, le bien-fondé d'une sursaturation élevée des tissus rapides est à nouveau mis en doute car les recommandations liées à cette théorie n'ont pas pris en compte les grandes quantités de bulles gazeuses présentes dans les veines après une plongée et les effets biologiques qu'elles peuvent avoir sur les plongeurs. Même si la présence de bulles ne signifie pas nécessairement qu'un plongeur va subir une maladie de décompression, il existe bien un lien entre la quantité de bulles et la probabilité d'apparition de symptômes.

Par ailleurs, les bulles veineuses peuvent passer outre la barrière naturelle qu'est le filtre pulmonaire via deux mécanismes. Premièrement, via le foramen ovale perméable (FOP). Sous certaines conditions, cette valve unidirectionnelle présente chez environ 25 % des plongeurs peut en effet s'ouvrir et laisser passer les bulles veineuses depuis le côté gauche du cœur vers le côté droit, provoquant un embol gazeux artériel. Deuxièmement, jusqu'à 15 % des plongeurs ont un filtre pulmonaire inefficace qui laisse passer certaines bulles. Ce problème est entièrement invisible lors d'un examen médical de routine. Gardez toutefois à l'esprit que plutôt que de dépister le foramen ovale perméable chez les plongeurs et leur interdire de plonger, mieux vaut éviter toute plongée pouvant produire des niveaux élevés de bulles veineuses. Il en va de même pour la question du filtre pulmonaire : pas de bulles, pas de problème !

De nombreux symptômes peu visibles mais ennuyeux suivant la plongée sont difficiles à expliquer. Il semble se produire des effets biochimiques et immunologiques indirectement liés aux bulles. Même s'il ne s'agit pas d'une MDD dans le sens réel du mot, ces effets ne sont pas sans conséquence sur l'organisme. Nous savons, par exemple, que les bulles réagissent avec les composants sanguins et endommagent la paroi des vaisseaux sanguins. Ces dommages provoquent à leur tour la libération d'agents qui favorisent l'inflammation. L'état de fatigue qui suit les plongées particulièrement profondes peut être dû à ce phénomène. Ces effets pourraient en outre expliquer pourquoi certaines personnes semblent n'éprouver aucun stress suite à des plongées agressives alors que d'autres sont touchées de manière totalement imprévue.

Quelle est donc la solution à ce problème ? Comment pouvons-nous réaliser une plongée sans bulles ? Les causes et les effets des bulles peuvent être adressés à trois niveaux, et c'est là que repose l'avenir de la décompression : (1) parvenir à une économie de décompression optimale – rejoindre la surface rapidement mais en toute sécurité en utilisant des combinaisons adéquates de vitesses de remontée et de paliers de décompression ; (2) réduire, voire éviter, la formation et la migration de bulles ; et (3) réduire la réponse biologique de l'organisme aux bulles, qui ne fait qu'aggraver le problème de départ.

Le terme de « décompression économique » désigne le fait de parvenir à des combinaisons de gradients

de pression et de gaz permettant un retour le plus rapide possible à la surface tout en évitant la formation excessive de bulles veineuses et une sursaturation nuisible des tissus. Ironiquement, il semblerait que le concept 2:1 de Haldane nous mène vers la solution appropriée pour une raison différente de celle qu'il avait envisagée. Plutôt que de véritablement chercher à éviter une sursaturation critique, les observations d'Haldane visaient à obtenir le meilleur compromis entre la vitesse de remontée et les paliers lors de plongées peu profondes. Toutefois, pour affiner les résultats d'Haldane qui frôlaient les limites de la sécurité de la décompression, c'est-à-dire dont le moindre dépassement aurait probablement conduit à une MDD, nous nous penchons à présent sur les limites de profondeur/temps que nous avions présu-mées sûres, alors qu'elles ne le sont pas toujours.

Sur le plan de la recherche, attendre qu'une MDD se produise pour l'examiner représente un problème pratique dans le sens où cette maladie est relativement rare. Les projets PDE et DSL ont déjà accumulé plus de 150 000 plongées réalisées par environ 15 000 plongeurs. Parmi celles-ci, seulement 41 cas de MDD ont été rapportés. Pour pouvoir déterminer tous les paramètres d'une plongée sûre en se servant des occurrences de MDD comme moyen de mesure, nous devrions disposer d'une base de 100 millions de plongées. Et même un tel nombre ne nous permettrait pas d'évaluer toutes les combinaisons possibles. Donc si nous ne pouvons nous baser sur la MDD comme un indicateur de risque, que pouvons-nous utiliser ? Une alternative consiste à faire en sorte d'éviter de produire des embols gazeux veineux tout en procédant à un dépistage de la MDD, ce qui implique l'utilisation d'un Doppler.

Entre 1995 et 2006, DAN Europe a ainsi suivi plus de 39 000 plongées. À l'aide de boîtes noires de plongée et d'appareils Doppler obstétricaux, nous avons déjà pu mettre la main sur quelques pièces manquantes du puzzle de la décompression... Des études récentes menées par DAN Europe se sont penchées sur les effets de différentes vitesses de remontée et divers paliers lors de deux plongées successives à 25 mètres générant des bulles détectables au Doppler. Les résultats de ces études et de recherches ultérieures nous ont permis d'émettre les recommandations provisoires suivantes.

Pour les plongées à 25 mètres de profondeur, la meilleure stratégie consisterait à effectuer un palier profond à 15 mètres pendant 2,5 à 5 min (notez qu'une minute est trop courte), suivi d'un palier moins profond entre 3 et 5 mètres pendant 3 à 5 minutes (idéalement, ce deuxième palier doit être plus long que le premier). La vitesse de remontée préconisée est de 10 mètres par minute : une vitesse plus rapide ou plus lente ne semble pas être plus efficace.

Pour résumer, la « décompression économique » ne se rapporte pas à la durée de votre plongée, mais bien à la profondeur à laquelle vous plongez !



ÉTUDES DE DAN EUROPE sur le FOP: LE FOP PRÉSENTE-T-IL UN RISQUE RÉEL POUR LE PLONGEUR LOISIR ?

Dr Peter Germonpré, directeur médical, DAN Europe BeNeLux et région francophone

Vers la fin des années 1980, plusieurs rapports médi-

caux semblaient indiquer que certains plongeurs pouvaient être plus susceptibles au risque de MDD neurologique que d'autres. La présence d'une « anomalie » appelée « foramen ovale perméable » (FOP) était – selon ces rapports – beaucoup plus fréquente chez les plongeurs ayant souffert d'une MDD que chez les autres. La différence était impressionnante : environ 66 % des plongeurs ayant subi une MDD présentaient un FOP, alors que dans le groupe de « contrôle », la proportion n'était que de 20 %.

La perméabilité du foramen ovale n'est pas une maladie. En réalité, entre 25 et 30 % de la population mondiale présente un FOP. Loin d'être une maladie rare, il s'agit de l'un des rares signes remontant à notre vie prénatale. On peut le définir comme une minuscule connexion entre le côté droit et le côté gauche du cœur. Au cours de notre séjour dans l'utérus de notre mère, cette ouverture est beaucoup plus large. Elle laisse passer environ 80 % du sang veineux vers le côté gauche (artériel) de la circulation, court-circuitant ainsi les poumons. Certes, les poumons ne sont pas fonctionnels durant la vie fœtale ; une respiration n'engendrerait qu'un mouvement d'eau. Tout l'oxygène est fourni par la circulation placentaire, et le sang oxygéné est transporté par la veine centrale de l'organisme (la veine cave inférieure) jusqu'à la partie veineuse du cœur droit. De là, plutôt que d'emprunter un long et étroit détour par les poumons, il passe par le foramen ovale, aboutit dans la partie artérielle, puis est expulsé par le ventricule gauche dans l'aorte, vers le cerveau et les organes vitaux.

Vous souvenez-vous de ce qui s'est produit juste après votre naissance ? Le médecin ou l'accoucheuse vous a donné une bonne fessée et vous avez crié de colère et d'indignation, n'est-ce pas ? Non, ils n'étaient pas la proie au sadisme. Cette claque vous a en réalité fait prendre une grande bouffée d'air qui a permis à vos alvéoles de s'ouvrir entièrement et d'aspirer de l'air frais. Non seulement de l'air, mais également du sang : en effet, la soudaine chute de pression dans l'artère pulmonaire a provoqué une aspiration de sang veineux dans la circulation sanguine pulmonaire. Ce phénomène a résulté en une chute de pression dans le cœur droit en deçà de la pression dans le cœur gauche, provoquant la fermeture soudaine de la valvule constituant le foramen ovale. En l'espace de quelques heures ou quelques jours, cette valvule s'est soudée et l'ouverture s'est scellée, sauf si vous faites partie des 30 % de la population chez qui une petite ouverture, tel un minuscule canal, persiste. Le FOP ne présente aucun danger dans la vie de tous les jours. Il n'interfère jamais avec la capacité à l'effort ou la santé générale, mais représente une connexion possible entre le sang veineux et le sang artériel (voir Figure 1).

L'hypothèse émise par ces premiers rapports médicaux était que si un plongeur faisait surface en présentant des bulles d'azote dans le sang, ces bulles pouvaient traverser le foramen ovale et arriver dans le côté artériel du cœur, risquant de provoquer une maladie de décompression. De ce fait, le FOP a été considéré comme un facteur de risque de la MDD.

DAN Europe a rapidement perçu la faille que présentait cette hypothèse. Après tout, entre 25 et 30 % des plongeurs ont un FOP – il est clair que tous ces plongeurs ne sont pas confrontés à un risque inacceptable de MDD ! Un certain nombre d'études ont été lancées pour tenter d'en découvrir davantage sur ce phénomène et le risque qu'il représente pour le plongeur.

Une première étude a été publiée en 1998, dont les résultats montraient que le FOP pouvait bien être la cause d'une MDD « imméritée » comme on l'appelle. On qualifie une MDD d'imméritée lorsqu'elle se produit suite à une plongée réalisée conformément aux « règles » de décompression consensuelles (que le plongeur ait utilisé les tables de plongée ou un ordinateur). Au moyen d'une échocardiographie transœsophagienne (voir Figure 2), les plongeurs qui avaient souffert d'une MDD étaient comparés à des plongeurs « identiques » qui n'avaient jamais subi de

MDD. Cette étude a conclu que les MDD « imméritées » accompagnées de symptômes cérébraux, oculaires ou auriculaires / vestibulaires étaient en effet liées à une plus grande présence de FOP (avec une ouverture importante) (jusqu'à 80 %). Les autres types de MDD (accompagnées de symptômes osseux et articulaires ou médullaires inférieurs) ne semblaient pas liés à la présence d'un FOP. Les résultats de cette étude revêtent une grande importance, en ce sens qu'il ne faut pas oublier que l'origine d'une MDD réside dans la présence de bulles lors de la décompression, le FOP ne leur offrant qu'un passage vers la circulation artérielle. Toutes les MDD « imméritées » ne sont pas associées à la présence d'un FOP. En effet, d'autres mécanismes peuvent rendre les bulles « pathogènes ».

Une deuxième étude a déterminé avec plus de précision les circonstances dans lesquelles le FOP pouvait s'ouvrir et offrir un passage de la circulation veineuse à la circulation artérielle. En mesurant les pressions intrathoraciques chez des plongeurs volontaires, nous avons eu la confirmation que certains gestes sont probablement plus « dangereux » après une plongée que d'autres. Notamment lever un poids lourd (une bouteille de plongée !), réaliser un effort ardu (bloquer l'air dans ses poumons en « poussant » dans l'abdomen (par exemple, pour se hisser à bord d'un Zodiac, ou lors de la défécation). Mis à part le geste en lui-même, la durée du blocage de la respiration a son importance. En bref, lorsque vous augmentez la pression de l'air dans les poumons, vous empêchez le sang de pénétrer dans la cage thoracique et donc dans le cœur. Au moment de relâcher la pression, le sang afflue dans le cœur, créant une augmentation temporaire de la pression dans le cœur droit. La pression est à ce moment-là plus élevée dans le cœur droit que dans le cœur gauche, ce qui peut provoquer une ouverture du FOP pendant quelques secondes, une durée suffisante pour laisser passer le sang (et des bulles).

À la même époque (1997-1998), d'autres rapports ont vu le jour, attestant du risque potentiel de plonger avec un FOP, même pour les plongeurs n'ayant jamais souffert d'une MDD. En examinant le cerveau au moyen de l'imagerie par résonance magnétique, les chercheurs ont découvert des « points blancs » plus nombreux et d'un diamètre plus élevé dans les cerveaux d'un groupe de plongeurs présentant un FOP que chez les plongeurs sans FOP. Leur hypothèse stipulait que même si les bulles ayant traversé le FOP n'avaient pas causé de symptômes de la MDD, elles étaient néanmoins arrivées au cerveau et pouvaient y causer des dégâts irréversibles. Il va sans dire que ces rapports ont engendré une grande vague de panique parmi les plongeurs.

À nouveau, DAN Europe a cherché à vérifier l'exactitude de ces assomptions. Après tout, il est bien connu que les bulles à l'origine d'une MDD neurologique peuvent provoquer des dommages irréversibles au cerveau. L'on sait aussi que les plongeurs omettent souvent de mentionner les symptômes de la MDD, même s'ils sont graves et exigeraient tout au moins un examen médical, si pas un traitement de recompression (par exemple, des vertiges ou une nausée inexplicables après une plongée). On pourrait donc soutenir que si un plongeur a été confronté plusieurs fois à ce type de symptômes, les « points blancs » détectés par imagerie dans son cerveau sont bien la conséquence d'une MDD et non simplement du fait de plonger avec un FOP. Ici encore, ce sont bien les bulles, et non le FOP en lui-même, qui sont à l'origine de la MDD.

Les résultats de l'étude menée par DAN Europe étaient toutefois rassurants. Quarante-quatre plongeurs expérimentés choisis de manière aléatoire parmi une population de volontaires ad hoc ont fait l'objet d'un examen médical de pointe, composé d'une imagerie cérébrale, d'une échocardiographie et d'un test neuropsychologique. Aucune différence notable n'a été observée entre les plongeurs avec et sans FOP, ce qui signifie peut-être que des erreurs

étaient présentes au niveau des techniques utilisées dans les études précédentes ou du choix des volontaires qui y ont participé.

En réalité, nous ne sommes même pas certains que les « points blancs » observés par imagerie chez certains plongeurs (et également chez des non-plongeurs âgés de plus de 40 ans) sont la conséquence d'un embol cérébral d'un quelconque type. L'analyse fractale des images issues d'exams cérébraux (dans le cadre d'un autre projet de recherche de DAN Europe) a montré davantage de similitudes avec des lésions d'origine immunologique qu'avec des lésions vasculaires. L'on pourrait se demander si ces « objets brillants non identifiés » (UBO) sont réellement pathologiques ou s'ils font simplement partie du processus de vieillissement... Quoi qu'il en soit, il paraît maintenant clair que les plongeurs effectuant des plongées endéans les limites de sécurité édictées par DAN, c'est-à-dire sans palier de décompression, et n'ayant jamais souffert d'une MDD n'ont pas à craindre un risque plus élevé d'UBO !

Toutefois, il existe toujours une controverse à ce sujet et de nombreux plongeurs se soumettent à un dépistage du FOP, même si l'on est quasiment sûr qu'il n'y a aucune préoccupation à avoir dans le cadre de la plongée récréative, sans palier de décompression. Dans ce sens, DAN Europe a récemment lancé une étude « prospective » afin de déterminer le risque « réel » de plonger avec un FOP : la DAN Carotid Doppler Study (étude des carotides par examen Doppler).

LES RISQUES LIÉS AU FOP ET SON RÔLE DANS LA MDD « IMMÉRITÉE » : MYTHE OU RÉALITÉ ?

Le problème avec ces études, bien sûr, c'est qu'elles se basent toutes sur un groupe de plongeurs qui a déjà souffert d'une affection sévère, bien qu'extrêmement rare : la MDD. La fréquence de la maladie de décompression est de l'ordre de une sur environ 100 000 plongées en fonction du type de plongée effectuée. Par exemple, le risque est beaucoup plus élevé pour les plongées sur épave en eau froide (environ 1 sur 1000) que pour les plongées récréatives (environ 1 sur 35 000 selon les statistiques de DAN Europe). Une fois de plus, ce risque dépend principalement du nombre de bulles présentes dans le sang veineux du plongeur à la sortie de la plongée.

Comme nous savons qu'environ 25 à 30 % des plongeurs présentent une connexion potentielle entre le côté veineux et le côté artériel du cœur (un FOP), on peut facilement en déduire que les plongeurs qui souffrent d'une MDD seront nombreux à présenter un FOP (la proportion se rapproche en fait des 80 %). Ce que l'on comprend moins bien est la raison pour laquelle tous ces plongeurs présentant un FOP ont réalisé de nombreuses plongées sans souffrir de MDD.

En d'autres termes, même si le risque de MDD est, disons, deux fois plus élevé chez les plongeurs présentant un FOP, ce risque reste négligeable si les plongées réalisées ne produisent pas un nombre élevé de bulles. Et c'est le cas si l'on s'en tient à une pratique « sûre » de la plongée. En réalité, de nombreux plongeurs loisir ne réaliseront pas plus de 1000 plongées dans toute leur vie, ce qui signifie que le risque « d'une MDD sur 17 500 plongées » est quasi nul.

Toutefois, étant donné que de nombreux facteurs intervenant dans la MDD nous échappent encore, personne ne peut garantir à un plongeur que sa plongée est sans risque. Toutes les études liées au FOP font état d'un certain nombre de MDD imméritées chez des plongeurs qui ne présentaient pas de FOP. Ce sont donc d'autres facteurs qui sont à l'origine de ces MDD. D'autres mécanismes, tels qu'un shunt pulmonaire, peuvent laisser passer des bulles dans la circulation artérielle. La MDD peut également provenir d'un blocage veineux par des bulles au niveau même des tissus (comme c'est le cas de la MDD médullaire ou ostéo-articulaire...).

En dépistant le FOP, on ne réduit qu'une partie du

risque. Si les autres facteurs cités plus haut ne sont pas pris en considération, nous aurons un faux sentiment de sécurité : « Je ne présente pas de FOP donc je peux repousser les limites un peu plus loin que les plongeurs qui ont un FOP ». Bien sûr, une telle attitude attirera tôt ou tard des problèmes.

LE FOP PEUT-IL ÊTRE FERMÉ ?

Lorsqu'un FOP est détecté chez un plongeur, la question suivante devient inévitable : Que peut-on faire ? Par le passé, la fermeture du FOP était une opération risquée, qui requerrait l'ouverture de la poitrine et du cœur et impliquait l'utilisation d'un cœur-poumon artificiel.

Depuis une quinzaine d'années, des dispositifs permettant de fermer le FOP au moyen d'une technique simple de cathétérisation, dont la seule trace est celle d'une ponction au niveau de la veine inguinale, ont été mis au point. L'usage de ces dispositifs, souvent appelés « ombrelles », est de plus en plus répandu non pas chez les plongeurs, mais chez les personnes qui ont souffert d'un accident cérébro-vasculaire inexpliqué. Il n'est pas étonnant que de nombreux plongeurs s'informent sur la possibilité de fermer leur FOP afin de réduire le risque en plongée. Qu'en est-il, est-ce recommandable ?

Premièrement, il faut examiner les différents risques impliqués.

Le risque de MDD en plongée récréative est très faible, même chez les personnes présentant un FOP. Supposons qu'il est de 1 sur 10 000 plongées.

Le risque immédiat de l'opération liée à la fermeture du FOP n'est pas très élevé, mais il se situe tout de même entre 0,5 et 1 % (1 sur 100). Une telle opération est réalisée sous anesthésie générale et implique une échocardiographie transœsophagienne, une ponction et l'introduction d'un large cathéter dans une large veine qui aboutit au cœur. Il peut y avoir des complications au moment de placer l'ombrelle, par exemple des difficultés techniques ou un placement inadéquat de l'ombrelle. Même si les complications mortelles sont rares, elles peuvent se produire.

Dans 5 à 10 % des cas, des perturbations du rythme cardiaque se produisent après l'opération et requièrent parfois un traitement médicamenteux anti-arythmiant prolongé.

En outre, étant donné qu'un corps étranger est placé dans le sang, le patient doit prendre des médicaments anticoagulants pendant 4 à 6 mois, période durant laquelle il existe un risque de saignement incontrôlé.

Enfin, personne ne peut prévoir ce que deviendront ces dispositifs dans une vingtaine d'années. En réalité, les ombrelles n'existent que depuis 15 ans ! Vont-elles dégénérer et provoquer un grand orifice dans le septum ? Vont-elles se détacher et migrer dans la circulation artérielle ? Provoqueront-elles de nouvelles perturbations du rythme cardiaque difficiles à traiter ? Personne ne peut le dire.

Même dans le cas d'un « accident cérébro-vasculaire inexpliqué » (le passage de caillots sanguins à travers le FOP puis dans le cerveau), la fermeture du FOP fait l'objet d'un vaste débat parmi les cardiologues et les neurologues. Il semblerait en effet que la prise d'une simple aspirine à faible dose pourrait être tout aussi efficace, ou presque, sans impliquer tous ces risques et effets secondaires !

Les risques associés à la fermeture du FOP (et les frais qu'une telle opération implique) sont-ils justifiés dans le cadre d'une activité récréative telle que la plongée sous-marine ? Cette question peut faire l'objet d'un plus grand débat encore. Après tout, nous pourrions nous en tenir à la recommandation suivante, tout à fait justifiée : plongez en toute sécurité, évitez les profils à palier et vous ne courez pas plus de risques que votre voisin ! Si vous êtes un plongeur professionnel et que votre travail implique de grands risques en termes de décompression, il se peut toutefois que vous évaluiez différemment les risques et les avantages. Mais pour le commun des plongeurs loisir, le jeu n'en vaut certainement pas la chandelle.

LE DAN EUROPE DIVING PHYSIOLOGY

Research Laboratory à Bruxelles et les principaux résultats de ses projets de recherche



Prof. Costantino Balestra, vice-président DAN Europe pour la recherche et l'éducation, directeur DAN Europe Benelux

Échographie

Le paysage actuel de la recherche en physiologie de la plongée voit s'ouvrir à lui de nouvelles techniques d'examen des plongeurs sur le terrain.

Jusqu'à ce jour, l'examen Doppler constituait la méthode la plus courante de détection d'un embolie gazeuse veineux après une plongée.

Cette technique a donné lieu à une gradation du son Doppler assortie de plusieurs méthodes de gradation. Ces semi-quantifications du son Doppler ont néanmoins une limite : elles ne sont pas linéaires. Cela signifie que la quantité de bulles associées à un son de grade 2 n'est pas égale au double de la quantité de bulles du grade 1.

Par conséquent, les données récoltées à l'aide de cette technique ne permettent pas d'effectuer des calculs prédictifs statistiquement valables. Il a donc fallu déterminer une moyenne afin de linéariser la « gradation » des bulles et de permettre leur « comptage ».

Ceci peut être réalisé à l'aide d'un échographe. Certes, ce type d'équipement est onéreux et est essentiellement utilisé dans un environnement clinique. Il est donc très difficile de l'utiliser dans le cadre de la plongée car le laps de temps durant lequel il est possible de détecter les bulles circulantes est trop court pour permettre d'amener le plongeur jusqu'à un hôpital avant d'effectuer une échocardiographie pour visionner les bulles (Boussuges et al., 1998; Boussuges et al., 1999; Carturan et al., 2000; Carturan et al., 2002).

Les nouvelles technologies ont permis de mettre au point des échographes de taille réduite et relativement abordables grâce auxquels le comptage des bulles peut se faire sur le terrain. L'impact prédictif des mesures réalisées à l'aide de ces appareils sera très intéressant pour l'avenir de la sécurité de la plongée. Nous utilisons actuellement deux méthodes de comptage des bulles. La première est une méthode manuelle qui se base sur un programme PC fait maison. Par consensus, nous avons établi que le comptage des bulles doit se baser sur au moins 10 battements cardiaques et s'exprimer en bulles par centimètre carré. Le comptage s'effectue au niveau d'une fenêtre d'un cm² tracée dans l'image, à hauteur du ventricule droit. Dans une perspective « quadrichambre », le ventricule droit est plus adapté au comptage de bulles que l'oreillette droite étant donné que cette dernière peut présenter des bulles « redondantes » qui seraient comptées deux fois.

Une autre manière intéressante d'utiliser l'échographie chez les plongeurs est de mesurer la vasodilatation dépendante du flux sanguin (Flow Mediated Dilation, FMD) après une plongée. On a montré que les réactions endothéliales pouvaient être altérées après une plongée, et l'on pense que la présence de bulles silencieuses peut endommager l'endothélium et pro-

d'éthique biomédicale en Belgique, en Afrique du Sud, au Royaume-Uni et en Autriche en tant que protocole de recherche sur des sujets humains. Cela signifie que chaque plongeur signe un formulaire de consentement éclairé après avoir reçu une explication complète et satisfaisante de la portée de l'étude et des procédures impliquées.

Les résultats de l'étude ne seront mis au jour que dans quelques années. Ils seront largement publiés à travers la littérature scientifique, les publications de DAN Europe et la presse de la plongée. Avant d'en arriver là, du travail reste encore à accomplir ! Les plongeurs volontaires désireux de participer à l'étude peuvent contacter l'un des médecins-chercheurs les plus proches de chez eux. Si vous ne trouvez pas de chercheur dans votre région, pas de panique ! Chaque année, de nouveaux chercheurs sont formés et entament les tests. Nous vous invitons donc à régulièrement consulter la section Recherche du site Web de DAN Europe.

LE FOP ET LES PLONGEURS : CE QU'IL FAUT RETENIR

Que pouvons-nous conclure des recherches actuelles menées sur le FOP ? Tout d'abord, ne jamais paniquer.

Le FOP peut être à l'origine d'un shunt (passage de bulles d'azote court-circuitant la voie normale) après la plongée, même si le plongeur reste dans les limites de la plongée sans palier. Dans certaines circonstances, ce phénomène peut provoquer une MDD dite « imméritée ».

Néanmoins, le risque de MDD est tellement faible en plongée récréative que même si un plongeur présente un FOP (pour rappel, 25 à 30 % des plongeurs sont concernés), il n'y a pas lieu de s'inquiéter.

La fermeture du FOP chez un plongeur qui n'a jamais souffert de MDD et qui plonge de manière purement récréative, sans palier, est probablement un non-sens. Les plongeurs qui ont souffert d'une MDD peuvent faire l'objet d'un examen individuel mais, dans la plupart des cas, les risques et les inconnues de l'opération en contrebalanceront les bienfaits (s'il y en a).

En fait, la discussion peut être ramenée à un autre niveau. Les plongeurs doivent être beaucoup plus conscients du fait que jusqu'à présent, aucun ordinateur ou table de plongée ne peut parfaitement simuler la physiologie de la décompression d'une manière correcte et individualisée. Par conséquent, même si leurs algorithmes ont été calculés avec une grande « marge de sécurité », les ordinateurs ne peuvent et ne pourront jamais enrayer le risque de MDD. C'est pourquoi il ne faut pas « croire » tout ce que votre ordinateur vous dit, et qu'il ne faut pas « aller jusqu'aux limites » indiquées par votre ordinateur (ou table). En d'autres termes : il est toujours préférable de rester dans la zone de « non décompression » de votre ordinateur. Il existe également d'autres règles connues et bien établies en ce qui concerne la sécurité en plongée : ne pas plonger de manière excessive après une longue période d'inactivité, ne pas effectuer de profils « inversés », toujours réaliser un « palier de sécurité » à la fin d'une plongée, pour n'en citer que quelques-unes. Mieux encore : pourquoi ne pas remplacer l'air par du Nitrox, tout en maintenant votre ordinateur réglé sur « air » et en suivant les règles s'appliquant à l'air : vous réduirez ainsi le risque de MDD d'une manière beaucoup plus efficace qu'en vous préoccupant pour votre FOP !

DAN Europe cherche actuellement de nouvelles façons de réduire davantage la présence de bulles d'azote après une plongée, par exemple via l'introduction d'un palier profond. Restez informé de ces projets de recherche nouveaux ou novateurs !

Page 11:

Figure 1 Anatomie du foramen ovale perméable

Figure 2 Échocardiographie transœsophagienne

Page 12:

Figure 3 Examen Doppler carotidien

L'ÉTUDE DAN DES CAROTIDES PAR EXAMEN DOPPLER : DU NOUVEAU

Afin de déterminer le « risque réel » que court le plongeur présentant un FOP, une étude dite « prospective » est nécessaire. Une telle étude implique l'analyse d'un grand nombre de plongeurs ayant effectué des plongées normales pendant une certaine période de temps. Des données telles que le nombre de plongées et le nombre de MDD chez un groupe de plongeurs avec FOP sont comparées aux données relatives à un groupe de plongeurs sans FOP. Pour obtenir des résultats statistiquement valables, si l'on considère le nombre moyen de plongées effectuées en une année par un plongeur et la faible incidence de MDD, il faudrait suivre et tester 4000 plongeurs pendant 5 ans. C'est là l'objectif de l'étude prospective de DAN Europe sur le risque de plonger avec un shunt droite-gauche (FOP).

Comment détecter un FOP chez un plongeur ? Certes, la méthode la plus fiable est l'échocardiographie, ou, mieux encore, l'« échocardiographie transœsophagienne ». Il s'agit d'un examen assez désagréable qui implique l'introduction d'une sonde coûteuse dans l'œsophage par la bouche, permettant d'observer le cœur après avoir injecté un produit de contraste dans une veine du bras. Malheureusement, la mise en œuvre d'un tel examen à grande échelle est logistiquement infaisable. Par conséquent, DAN Europe Research a développé et testé (validé) une méthode beaucoup plus simple permettant de détecter si une personne présente un shunt « droite-gauche ». Cette méthode consiste en un examen ultrasonique Doppler carotidien. Bien qu'elle implique également l'injection d'un produit de contraste (une solution « saline normale ») dans le sang, la détection en elle-même est réalisée à l'aide d'une simple sonde Doppler placée sur la peau dans la région du cou (voir Figure 3). L'examen prend au total 10 à 15 minutes et, mis à part le pincement de l'aiguille, est tout à fait indolore. Ces avantages en font un test idéal à réaliser à grande échelle, même si les résultats obtenus ne sont pas toujours 100 % identiques à ceux d'une échocardiographie (en termes statistiques, cet examen a une sensibilité de 100 % et une spécificité de 88 %). En se conformant à des normes strictes lors de la réalisation de l'examen, on peut facilement obtenir un résultat fiable et reproductible.

Nous venons de passer en revue la procédure de test, mais comment trouvons-nous les sujets ? Eh bien, c'est ici que vous rentrez en jeu. DAN Europe Research a sollicité (et sollicite toujours) la collaboration de médecins de la plongée dans différents pays, qui, après avoir été formés par DAN sur la procédure spécifique à suivre, ont accepté de coopérer à la réalisation d'examens de manière indépendante, « chez eux ». Plusieurs médecins procèdent déjà activement à ces tests en Belgique, en Suisse, en Autriche, en Allemagne, en Italie et en Afrique du Sud. Des médecins d'autres pays encore ne vont pas tarder à rejoindre l'équipe. Chacun de ces médecins consacre une grande partie de son temps à faire avancer les connaissances relatives au FOP et au risque qu'il présente en plongée. Ne serait-ce pas formidable que les plongeurs soient aussi enthousiastes à participer à ce projet de recherche ?

En gros, l'« hypothèse » de l'étude est positive. DAN voudrait prouver que le FOP ne doit pas être une source de préoccupation pour la population de plongeurs normale, qui respecte les règles de sécurité. En effet, nous sommes convaincus que la plongée en général présente très peu de risques, et que la plongée récréative en particulier se pratique endéans des limites suffisamment sûres pour ne pas avoir à s'inquiéter du FOP.

Pour des raisons évidentes, les résultats des tests ne pourront pas être divulgués immédiatement. Les plongeurs ne pourront connaître les résultats qu'une fois les 5 années que doit durer l'étude écoulées. L'étude a été approuvée au préalable par le comité d'éthique de DAN Europe et par des comités

duire des micoparticules dérivées de l'endothélium qui seront transportées dans la circulation sanguine et produiront des réactions vasculaires à distance, même dans la partie artérielle de notre système vasculaire. Ces découvertes revêtent un intérêt majeur puisque la présence de shunts dans le cœur, tels que le foramen ovale perméable, n'est plus l'unique explication possible d'une MDD « imméritée ». Des données supplémentaires sur le terrain sont nécessaires pour mieux comprendre la décompression car le modèle physiopathologique ne se ramène pas aux seules bulles occlusives, nuisibles.

La plongée, l'oxygène et l'EPO (érythropoïétine)

Dans le cadre d'expériences réalisées sur des plongeurs en apnée, nous avons mesuré différents paramètres après une série de 5 plongées à 40 mètres exécutées dans un laps de temps de 2 heures. La principale découverte découlant de ces mesures a été l'augmentation d'EPO chez 2 individus d'un groupe de 9 plongeurs.

L'augmentation était assez importante que pour être cliniquement pertinente.

Le phénomène actuellement reconnu comme étant le principal facteur de déclenchement d'une production d'EPO est l'hypoxie tissulaire. Dans le cas des apnéistes, l'importance de l'hypoxie a été très difficile à évaluer car ils sont dans des conditions d'hyperoxie lorsqu'ils se trouvent en profondeur et que, même si une légère hypoxie peut se produire lors de la remontée, la durée de cette hypoxie est extrêmement courte et ne pourrait pas, selon la littérature scientifique, engendrer une production d'EPO.

Pour tenter de comprendre ce phénomène, nous avons demandé à 15 volontaires de participer à une étude contrôlée menée au centre hyperbare. Ils devaient se présenter trois fois endéans une période de 36 heures et accepter de fournir des échantillons de leur sang selon un horaire prédéterminé.

Leur premier échantillon de sang a servi à déterminer leur courbe individuelle de production normale d'EPO, car, l'EPO étant une hormone, les variations du rythme circadien sont significatives et doivent donc être prises en compte. Avant de fournir le deuxième échantillon sanguin, on leur a fait respirer de l'oxygène pur pendant deux heures tout en effectuant 10 flexions toutes les 10 minutes. Ce protocole a été établi afin de correspondre aux 5 ATA auxquels étaient exposés les apnéistes lors de la respiration d'un mélange de 20 % d'oxygène et de 80 % d'azote (air atmosphérique) sous l'eau à une profondeur de 40 mètres. Nous devons donc leur faire respirer de l'oxygène à 100 % à pression atmosphérique pour retrouver ces mêmes conditions. Les flexions étaient effectuées dans le but de maintenir un flux sanguin plus ou moins constant dans tous les tissus et de faciliter l'élimination de l'azote durant la respiration d'oxygène. La troisième fois, on les a pressurisés à 2,5 ATA dans le caisson hyperbare afin d'observer la réponse supposée de l'EPO.

Les résultats ont été surprenants : l'oxygène normobare a provoqué une augmentation de 60 % du taux d'EPO endogène après 36 heures. Quant au traitement hyperbare, il a engendré une réduction de l'EPO endogène (Balestra et al., 2006).

Ces découvertes, émanant des mesures effectuées sur les plongeurs, ont montré que l'oxygène joue un rôle particulier dans la production d'EPO chez les êtres humains, un phénomène que nous avons baptisé « paradoxe de l'oxygène normobare ». Il s'agit d'une découverte prometteuse pour l'avenir, tant pour les plongeurs que pour les patients en général.

La plongée et le système lymphatique

La quête des bulles extravasculaires ou des fameuses bulles « de novo » est à la recherche sur la décompression ce que « Nessy », le fameux monstre, est au Loch Ness en Écosse. Tout le monde se doute que des bulles extravasculaires peuvent se former lors de la décompression, mais aucune explication

claire n'a encore été acceptée à ce sujet. Ce qui est couramment admis est que si ces bulles existent, elles sont certainement très petites.

Si l'on se penche sur le modèle de la bulle de décompression, la théorie actuellement en vigueur soutient qu'après sa libération, la bulle est « enveloppée » de nombreux agents réactifs. Mais si la bulle devient ensuite extravasculaire, que se passe-t-il ?

Le système qui véhicule les protéines extravasculaires ou les « objets non identifiés » enveloppés de protéines est le système lymphatique. Nous avons voulu déterminer si les protocoles de premiers soins à l'oxygène actuellement utilisés lors d'un accident de plongée étaient également susceptibles de favoriser la captation de ces « objets extravasculaires » par le système lymphatique. Un certain nombre de volontaires se sont présentés au laboratoire. Nous leur avons injecté en sous-cutané un mélange de protéines marquées au niveau du premier espace interosseux dorsal. Ces protéines marquées ont été tracées au moyen d'une caméra gamma placée dans la zone axillaire, dont on sait qu'elle présente un grand nombre de ganglions lymphatiques.

Au cours de l'expérimentation, les sujets ont respiré de l'oxygène pendant 30 min tout en étant surveillés à l'aide de la caméra gamma. La même expérimentation a été menée sans respiration d'oxygène. La vitesse de captation et la quantité de protéines réabsorbées étaient considérablement plus élevées lors de la respiration d'oxygène, ce qui confirme l'efficacité des protocoles de premiers soins actuellement recommandés pour les plongeurs, même en cas de petits embolus extravasculaires (Balestra et al., 2004b).

La plongée et la HSP (protéine du stress)

Les protéines du stress sont en fait les meilleurs « chaperons » de nos cellules... Lorsqu'une cellule subit un stress (principalement de type environnemental), les protéines qui la composent peuvent être altérées. Une protéine a une forme pliée et peut se déplier suite au « stress » induit (par exemple, la chaleur). Le rôle des HSP est de réparer les protéines dépliées et de leur redonner une forme pliée adéquate.

L'on a montré que ce phénomène contribuait à contrecarrer les effets secondaires de la chimiothérapie dans le cas d'un cancer.

On a également montré que la présence d'HSP pouvait avoir un effet protecteur chez le plongeur durant la phase de décompression.

Selon certains rapports publiés, un léger réchauffement de l'organisme suffit à induire la production d'HSP chez les êtres humains. DAN Europe effectue actuellement une étude sur le réchauffement des plongeurs avant la plongée afin d'analyser l'impact de ce prétraitement sur la formation des bulles...

La plongée, les vibrations et les bulles

Certains rapports ont fait état de plongeurs employant des procédures de décompression risquées après des plongées profondes sans pour autant présenter de symptômes de la MDD. Parmi ces « super plongeurs », nombreux ont affirmé bénéficier d'une physiologie « spéciale » leur permettant de faire face au stress induit par la décompression. Certains ont même déclaré qu'ils sentaient les bulles de décompression grandir dans leurs veines et qu'ils attendaient que cette sensation disparaisse pour terminer leurs paliers de décompression.

Une autre histoire plus particulière encore est celle d'un plongeur se déclarant protégé de la maladie de décompression grâce à l'usage extensif d'un bateau pneumatique. Selon lui, les vibrations transmises par le bateau contribueraient à éliminer les micro-embolies avant la plongée.

Nous avons tenté l'expérience, en faisant vibrer des plongeurs volontaires préalablement à une plongée standard, dans un environnement contrôlé. Après 30 minutes de vibrations appliquées à tout le corps au moyen d'une plateforme vibrante, nous avons obser-

vé une réduction des embolus gazeux veineux présents après la plongée. Nous avons également mesuré la production de monoxyde d'azote par l'endothélium après un tel traitement, mais aucune augmentation significative n'a été décelée. Un nouveau protocole a été mis en place, impliquant l'utilisation d'un tapis vibrant à la place d'une plate-forme. Étant donné que les vibrations émises par le tapis vibrant sont essentiellement axiales, les réactions de l'organisme, et plus particulièrement vasculaires, seront peut-être différentes. De nombreuses données supplémentaires sont toutefois nécessaires pour en comprendre le mécanisme sous-jacent. Il est en effet encore trop tôt pour suggérer un prétraitement par les vibrations aux plongeurs.

La thermorégulation et la plongée

Comme l'auront remarqué les plongeurs, maintenir une température constante sous l'eau représente un défi. L'évolution des techniques de plongée permet actuellement de rester plus longtemps sous l'eau en respirant des mélanges gazeux appropriés ou en utilisant un recycleur, et permet à des populations de plongeurs plus susceptibles à l'hypothermie (par exemple, les enfants) de pénétrer dans le monde sous-marin (Doubt, 1996; Panchar, 2002).

Ces évolutions nous amènent à nous poser la question du lien éventuel entre la température de l'eau et la présence d'embolus gazeux veineux après la plongée. En analysant les données Doppler provenant des études DAN menées sur des plongeurs, nous avons en effet découvert une relation entre la température cutanée et le niveau de bulles après la plongée. Comment une telle relation peut-elle exister ? Notre hypothèse se base sur le rôle potentiel que jouerait la peau en tant que « réservoir » d'oxygène. Comme vous le savez, la peau est l'« organe » le plus étendu de l'organisme (hormis l'endothélium). Si ce tissu hautement vascularisé peut stocker une grande quantité d'azote, l'on pourrait effectivement établir un lien avec le pic de bulles observé environ une heure après une plongée.

Pour tenter de répondre à cette question, nous mesurons la température à différents points stratégiques de la peau tout au long de la plongée et pendant une période 2 heures encore après la plongée. Par ces mesures, nous espérons pouvoir déterminer si la variation de la température de la peau peut ou non être associée aux pics de bulles détectés par Doppler.

La plongée, la déshydratation et la MDD

Tout plongeur est supposément déshydraté. Cette hypothèse est tout à fait plausible si l'on envisage la diurèse de l'immersion, un phénomène très connu chez les nageurs en piscine, et qui, pour une question d'hygiène, n'est pas réellement accepté.

Au cours de l'immersion, le retour veineux au cœur augmente, provoquant un élargissement du diamètre de l'oreillette droite qui, à son tour, engendre une production de peptides spécifiques, les peptides natriurétiques auriculaires (ANP). Ces peptides sont produits et libérés dans la circulation sanguine en réponse à l'élargissement de l'oreillette qui est interprété par l'organisme comme une augmentation du volume sanguin.

La meilleure façon pour l'organisme de réduire le volume sanguin est de diminuer le contenu en eau du sang en augmentant l'excrétion d'eau via la miction. Ce phénomène se produit suite à l'inhibition de l'hormone antidiurétique par l'ANP.

Ces connaissances ont conduit au consensus selon lequel tout plongeur est déshydraté. Certes, si l'on ajoute à cela l'environnement chaud et la transpiration auxquels sont exposés les plongeurs durant la période qui précède une plongée, on ne peut qu'admettre qu'une certaine déshydratation a lieu.

Si l'on jette un œil à la littérature relative à ce sujet, on peut lire que ce phénomène est exclusivement lié aux plongeurs accidentés (Boussuges et al., 1996)... Des données divergentes ont été observées chez

des plongeurs non accidentés. DAN organise actuellement des séjours plongée durant lesquels sont analysés différents paramètres, tels que l'hématocrite (concentration sanguine), la gravité spécifique de l'urine (concentration d'urine) et la bioimpédance totale du corps afin d'acquiescer une meilleure connaissance de ce qui se passe au niveau des fluides dans l'organisme du plongeur durant la plongée.

Les premiers résultats semblent indiquer un déplacement des fluides depuis les compartiments extravasculaires vers les compartiments vasculaires en compensation à la perte de liquides provoquée par le phénomène cité ci-dessus en relation avec l'ANP. Cette étude est toujours en cours et contribuera fortement à comprendre les accidents de plongée immérités qui pourraient s'expliquer par une sursaturation d'azote dans les tissus déshydratés.

La plongée et l'articulation temporo-mandibulaire (ATM)

L'articulation temporo-mandibulaire est l'articulation la plus utilisée au cours de notre vie. Il s'agit d'une articulation complexe constituée de ligaments et d'un ménisque, tout comme l'articulation du genou. Outre ces spécificités, l'ATM est reliée, dans sa région postérieure, à un faisceau neurovasculaire lui-même relié à certains nerfs crâniens. Cette structure spécifique engendre un stress particulier lors de l'avancement du ménisque (correspondant à une ouverture maximale de la bouche).

Un nombre important de plongeurs (environ 15 %) se plaint d'inconfort dans la région de l'ATM ou de maux de tête après la plongée. DAN a mis au point un protocole de recherche dans le but de comprendre les raisons de telles douleurs ou inconforts. Un groupe de 15 plongeurs a accepté de faire l'objet d'un scan de la région temporo-mandibulaire au moyen d'un examen IRM (imagerie par résonance magnétique). Les scans ont été réalisés en plaçant la bouche dans trois positions différentes. La position fermée était considérée comme la position de référence. Les deux autres positions étaient l'ouverture maximale (obtenue en plaçant un tube en plastique de 4 cm de diamètre dans la bouche) et la position correspondant à l'ouverture de la bouche lors du maintien en place d'un embout standard.

Les résultats ont montré que le fait de tenir un embout en bouche provoquait un déplacement du ménisque vers l'avant comparable au déplacement subi lors de l'ouverture maximale de la bouche. Ce déplacement était accompagné d'une tension claire au niveau du faisceau neurovasculaire à l'arrière du ménisque, qui est de toute évidence susceptible de provoquer une myalgie ou un mal de tête (Balestra et al., 2004a). Lors d'une plongée, l'embout est maintenu en bouche pendant une longue période de temps. En supposant que l'on puisse comparer cette position de la bouche à une ouverture maximale, on comprend aisément qu'elle provoque des douleurs.

Des données supplémentaires sont toutefois nécessaires pour mieux comprendre le sujet. Dans ce but, un nouveau protocole a été mis en place pour étudier l'effet des embouts thermoformés. Ce nouveau protocole vise à réaliser une analyse biomécanique des déplacements de l'ATM au moyen d'empreintes dentaires montées sur un articulateur et d'embouts formés de manière professionnelle. Ces embouts sont testés sur l'articulateur avant d'être fournis aux plongeurs afin de mesurer les effets bénéfiques d'un tel embout par rapport aux douleurs ressenties avec un embout standard.

La plongée et les dommages au cerveau : le mystère des objets brillants non identifiés

Lorsqu'un médecin détecte un grand nombre de taches blanches sur un IRM, il s'inquiète pour le patient. Ces UBO (objets brillants non identifiés) sont des lésions que l'on observe chez des individus et des plongeurs asymptomatiques. Quelques études publiées ont établi un lien entre la

plongée et les UBO. Nous pensons toutefois qu'un grand nombre de ces études, telle que la Geneva Memory Dive Study, présentent un biais d'auto-sélection. En effet, de nombreux plongeurs subissent une forme bénigne de maladie de décompression cérébrale, une maladie de décompression passagère caractérisée par le passage de quelques bulles seulement mais accompagnée de symptômes non visibles ou de symptômes considérés comme normaux après une plongée. Ces plongeurs se portent volontaires pour l'étude, et l'on détecte forcément des lésions dans le cerveau. C'est ainsi que certaines études ont été menées, comme par exemple l'étude Knauth (Knauth et al., 1997), qui soutient l'existence d'un lien indéniable entre le FOP et ces taches dans le cerveau. Nous avons nous-même procédé à une étude du même type pour vérifier les résultats, tout en évitant au possible d'introduire un biais d'auto-sélection. Pour ce faire, nous avons sélectionné des plongeurs au hasard parmi 200 volontaires. Nous avons diagnostiqué ces plongeurs et détecté 4 cas présentant des taches dans le cerveau. Nous avons ensuite diagnostiqué des non-plongeurs, chez qui nous avons détecté 3 cas. Si l'on compare les deux populations, il n'y a donc pas de différence. Le nombre de taches était identique. En outre, il faut savoir que parmi cette population de plongeurs, 56 % présentaient un FOP. Or, si le FOP était réellement lié à ces taches dans le cerveau, nous aurions dû en détecter un nombre beaucoup plus important que dans l'autre population. La situation n'est donc pas claire.

Une autre question se pose également : ces UBO correspondent-ils à un certain type de lésion ? Sont-ils liés à des troubles vasculaires ou thrombotiques ? La meilleure façon de répondre à cette question est de s'en remettre à la médecine légale. Nous avons donc cherché des volontaires au moyen d'une nouvelle technique, la mathématique fractale.

La mathématique fractale s'attache à expliquer la distribution structurelle et spatiale. La méthode dite de « comptage de boîtes » permet d'obtenir ce que l'on appelle une dimension fractale. Cette dimension fractale représente une manière d'expliquer la complexité et la distribution. C'est à cela que nous voulions arriver. La principale caractéristique des fractales en mathématique est « l'autosimilarité ». En d'autres termes, ce qui provient du même schéma présente le même type de distribution. L'autosimilarité tient en partie de la théorie du chaos ; elle n'est pas linéaire. Nous avons procédé à ce type d'analyse sur les taches observées dans le cerveau de plongeurs, puis nous avons comparé la dimension fractale de ces taches à des images de lésions thrombotiques établies (chez une population de non-plongeurs). Nous avons ensuite comparé les taches observées aux taches liées à plusieurs cas de sclérose en plaques (non thrombotique). Finalement, nous avons comparé toutes ces images à la dimension fractale de l'arborescence vasculaire du cerveau.

Selon le principe d'autosimilarité fractale, toutes les taches provenant du lit vasculaire devraient présenter une dimension fractale compatible. De même, les taches qui n'ont aucun lien avec le système vasculaire devraient présenter une dimension fractale non compatible.

En ce qui concerne l'angiographie et les troubles thrombotiques, aucune différence majeure n'a été observée au niveau de leur dimension fractale moyenne. Il s'agit d'un résultat normal. En ce qui concerne la sclérose en plaques, une différence a été détectée entre les troubles thrombotiques et les troubles ischémiques observés par artériographie. Certes, cette différence vient du fait que ces troubles se produisent dans des sites différents. Si l'on observe une tache chez un plongeur, on peut également voir une grande différence avec le lit artériel. Nous ne pouvons donc pas certifier que ces taches sont liées à des troubles thrombotiques.

Tout ce que l'on peut affirmer pour le moment est que nous ne disposons pas de données claires concernant les lésions cérébrales chez les plongeurs et qu'il

n'existe aucune corrélation apparente entre le FOP et ce type de taches. (Balestra et al., 2004c)

La plongée en apnée

De nouveaux éléments nous permettant de mieux comprendre l'apnée voient le jour, en particulier depuis les derniers records d'apnée, tels que la profondeur de 209 mètres atteinte par Patrick Musimi. En effet, ces événements font naître de nouvelles réflexions sur cette discipline. Auparavant, les principaux problèmes auxquels étaient confrontés les apnéistes étaient liés à l'hypoxie mais avec les nouvelles profondeurs atteintes, les apnéistes pourraient faire face à un nouveau risque, celui du syndrome nerveux des hautes pressions.

Un autre paramètre intéressant à étudier dans le cadre des apnées extrêmes est la physiologie de la fatigue. Les tests que nous avons réalisés sur des plongeurs effectuant des apnées extrêmes semblent indiquer l'existence d'un lien entre un phénomène de contrôle particulier associé au mécanisme de la fatigue qui survient lors de contractions musculaires et le contrôle central de la respiration. Il s'agit d'une découverte toute récente qu'il pourrait être intéressant de développer (Duchateau et al., 2002).



UNE PREMIÈRE DANS L'HISTOIRE DE LA RECHERCHE MÉDICALE EN PLONGÉE RÉCRÉATIVE, UN LABORATOIRE DE RECHERCHE PHYSIOLOGIQUE AVANCÉ ŒUVRE « SUR LE TERRAIN », À UN NIVEAU UNIVERSITAIRE, AU SUIVI DE PLONGÉES RÉCRÉATIVES ET TECHNIQUES LIBRES DANS LE BUT D'APPROFONDIR LES CONNAISSANCES EN MÉDECINE DE LA PLONGÉE ET DE PRÉVENIR LES ACCIDENTS DE PLONGÉE.

Par Laura Marroni

«Obtenir des données importantes pour notre projet de recherche sur la sécurité de la plongée, provenant directement de plongées réelles sans restriction particulière, et dans un nombre suffisant pour garantir leur validité scientifique » : voilà l'objectif que s'est fixé l'équipe DAN Europe Research lors, notamment, de sa participation au « Technical & Extreme Diving Scientific Research Event » qui s'est déroulé à Tronzano, au Lago Maggiore, Italie, les 30 septembre et 1er octobre 2006.

Cet événement, organisé par l'agence italienne de formation sous-marine, la PTA, a rassemblé des plongeurs volontaires dans le but de réaliser un certain nombre de plongées à des profondeurs comprises entre 40 et 130 mètres dans les eaux du Lago Maggiore.

Parmi ces volontaires, Nuno Gomes, le recordman connu pour ses plongées profondes au trimix, a accepté de se soumettre à différents examens médicaux et physiologiques non invasifs réalisés par l'équipe DAN Europe Research avant et après les plongées.

Toutes les plongées ont été réalisées selon des profils choisis librement et planifiés par les plongeurs eux-mêmes, mais toujours contrôlés par l'agence PTA du point de vue de la logistique et des aspects liés à la sécurité.

Page 21:

PHOTO 1 - PHOTO 2

Les chapiteaux abritant le laboratoire de recherche sur le terrain DAN Europe

« Ce fut une opportunité unique », a déclaré le président de DAN Europe, Prof. Alessandro Marroni. « En une seule journée, nous avons pu procéder à des examens physiologiques complexes et multiples chez quasiment 100 plongeurs qui avaient réalisé des plongées planifiées librement, à des profondeurs allant jusqu'à 130 mètres, à l'air, au nitrox, au trimix et au moyen de recycleurs.

Dans un cadre différent, il aurait fallu des mois pour obtenir une telle quantité de données et pour tester sur le terrain autant de procédures d'investigation, sans parler des coûts et des difficultés logistiques que tout cela aurait impliqué ! »

Cette récolte massive de données a pu être réalisée grâce au déploiement d'un laboratoire physiologique complexe sur le terrain conçu et mis en œuvre par l'équipe DAN Europe italo-belge dirigée par le Prof Alessandro Marroni et le Prof Costantino Balestro, vice-président de DAN Europe pour la recherche et l'éducation et directeur de DAN Europe Benelux, avec la contribution de l'équipe de recherche du département de physiologie clinique de l'Institut national de recherche italien et de l'Université de Pise, Italie, avec qui DAN Europe collabore activement sur de nombreux projets de recherche en plongée.

Page 21:

PHOTO 3 L'équipe DAN Europe Research

PHOTO 4 L'équipe « Doppler »

« Nous avons rassemblé les données relatives aux plongées conformément à la procédure standard de notre laboratoire DSL (Diving Safety Laboratory) », a expliqué Massimo Pieri, coordinateur de la récolte de données sur les plongées auprès de DAN Europe, « en procédant au remplissage de questionnaires spécifiques, au téléchargement des profils de plongée et à des enregistrements Doppler précordiaux chez tous les plongeurs. Ces enregistrements ont été réalisés par les opérateurs de recherche DAN provenant des clubs de plongée Sub Novara Laghi et Sub Del Lago. En outre, nous avons mis sur pied un laboratoire d'étude physiologique complet afin de mieux comprendre les risques et la physiologie de la décompression à travers une série d'examen, dont des échocardiographies et des examens portant sur les échanges entre les fluides corporels, l'élimination des micronoyaux gazeux et la réponse biologique au stress induit par la décompression ».

Tous les volontaires ont été soumis à la procédure d'évaluation suivante :

- Examens physiologiques avant la plongée
- Plongée
- Enregistrement Doppler après la plongée
- Examens physiologiques après la plongée (les mêmes qu'avant de plonger)

Afin que tout se déroule sans encombre et que les files attendues aux stations d'examen physiologique soient réduites au minimum, les plongeurs ont été divisés en équipes de quatre. Le laboratoire était organisé en différentes stations de recherche selon le type d'examen réalisé afin de permettre un roulement efficace des équipes.

La première station de recherche était consacrée :

- Aux enregistrements Doppler
- Au téléchargement des profils de plongée

Page 22:

PHOTO 5 Enregistrement Doppler après la plongée

PHOTO 6 Téléchargement des profils de plongée

La deuxième station de recherche était dédiée :

- À la mesure de l'impédance totale du corps (une façon de mesurer l'échange de fluides entre les tissus et les compartiments de l'organisme) ;

- À la mesure de la gravité spécifique de l'urine (une autre façon de contrôler l'équilibre des volumes liquidiens de l'organisme) ;

- À l'hématocrite (le rapport entre les cellules sanguines et le plasma sanguin ; ce rapport est fonction de l'état d'hydratation de l'individu).

Page 22:

PHOTO 7 Nuno Gomez à la station de mesure de l'impédance totale du corps

PHOTO 8 Prélèvement sanguin dans les capillaires pour mesurer l'hématocrite

La troisième station de recherche, la plus complexe, se consacrait :

- À la mesure échographique-pléthysmographique de la vasodilatation dépendante du flux sanguin (FMD) de l'artère brachiale (suivi indirect de l'effet de la plongée sur la production de monoxyde d'azote par l'organisme et sur les variations de cette substance induites par la plongée et le stress de la décompression) ;

- À la mesure de l'équilibre thermique (en mesurant la température de la peau après la plongée) ;

- À la réalisation d'échocardiographies après la plongée (pour visualiser les éventuelles bulles de gaz dans le cœur).

Page 22:

PHOTO 10 Évaluation de la FMD

PHOTO 10 Mesure de la température cutanée

Un laboratoire mobile venant tout droit d'Allemagne a participé en tant que quatrième station de recherche. Cette station était spécialement équipée pour deux types de conditionnement uniques avant la plongée :

- La vibration totale des plongeurs, une procédure visant à étudier la possibilité d'éliminer les micronoyaux gazeux de l'organisme avant la plongée afin d'optimiser la décompression et de minimiser la quantité de bulles circulantes présentes dans l'organisme après la plongée ;

- Le réchauffement total des plongeurs avant la plongée, une procédure visant à stimuler la production endogène de HSP (protéine du stress), une protéine de protection des cellules qui pourrait jouer un rôle dans la protection des tissus contre les agressions liées à la décompression.

Page 22:

PHOTO 11 - PHOTO 12 - PHOTO 13

Le laboratoire mobile contenant des matelas vibrants et une cabine chauffante à infrarouge

Enfin, une cinquième station de recherche « mouillée » a été placée sous l'eau afin de procéder à des examens spécifiques au moyen d'instruments prototypes.

Ces examens ont été réalisés sur un petit groupe de plongeurs présélectionnés, également membres de l'équipe de recherche DAN, et consistaient en :

- Un suivi métabolique avec évaluation des performances cardio-respiratoires en temps réel. Cet examen consistait à mesurer, sous l'eau, la consommation d'oxygène et la production de dioxyde de carbone au cours de plongées réalisées avec un recycleur. Les mesures ont été effectuées au moyen d'un appareil étanche conçu spécialement pour le contrôle des échanges gazeux métaboliques.

- Une échocardiographie trans-thoracique réalisée durant la phase de décompression suivant une plongée à l'air comprimé. Cet examen a été effectué au moyen d'un échocardiographe spécialement adapté pour pouvoir être utilisé dans un caisson étanche conçu pour l'expérimentation (maximum 4 ATA). Les plongeurs portaient une combinaison humide dotée d'une ouverture au niveau de la poitrine permettant de positionner la sonde ultrason.

Cet équipement unique a été conçu et fabriqué à l'Istituto di Fisiologia Clinica (Institut de physiologie clinique) du CNR (Institut italien national de recherche) de Pise, Italie. Il était initialement destiné à l'étude de la réponse cardiaque à la plongée en apnée.

Depuis peu, cet équipement est également utilisé pour évaluer la réponse cardiaque à la plongée en scaphandre et au stress induit par la décompression. L'avantage d'un tel équipement est qu'il permet de visualiser les éventuelles bulles gazeuses présentes durant la remontée et la phase de décompression d'une plongée. Une équipe de recherche spéciale de l'IFC de Pise nous a rejoints au Lago Maggiore pour tester l'échocardiographe submersible conformément aux dispositions du Scientific Cooperation Agreement (accord sur la coopération scientifique) conclu entre DAN et l'IFC.

Page 23:

PHOTO 14 Inauguration de l'échographe submersible

PHOTO 15 L'échographe dans son caisson étanche

PHOTO 16 La combinaison humide spécialement conçue pour la réalisation d'échocardiographies sous l'eau

L'événement s'est conclu par la tenue d'une conférence à Luino, Italie, le dimanche 1er octobre suivant, lors de laquelle les chercheurs DAN Alessandro Marroni, Costantino Balestra, Mario Giuseppe Leonardi et Corrado Bonuccelli ont donné de plus amples explications sur les examens réalisés le jour précédent et ont illustré les principaux résultats obtenus jusque là par le projet de recherche DAN pour la sécurité de la plongée.

« Ce fut une journée très chargée », a déclaré le Prof Marroni, « mais grâce à l'efficacité et au dévouement de l'équipe de recherche DAN et à l'enthousiasme des plongeurs volontaires, tout s'est très bien déroulé et les résultats obtenus ont dépassé toutes nos attentes. La quantité et la qualité des données récoltées sont en effet exceptionnelles. Notre intention initiale était de tester la possibilité de réaliser « sur le terrain » des études physiologiques spécifiques qui ne se font généralement que dans des laboratoires universitaires sophistiqués. Nous aurions été satisfaits par le simple fait de savoir que c'était possible. Or, à la fin de la journée de recherche, nous nous sommes non seulement rendu compte que ce niveau de recherche complexe et avancée était faisable « sur le terrain » et sur un grand nombre de plongeurs, mais nous avons en outre été ravis de constater que les données récoltées étaient nombreuses, de qualité, et tout à fait interprétables sur le plan scientifique. Cette journée a confirmé la validité de la méthodologie de recherche sur le terrain conçue et mise en œuvre par DAN, ainsi que la valeur et les compétences de chaque membre de l'équipe de recherche DAN. Nous procédons actuellement à l'analyse des données recueillies. Les résultats seront publiés dans des revues scientifiques ainsi que dans l'Alert Diver ainsi et sur le site Web de DAN Europe (www.daneurope.org) dans un futur proche ».

Informations concernant la journée de recherche DAN:

- 93 plongeurs (13 plongées à 45 mètres -EAN 29 ; 10 à 45 mètres - air ; 38 à 60 mètres - air ; 4 à 70 mètres - trimix ; 5 à 80 mètres - trimix ; 2 à 90 mètres - trimix ; 4 à 100 mètres - trimix ; 4 à 110 mètres - trimix ; 4 à 120 mètres - trimix ; 4 à 130 mètres - trimix ; 3 échocardiographies sous l'eau ; 2 test métaboliques lors de plongées au recycleur.)
- 93 de profils de plongée téléchargés
- 93 questionnaires avant et après la plongée
- 97 enregistrements Doppler
- 440 examens physiologiques

Laura Marroni



Estimados socios de DAN Europe:

Como pueden observar en la portada y en los titulares, este número de su revista de seguridad en el buceo está dedicado por completo

a DAN Europe Research, nuestro Departamento de Investigación, que celebra su 12 aniversario con unos excepcionales y muy gratificantes resultados.

A lo largo de todo este tiempo, el equipo de DAN Europe Research ha llevado a cabo numerosos proyectos de investigación sobre fisiología, medicina y seguridad en el buceo, algunos de los cuales han resultado fundamentales, puesto que han permitido una revisión de determinados aspectos y procedimientos del buceo recreativo.

Además, los miembros del equipo de DAN Europe Research han presentado 78 ponencias en distintos congresos de medicina del buceo, y han visto publicados sus trabajos en revistas científicas internacionales, libros y actas.

Los resultados de muchos de los proyectos de DAN Europe Research son hoy en día una referencia en el ámbito científico y de medicina del buceo.

Ya desde nuestros inicios, el método de investigación adoptado por DAN Europe fue considerado como poco ortodoxo por muchos investigadores, que consideraban que los estudios científicos deberían ser territorio exclusivo de investigadores académicos cualificados que cuenten con laboratorios debidamente equipados y con la ayuda de técnicos de alto nivel.

Si bien no les falta razón, la otra cara de la moneda es que quienes investigan en medicina del buceo, al igual que los médicos especialistas en este campo, son una especie poco frecuente, y los técnicos cualificados en investigación subacuática son todavía más difíciles de encontrar.

La consecuencia es que, demasiado a menudo, los procedimientos de buceo, y muy en particular en aquellos aspectos que afectan a la seguridad de la descompresión, se basan en opiniones (muchas y diferentes) derivadas de extrapolaciones o interpolaciones de un número limitado de observaciones científicas.

La actual incertidumbre en cuanto a las estimaciones sobre el riesgo de ADB se debe a la escasez de información: no podemos comprender la descompresión en toda su magnitud porque no tenemos suficientes datos, y los datos son precisamente el primer paso para encontrar soluciones.

La mayoría de los modelos de descompresión interpolan o extrapolan cuando faltan datos, pero lo que no pueden hacer es sustituirlos.

Para obtener un volumen de datos suficiente tenemos que hacer investigación de campo en inmersiones reales con buceadores reales, y no confinarnos en un laboratorio para trabajar (qué remedio) con un número limitado de datos, aunque sean de la mejor calidad posible.

Las soluciones válidas sólo pueden derivarse de una enorme cantidad de datos, inmersiones y observaciones que reflejen la realidad del mundo del buceo y sus múltiples facetas.

Éste era el difícil reto que se planteó DAN Europe al inicio del proyecto Safe Dive, y más tarde con el Diving Safety Laboratory.

¿Qué es lo que ha cambiado en todo este tiempo? Para empezar, la participación de los buceadores como parte activa del proceso. Han pasado de simples buzos a «buceadores de investigación», capaces de registrar sus inmersiones con toda eficacia y precisión (de acuerdo con una metodología correcta desde el punto de vista epidemiológico y científico), y de enviar los resultados a una base de datos central a partir de la cual, finalmente, se podían analizar cientos de miles de inmersiones reales cuya información se había recabado de acuerdo con un método uniforme.

Estas iniciativas han sido todo un éxito, y ahora disponemos de una base de datos mundial de más de doscientas mil inmersiones, que va creciendo día a día y nos ofrece una oportunidad sin precedentes de efectuar análisis epidemiológicos y estadísticos acerca de los diversos aspectos de la seguridad en el buceo, que abarca desde el comportamiento y el estado físico del buceador hasta la idoneidad de los procedimientos de descompresión.

Otro cambio importante que ha introducido la nueva perspectiva de DAN Europe de «investigación por y para los buceadores» es el hecho de que estábamos convencidos de que los buzos tenían mucho más que ofrecer que un simple registro de sus inmersiones, para luego enviar los datos a la base: confiábamos plenamente en ellos, en su implicación, en su sed de conocimientos, en su preocupación por la seguridad y en su habilidad.

Sabíamos que podían hacer mucho más, que podían dejar constancia de información científicamente relevante, guiados por una serie de sencillos pero completos cuestionarios, y que incluso podían ir más allá con tareas más complicadas, registrando importantes señales fisiológicas, como son los sonidos de burbujas circulantes obtenidos mediante tecnología Doppler de ultrasonidos, por poner sólo un ejemplo. Hemos desarrollado técnicas especiales para enseñar a los buzos a recabar correctamente dichas señales y llevar a cabo la recuperación, almacenamiento y transmisión de los datos. Y una vez más, el éxito ha sido la respuesta.

Nuestro objetivo final ya es una realidad que está dando sus frutos. Ahora disponemos de un considerable banco de datos sobre análisis de riesgos en el buceo, que constituirá tanto el punto de partida como la herramienta con la que comparar futuros avances, resultados de proyectos de investigación, o diferentes tipos de perfiles de buceo.

Por fin podemos hablar de datos reales, y no de opiniones sobre la seguridad en el buceo.

Todo esto es motivo de orgullo y de agradecimiento a los buceadores y a los socios de DAN Europe por su continuo apoyo a esta su organización de seguridad en el buceo, y por las numerosas inmersiones que tantos de ustedes ya han «donado» a la investigación.

La seguridad se basa en una información correcta e imparcial, y la investigación aporta los datos en los que fundamentar dicha información. Por nuestra parte, sólo podemos seguir animándoles a que sigan respaldando la labor de nuestro equipo y que sean parte activa del desarrollo de un buceo más seguro.

¡Aguas claras y luz verde en sus inmersiones!

*Alessandro Marroni,
Presidente de DAN Europe*

La historia del proyecto Diving Safety Laboratory de DAN Europe



Dr. Ramiro Calí Corleo, Vicepresidente de DAN Europe, Director del Área Anglófona de DAN Europe

El proyecto de investigación DSL (Diving Safety Laboratory) se inició en el año 1994 cuando, en el

curso de la conferencia anual europea sobre medicina hiperbárica y del buceo celebrada en Noruega por la European Underwater Baromedical Society, los Dres. Alessandro Marroni e Iro Calí-Corleo unieron sus esfuerzos y sentaron las bases de un proyecto que por primera vez incorporaba la participación activa de los buceadores y de los instructores de buceo. Este proyecto se denominó Safe Dive (Buceo Seguro), y su objetivo era analizar de manera sistemática y a gran escala el modo de bucear de los europeos, su estado físico según lo perciben ellos mismos y cualquier problema médico que pudieran experimentar tras la inmersión. Por extraño que parezca, la organización hermana de DAN Europe, DAN America, estaba a su vez considerando cómo estudiar científicamente las inmersiones recreativas.

Safe Dive se puso en marcha de inmediato con el ambicioso objetivo de controlar un millón de inmersiones de buceo recreativo. Esta meta se fijó tras considerar la proporción de accidentes relacionados con la práctica del buceo de los que se tenía constancia, lo que implicaba que la cantidad de inmersiones estudiadas debía garantizar que se controlara un número suficiente de accidentes para obtener así un resultado válido desde el punto de vista científico y permitir que la investigación resultara verdaderamente útil para el buzo cuyo riesgo se evaluaba.

El método científico elegido fue la observación: un buceador o instructor al que se había dado una formación específica designaba a un OIC (Operador de Investigación de Campo) que debía controlar el patrón de buceo de un pequeño grupo de individuos y registrar de manera adecuada todos los datos referentes al estado de salud y la motivación del buzo antes de entrar en el agua, a la propia inmersión y a cualquier consecuencia médica que ésta pudiera tener. El OIC también debía efectuar un registro Doppler de los sonidos cardíacos precordiales antes y después de la inmersión, para así captar y después identificar las posibles burbujas producidas durante la actividad y que permanecían en el torrente circulatorio.

Se diseñó un dispositivo Doppler especial para que pudiera ser utilizado por los OIC, además de un método docente para que el buzo o el instructor aprendieran cómo utilizar el dispositivo, cómo identificar el sonido correcto (a través de su patrón musical) y cuándo realizar la grabación. Los primeros aparatos, que consistían en un Doppler de tipo estándar y una grabadora, eran precisos, aunque demasiado delicados para su uso en un estudio de campo, de modo que se fueron modificando en distintas versiones hasta que se logró llegar a la actual, un dispositivo Doppler sólido y estanco, como los que se usan normalmente en los partos subacuáticos, conectado a una grabadora digital que produce una señal apta para el análisis. En su conjunto, se trata de un dispositivo duradero.

Además, las inmersiones se analizaron con un ordenador de buceo especialmente modificado, donado por el fabricante, que no mostraba ningún dato en la pantalla (aparte de la palabra «DAN»), y que por lo tanto no influía en el buceador para hacerle cambiar su patrón normal de buceo. Seguidamente, la información recogida de este modo se descargaba en un ordenador para constituir un registro fiel del perfil de buceo de cada inmersión.

El proyecto Safe Dive inició su andadura con una expedición muy especial en Malta, donde los voluntarios que participaron pudieron disfrutar de una semana de buceo en la que asistieron a clases teóricas y realizaron ejercicios prácticos sobre el terreno. Fue muy gratificante que los más de treinta alumnos superaran la prueba y lograran el título de OIC. Desde entonces y con el paso de los años, se han realizado más cursos, normalmente en el marco de un viaje de buceo.

Los más dignos de destacar son los efectuados en la embarcación de buceo MV Duda en aguas de Malta e Italia, el Mar Rojo en Egipto, Oban en Escocia, Elba en Italia e Istria en Croacia. Todos ellos

resultaron muy positivos, y sirvieron para formar a un numeroso equipo de eficientes, entusiastas y activos ICO.

En 1999 se estableció un acuerdo formal con Uwatec, lo que dio el impulso para que el proyecto Safe Dive ampliara sus horizontes y se iniciara el Diving Safety Laboratory (DSL). El ámbito del estudio se amplió para incluir el análisis de perfiles de buceo concretos, llevados a cabo como simulaciones en determinados centros hiperbáricos con el objetivo de identificar perfiles y patrones de descompresión en los que la producción de burbujas sea mínima, o nula.

El rol de los buzos e instructores también se modificó, y los ICO pasaron a ser TI (Técnicos de Investigación). Además, se creó un nuevo nivel de participación, el OI (Operador de Investigación), encargado de controlar los perfiles de buceo, pero no las grabaciones Doppler. Hasta este momento, se han estudiado más de 39.000 inmersiones, y de ellas, en más de 10.000 disponemos también de registros Doppler efectuados por los ICO/TI.

Hemos dado un paso más en la modificación del DSL tras el vencimiento del acuerdo con el fabricante de ordenadores mediante el cual comenzamos a utilizar diversos dispositivos y ordenadores para registrar los perfiles de buceo y descargar los datos para, finalmente, incorporarlos a la base.

Ahora el DSL también comprende el estudio de otras cuestiones que inciden en el buceo, como son el FOP o determinados factores bioquímicos y celulares.

Aunque el DSL sigue incorporando datos a su base de resultados, ya ha dado sus frutos en forma de artículos científicos que han transformado los patrones de buceo, tal y como ha sucedido con la investigación sobre la parada profunda de descompresión. El DSL continuará mejorando gracias al respaldo que recibe de los propios buceadores y de su consagrado equipo de investigadores.

DSL: La seguridad y la investigación en medicina del buceo toman forma



Massimo Pieri, Coordinador de Recopilación de Datos del Diving Safety Laboratory, y Marzia Ferrone, Operadora de Investigación del DSL

Desde 1999, cuando se estableció el laboratorio permanente de DAN Europe con el nombre de Diving Safety Laboratory (DSL), los resultados obtenidos en el programa de investigación habían sido mucho más que satisfactorios, y esto, junto con un nada desdeñable conjunto de más de 39.000 inmersiones reales registradas y totalmente controladas, es el fruto de la entusiasta participación tanto de los Operadores de Investigación de DAN Europe (que no dejaron de viajar por Europa, participando en todo tipo de actividades de buceo), como de los buceadores recreativos que no dudaron en «donar» sus inmersiones al DSL, y los latidos de su corazón a la sonda Doppler de DAN Europe para detectar las posibles burbujas de gas circulante después de haber buceado.

Los recientes progresos del DSL y la creciente y cada vez más estrecha colaboración con DAN America y DAN Southern Africa han permitido abrir nuevas puertas con interesantes perspectivas, como el inicio de un proyecto especial para estudiar los efectos que pueden tener las distintas modalidades y velocidades de ascenso, así como las paradas, en perfiles de buceo predeterminados dentro de los márgenes habituales en el buceo recreativo moderno sin descompresión. En él, un grupo de buceadores voluntarios de diversos clubes de buceo italianos (en un principio, Sub Ravenna, y posteriormente Sub Novara Laghi y Sub Del Lago) accedieron a repetir la misma inmersión de 25 minutos a 25 metros, en la que variaban los perfiles de ascenso, la velocidad y las paradas.

Este estudio, que supone la realización de un trabajo de campo exhaustivo y sin precedentes hasta la fecha sobre los efectos de diferentes modalidades de ascenso en el buceo recreativo, ya ha producido importantes resultados que han servido para rediseñar los procedimientos de ascenso y una mejor y más segura «economía de descompresión».

En el seno del equipo de DAN Research lo denominamos proyecto «MarBen», por los dos científicos que lo diseñaron, el Dr. Marroni y el Dr. Bennett. Pero el estudio no ha llegado a su fin, sino que continuamos investigando muchas otras modalidades de buceo, como es el caso de los perfiles invertidos, los perfiles de aguas de poca a mayor profundidad, el buceo con nitrox con tiempos de autonomía de aire y de nitrox, mientras se observan las diferencias en cuanto a producción de burbujas circulantes. Todos estos perfiles representan lo que sucede cada día en el buceo real, y los buceadores voluntarios del DSL se limitan a aplicar los datos obtenidos por el DSL y su método de investigación a las inmersiones que hacen habitualmente. Esta combinación única de metodología de estudio de sonidos e inmersiones recreativas normales está generando un volumen considerable e inaudito de datos, que ya supera con creces la información sobre series de inmersiones que se han venido utilizando para dar validez a los actuales procedimientos de buceo y algoritmos de descompresión.

En esta investigación fundamental, los buzos del club Sub Novara Laghi (de Omegna, Italia) merecen un reconocimiento especial por su increíble dedicación, persistencia y entusiasmo, y por haber proporcionado más de 1.000 perfiles de buceo totalmente analizados, contando las inmersiones sin límites y los perfiles del proyecto «MarBen».

Tras evaluar los primeros frutos que ofrecen los esfuerzos conjuntos de todos los voluntarios y del equipo de DAN Europe Research, somos conscientes de que para obtener resultados significativos es imprescindible la participación de cada vez más buceadores, así como la evaluación científica de datos procedentes de cientos de miles de inmersiones recreativas. Así pues, ésta es nuestra dificultad, pero no imposible meta a partir de ahora.

Para lograrlo precisaremos de la ayuda y el respaldo del conjunto de buceadores recreativos y de todas las inmersiones que estén dispuestos a «donar» a DAN Research.

Para facilitar las cosas, DAN Europe ha lanzado un programa informático especial, llamado Immersioni (Inmersiones), diseñado por Mario Giuseppe Leonardi.

Todo buceador que lo desee puede descargarse y utilizar Immersioni gratuitamente, previo registro. Se trata de una herramienta muy útil para registrar inmersiones, y funciona como un cuaderno de buceo mejorado y multifuncional, y además incorpora nuevas funciones de interés científico:

- Descarga directa de perfiles de buceo desde prácticamente cualquier programa existente para buceo y descompresión;

- Notas importantes desde el punto de vista científico y cuestionarios epidemiológicos específicos creados por DAN;

- Registro de señales Doppler;
- Transferencia directa de todos los datos registrados al servidor central de DAN Europe, donde se llevará a cabo el estudio estadístico.

(Si desea más información, puede enviar un correo electrónico a la dirección dsldcc@daneurope.org). Invitamos a todos los buceadores y a todos los socios de DAN Europe a que se descarguen Immersioni (que próximamente estará disponible en versión multilingüe en italiano, inglés y francés), a que lo utilicen como cuaderno de buceo y a que envíen los datos de sus inmersiones a DAN Europe. De este modo participarán en este interesante proyecto, que contribuirá a darle forma al futuro de la seguridad en el buceo recreativo.

En otras palabras, le invitamos a entrar en el equipo de buzos de investigación de DAN Europe.

Usted puede participar en la búsqueda de un buceo mejor y más seguro. La vanguardia de la investigación en este campo está a su alcance como buceador del Diving Safety Laboratory de DAN Europe.



EL ESTUDIO DE DAN EUROPE SOBRE LA SEGURIDAD EN EL ASCENSO Y LOS EFECTOS DE LAS PARADAS EN PROFUNDIDAD.

Dr. Frans J Cronjé, Presidente de DAN Southern Africa, Miembro del Consejo de Administración de DAN Europe

Introducción – Hay dos categorías principales en la investigación y la medicina del buceo: las cuestiones no relacionadas con las burbujas y las que sí lo están. DAN estudia ambos niveles a través de dos amplios proyectos internacionales: Project Dive Exploration y Diving Safety Laboratory, respectivamente.

En lo que respecta a los problemas relacionados con las burbujas, consideramos que incluye los casos de descompresión y sus implicaciones físicas y patológicas. El único modo de describir y predecir los complejos procesos de incorporación y eliminación de gases en el cuerpo humano es generalizar y aproximarse a ellos por medio de fórmulas o modelos matemáticos. No obstante, es preciso que nos demos cuenta de que esto conlleva inevitablemente un exceso de simplificación, basada en unos conceptos teóricos que no siempre reflejan lo que de verdad sucede en el organismo.

Lo que se pretende con los algoritmos de descompresión es reducir los complejos mecanismos del intercambio de gases inertes a cinco conceptos fundamentales: 1) absorbemos gases inertes cuando se incrementa la presión ambiental; 2) eliminamos gases inertes cuando la presión ambiental se reduce (pero lo hacemos a un ritmo más pausado); 3) cuando la tensión del gas en los tejidos supera a la presión ambiental, se da un estado de sobresaturación; 4) en un punto dado, la sobresaturación desencadenará la formación de burbujas; 5) y finalmente, llega un momento en el que las burbujas pueden causar síntomas o lesiones.

Como muchos ya saben, los modelos de descompresión tienen en cuenta los denominados compartimentos o tejidos lentos y rápidos. Esto significa que algunas áreas, en teoría, absorben el nitrógeno con mayor facilidad que otras. Los tejidos rápidos son más proclives a la sobresaturación en el curso de

una inmersión típica de buceo recreativo. En 1908, John Scott Haldane hizo público el famoso principio del dos a uno para evitar las lesiones por descompresión. Sin embargo, con el tiempo este principio se fue modificando, ya que los buceadores podían soportar una mayor sobresaturación en los tejidos rápidos. Esto hizo que se diseñaran normas de ascenso que permitían que la sobresaturación en dichos tejidos en particular aumentara considerablemente. Así pues, en lugar de la proporción universal de 2 a 1 para todos los compartimentos, se llegó a la conclusión de que en los tejidos rápidos era segura una proporción de 4 a 1. El dilema está en que este método no ha solucionado el problema de los accidentes disbáricos. Alrededor de un 57,6% de los ADB afecta a buzos que no hicieron nada «incorrecto». Para simplificar, esto quiere decir que cumplir a rajatabla con los algoritmos de descompresión no resulta del todo eficaz.

Por lo tanto, y retomando el tema de las normas de ascenso, no hace mucho que se ha vuelto a cuestionar el hecho de que se permita una gran sobresaturación en los tejidos rápidos, ya que dichas recomendaciones no contemplaron las consecuencias de la formación de grandes cantidades de gas en las venas tras la inmersión, ni los efectos biológicos que ello podría tener en los buceadores. Aunque la presencia de burbujas no quiere decir que el buzo vaya a padecer necesariamente una enfermedad por descompresión, sí hay una relación entre la cantidad de burbujas y la probabilidad de que aparezcan los síntomas.

Además, las burbujas en las venas pueden traspasar la barrera natural (el filtro pulmonar) por medio de dos posibles mecanismos, siendo el primero de ellos el foramen oval permeable (FOP). En determinadas circunstancias, esta válvula unidireccional que existe en aproximadamente el 25% de los buceadores puede abrirse, permitiendo que las burbujas que circulan por las venas pasen del lado derecho del corazón al izquierdo, causando así un embolismo gaseoso arterial. En segundo lugar, las barreras pulmonares de hasta un 15% de los buceadores son ineficaces, y éste es un problema que no se puede detectar en absoluto con un examen médico normal. Por este motivo, en lugar de examinar a los buzos en busca de un FOP, o peor aún, en lugar de prohibirles la práctica del buceo, es importante que se eviten aquellas inmersiones que impliquen un nivel elevado de formación de burbujas. Lo mismo sucede con la filtración pulmonar: si no hay burbujas no hay problemas.

Hay muchos sutiles y molestos síntomas que se producen después de haber buceado y que son difíciles de explicar, aunque parece que las burbujas producen, de manera indirecta, determinados efectos bioquímicos e inmunológicos. Si bien no podemos decir que se trate de una enfermedad por descompresión en el sentido estricto de la palabra, lo cierto es que estos cambios tienen consecuencias. Sabemos, por ejemplo, que las burbujas reaccionan con los componentes de la sangre y que afectan a las paredes de los vasos sanguíneos, lo que hace que se liberen los agentes que activan la inflamación. La sensación de cansancio que se experimenta después de una inmersión a gran profundidad puede deberse a este fenómeno. Todas estas variables y efectos pueden ser la explicación de por qué algunas personas toleran bien las inmersiones muy agresivas, mientras que otras sucumben de improviso.

¿Cuál es entonces la solución a este problema? ¿Qué podemos hacer para liberarnos de las burbujas? Las causas y los efectos de las burbujas pueden abordarse desde tres niveles diferentes, y es aquí donde se encuentra el futuro de las investigaciones sobre la descompresión: 1) gestionando una óptima economía de la descompresión (es decir, llegar a la superficie con rapidez, pero sin renunciar a la seguridad, utilizando combinaciones del ritmo de ascenso y la duración de las paradas de seguridad); 2) reduciendo o evitando la formación y la migración de burbujas; y 3) reduciendo la respuesta biológica del organismo ante las burbujas para evitar así que

se agrave el problema original.

La expresión «descompresión económica» se refiere a una combinación de los gradientes de presión y del gas de modo que sea posible un ascenso más rápido a la superficie, evitando al mismo tiempo una formación excesiva de burbujas en las venas y la dañina sobresaturación de los tejidos. Irónicamente, parece ser que la regla del 2 a 1 de Haldane podría ser la solución adecuada, aunque por motivos diferentes a los planteados por él. En lugar de prevenir un nivel crítico de sobresaturación, las observaciones de Haldane son la clave para el mejor equilibrio posible entre las variables de ritmo de ascenso y paradas en un buceo poco profundo. No obstante, y con el fin de profundizar en lo que Haldane concibió como los extremos de una descompresión segura (es decir, el punto después del cual probablemente se produciría un accidente disbárico), hemos empezado a estudiar los límites de tiempo en profundidad que hasta ahora se habían considerado como seguros, aunque no siempre.

Desde el punto de vista de la investigación, el esperar a que se produzca un ADB genera un problema práctico, puesto que se trata de algo relativamente poco frecuente. El proyecto Dive Exploration y el DSL ya han acumulado más de 150.000 inmersiones realizadas por unos 15.000 buceadores, y sólo se han detectado 41 casos de ADB. Para determinar todos los parámetros implicados en un buceo seguro utilizando la incidencia de ADB como criterio de valoración, necesitaríamos unos 100 millones de inmersiones. Incluso llegados a ese nivel, no habríamos considerado todas las combinaciones posibles. Por lo tanto, si no podemos utilizar los ADB como indicadores de un mayor nivel de riesgo, ¿a qué podemos recurrir? Una posible alternativa sería centrarnos en el embolismo gaseoso venoso además de en los ADB, y esto introduce la oportunidad de emplear la tecnología Doppler.

Entre los años 1995 y 2006, DAN Europe ha registrado más de 39.000 inmersiones. Hemos utilizado cajas negras y equipos Doppler obstétricos, y hemos podido empezar a aclarar la posición de algunas piezas clave perdidas en el complicado rompecabezas de la descompresión. Recientes estudios llevados a cabo por DAN Europe han observado los efectos de distintos ritmos de ascenso y paradas en series de dos inmersiones a 25 metros que generaban señales Doppler de burbujas.

Teniendo en cuenta los resultados de éste y de otros estudios posteriores, podemos hacer las siguientes recomendaciones provisionales: en las inmersiones a 25 msw, la mejor estrategia parece ser una parada profunda, a 15 msw, de entre 2,5 y 5 minutos de duración (téngase en cuenta que 1 minuto es demasiado poco), seguida por otra parada más superficial, a entre 3 y 5 msw, durante unos 3 o 5 minutos (en condiciones ideales, debería ser más larga que la parada profunda). El mejor ritmo de ascenso sería de 10 metros por minuto. Ni los ritmos más rápidos ni los más lentos parecen tener mayor eficacia.

En resumen, la «descompresión económica» no consiste en el tiempo que empleemos, sino en dónde lo empleamos.



ESTUDIOS DE DAN EUROPE SOBRE EL FOP: ¿SUPONE UN RIESGO REAL PARA EL BUCEADOR RECREATIVO?

Dr. Peter Germonpré, Director Médico de DAN Euro-

Hacia finales de los años 80, se publicaron varios informes médicos que parecían indicar que algunos buceadores podrían tener un mayor riesgo de padecer enfermedades descompresivas (ED) de tipo neurológico que otros. La existencia de lo que se denominaba «foramen oval permeable» (FOP) era, según dichos informes, mucho más frecuente entre quienes habían sufrido una ED que en otros buceadores. Las diferencias eran apabullantes: alrededor del 66% de los buzos que habían experimentado una ED tenían FOP, mientras que en el grupo de «control», la incidencia tan sólo era del 20%.

La persistencia del foramen oval no es una enfermedad. De hecho, entre un 25 y un 30% de la población mundial tiene FOP. Lejos de ser una enfermedad rara, de hecho se trata de una de las muy pocas cosas que nos recuerdan nuestra vida antes del nacimiento. Consiste en una minúscula conexión entre el lado derecho del corazón y el izquierdo. Durante nuestra existencia en el vientre materno, esta apertura es mucho mayor, y permite el paso de casi el 80% de la sangre venosa hacia el lado derecho (arterial) del sistema circulatorio, evitando así el paso por los pulmones. Obviamente, los pulmones no pueden funcionar en la fase fetal (ya que la respiración sólo lograría llevar líquido de acá para allá). El oxígeno lo proporciona la circulación placentaria, y la sangre oxigenada fluye por la principal vena del organismo (la vena cava inferior), y llega a la sección venosa en la aurícula derecha. De aquí, en lugar de tomar un desvío bastante largo y estrecho hasta los pulmones, atraviesa el foramen oval para llegar al lado arterial, y pasa a la aorta, el cerebro y los órganos vitales a través del ventrículo izquierdo.

¿Recuerdas lo que sucedió inmediatamente después de su nacimiento? El médico o la comadrona le dieron una palmada en los glúteos, y usted empezó a llorar con rabia e indignación, ¿no es cierto? No es que hicieran esto por simple sadismo, sino para lograr que usted respirara a su máxima capacidad, y abriera así por completo sus alvéolos pulmonares e introdujera aire fresco en ellos. Y no sólo aire, sino sangre también: la tensión cae drásticamente en la arteria pulmonar, y la sangre venosa es literalmente aspirada en el sistema circulatorio pulmonar. Esto, a su vez, hace que la presión en el hemicardio derecho sea inferior que en el izquierdo, y la abertura a modo de válvula que es el foramen oval se cierra de súbito. En el transcurso de unas horas, o de unos días, la válvula se fusiona y la comunicación queda sellada... excepto para el 30% de los seres humanos, en los que persiste una pequeña abertura, como un diminuto canal. El FOP tiene poca importancia en la vida normal, ya que nunca interfiere con la capacidad de esfuerzo o la salud en general, pero supone una posible conexión entre la sangre venosa y la arterial (véase la Figura 1). La hipótesis que sustentaba estos informes médicos era que, si el buceador sale a la superficie con burbujas de nitrógeno en la sangre, éstas podrían atravesar el foramen oval y entrar en la circulación arterial, y ser por lo tanto la causa de una enfermedad descompresiva. Así pues, el FOP se considera como un factor de riesgo de ED.

DAN Europe ha reconocido rápidamente el posible problema que plantea esta hipótesis. Después de todo, del 25 al 30% de los buceadores tienen FOP y, obviamente, no todos ellos presentan un riesgo inaceptable de sufrir una ED. Se han iniciado diversos estudios para comprender mejor este fenómeno y el riesgo que representa para los buzos.

En 1998 se publicó un primer trabajo que confirmaba el hecho de que el FOP sí podía ser la causa de las denominadas ED «inmerecidas», que no son más que aquellos casos que se presentan tras una inmersión efectuada de acuerdo con todas las «normas» de descompresión vigentes (ya sea según un ordenador de buceo o con las tablas tradicionales). Utilizando un sistema de referencia para el examen

(ecocardiografía transesofágica, véase la Figura 2), se comparó a los buceadores que habían sufrido una ED con otros buzos «idénticos» que nunca lo habían hecho. El estudio llegó a la conclusión de que las ED «inmerecidas» con síntomas que indicaban que la zona afectada era el cerebro, los ojos o los oídos estaban relacionadas con una mayor incidencia (hasta un 80%) de FOP (de grandes dimensiones). Por otra parte, otros tipos de ED (con síntomas de afección ósea y articular, o de la zona lumbar de la médula espinal) no parecían guardar relación con el FOP. Los resultados de este estudio fueron muy importantes, en el sentido de que nunca debemos olvidar que la causa de las ED son las burbujas, y que la permeabilidad del foramen oval tan sólo proporciona una vía de entrada en la circulación arterial. El hecho de que no todos los casos de ED «inmerecida» puedan vincularse al FOP significa que existen otros mecanismos por los cuales las burbujas descompresivas pueden convertirse en algo «patológico».

Un segundo estudio determinó con mayor precisión las circunstancias en las que el FOP se abre para permitir el paso de la sangre venosa a la circulación arterial. Al medir las presiones intratorácicas en buzos voluntarios pudimos confirmar que, tras una inmersión, hay determinadas maniobras que probablemente resultan más «peligrosas» que otras. A este respecto, y por citar algunos ejemplos, podríamos hablar de levantar objetos pesados (como las botellas), hacer grandes esfuerzos, bloquear el aire en los pulmones y hacer fuerza con el abdomen (como sucede cuando nos subimos a bordo de una Zodiac, o cuando hacemos fuerza para evacuar el vientre). Aparte de las maniobras en sí, también es importante el tiempo durante el cual se contiene la respiración. Para explicarlo de una forma sencilla, cuando se incrementa la presión del aire en los pulmones, la sangre «se mantiene a raya» fuera de la caja torácica y no puede acceder al hemicardio derecho. Una vez relajada la tensión, toda esta sangre entra de súbito en el corazón, lo que aumenta temporalmente la presión en el lado derecho del corazón con respecto al izquierdo, y esto puede hacer que, durante unos segundos, el FOP se abra lo suficiente como para permitir el paso de la sangre (y las burbujas).

Durante este mismo periodo (1997-1998), empezaron a surgir otros trabajos que apuntaban al riesgo de bucear con FOP, incluso en el caso de que el buceador nunca hubiera padecido una ED. Después de realizar una serie de gammagrafías cerebrales, los investigadores observaron más y mayores «puntos blancos» en los cerebros de un grupo de buceadores con FOP que en otros que no presentaban esta peculiaridad. La hipótesis era que incluso en el caso de que las burbujas que atravesaban el FOP no causaran síntomas de ED, lo que sí hacían era llegar al cerebro, donde podían formar un «tapón» y causar daños permanentes. No es preciso que añadamos que estos informes causaron pánico entre los buzos.

Una vez más, el equipo de investigadores de DAN Europe trató de comprobar si estas afirmaciones eran correctas. Al fin y al cabo, de todos es sabido que las burbujas que dan lugar a una ED de tipo neurológico pueden desencadenar daños cerebrales irreversibles. También es cierto que los buceadores no suelen mencionar los síntomas de ED, aunque sean graves y requieran al menos un examen médico, y puede que incluso tratamiento de recompresión (por ejemplo, mareos y náuseas injustificados después de una inmersión). Por lo tanto, si un buceador ha padecido varias de estas situaciones, si en su escáner se encuentran «puntos blancos», se puede argumentar que son la consecuencia de una ED, y no de, simplemente, «bucear con FOP». Una vez más, la causa de las ED son las burbujas, no el FOP en sí.

No obstante, los resultados del estudio de DAN Europe fueron tranquilizadores: 44 buzos experi-

mentados, seleccionados al azar de entre una población de voluntarios adecuados, fueron examinados utilizando las últimas técnicas médicas en gammagrafía cerebral, ecocardiografía cardiaca y pruebas neuropsicológicas. No se observaron diferencias significativas entre aquellos que tenían FOP y os que no, lo que daba a entender la posibilidad de que en los estudios anteriores hubiera algún problema con las técnicas empleadas o con los voluntarios.

De hecho, lo cierto es que ni siquiera estamos seguros de si los «puntos blancos» detectados en las gammagrafías de algunos buceadores (y, casualmente, también en no buceadores mayores de 40 años) son el resultado de un «taponamiento» en el cerebro. El análisis fractal de gammagrafías cerebrales (otro proyecto de DAN Europe Research) encontró más similitudes con las lesiones generadas por enfermedades inmunitarias que con problemas vasculares. Se podría especular si estos «objetos brillantes no identificados» (obnis) son verdaderamente patológicos o si tan sólo forman parte del proceso normal de envejecimiento... En cualquier caso, está claro que los buceadores que practiquen este deporte de acuerdo con las normas de seguridad de DAN en inmersiones sin paradas y que nunca hayan sufrido una ED no se encuentran en una situación de riesgo mayor de tener uno de esos «obnis».

Sin embargo, la controversia aún no se ha zanjado, y son muchos los buzos que quieren saber si tienen FOP, aunque lo más probable sea que no haya ninguna necesidad en absoluto de preocuparse por ellos en el buceo recreativo sin descompresión. En vista de ello, DAN Europe ha iniciado un estudio definitivo, de tipo prospectivo, para determinar cuál es el riesgo real de bucear con FOP: el estudio con Doppler carotídeo de DAN.

EL RIESGO DEL FOP Y SU PAPEL EN LAS ED «INMERECIDAS»: ¿REALIDAD O FICCIÓN?

El problema, por supuesto, es que en todos estos estudios se empieza con un grupo de buzos que han padecido una grave, pero enormemente rara dolencia: la ED. La enfermedad descompresiva se produce aproximadamente en una de cada 10.000 inmersiones, dependiendo, como es natural, del tipo de inmersión de que se trate. Por ejemplo, el buceo en pecios en aguas frías implica un riesgo mucho más elevado (alrededor de 1 de cada 1.000), mientras que en el buceo recreativo sin paradas hay muchas menos posibilidades (alrededor de 1 de cada 35.000, según las estadísticas de DAN Europe). Una vez más, esto dependerá fundamentalmente del número de burbujas descompresivas que haya en la circulación venosa del buzo cuando llegue a la superficie. Dado que sabemos que entre un 25 y un 30% de todos los buzos tienen una posible conexión entre ambos lados del corazón a través del FOP, no resulta difícil comprender que de entre aquellos que hayan sufrido una ED, muchos tendrán FOP (de hecho, son cerca del 80%). Lo que no resulta tan sencillo de entender es que todos los demás buzos con FOP hayan realizado numerosas inmersiones sin haberse enfrentado jamás a una ED.

En otras palabras, incluso si el riesgo de padecer una ED es, digamos, dos veces superior en buceadores con FOP, este riesgo seguirá siendo inapreciable si las inmersiones no generan un número significativo de burbujas. Esto puede lograrse con facilidad siguiendo al pie de la letra las prácticas para un buceo seguro. Muchos de quienes practican el buceo recreativo nunca harán más de mil inmersiones en toda su vida, de modo que un riesgo de 1 ED por cada 17.500 inmersiones equivale prácticamente a cero.

Sin embargo, dado que hay muchos factores en las ED que todavía no conocemos, nadie puede garantizar a ciencia cierta que una inmersión vaya a estar libre por completo del riesgo de ED. En todos los estudios relacionados con el FOP hay buceadores que no presentan este rasgo, y que de todos modos

han padecido una ED «inmerecida». La causa de estos casos de ED está claramente relacionada con otros factores. Es posible que haya otras comunicaciones (puede que a nivel pulmonar) que permitan la entrada de las burbujas en la circulación arterial. Las ED pueden estar motivadas por el bloqueo de las venas por parte de las burbujas en los propios tejidos (como sucede, por ejemplo, con las ED que afectan a la médula espinal, o las de tipo osteoarticular).

Al encontrar el FOP tan sólo aclaramos parte del riesgo. Si no tenemos en cuenta todo lo anterior, resulta obvio que nos enfrentaremos al peligro de una falsa sensación de seguridad: «No tengo FOP, así que puedo arriesgarme más que quien sí lo tenga». Como es evidente, antes o después esta actitud nos causará algún problema serio.

¿PUEDE CERRARSE EL FOP?

Cuando un buceador descubre que tiene FOP, es inevitable que se plantee qué hacer. El cierre del FOP solía ser un procedimiento peligroso, que implicaba cirugía a corazón abierto y el uso de un sistema de circulación extracorporal.

Durante los últimos 15 años se han creado nuevos dispositivos que permiten el cierre del FOP a través de una sencilla técnica de cateterismo, que deja como todo rastro la marca de un pinchazo en la vena inguinal. Los denominados «dispositivos paraguas» se utilizan cada vez más, no sólo en los buceadores, sino principalmente en el caso de personas que hayan sufrido un ictus «idiopático» (de causa desconocida). No resulta sorprendente que muchos buceadores se interesen por la posibilidad de cerrar su FOP para así reducir el riesgo que corren al bucear. ¿Es esto recomendable?

En primer lugar, una vez más no debemos perder de vista los distintos riesgos implicados.

El riesgo de ED en la práctica del buceo recreativo con escafandra dentro de los límites de seguridad es muy bajo, incluso para alguien con FOP. Digamos que es de 1 por cada 10.000 inmersiones.

El riesgo inmediato que supone el procedimiento de cierre no es muy alto, pero se encuentra entre un 0,5 y un 1% (1 por cada 100). Después de todo, se lleva a cabo con anestesia general, es preciso realizar una ecocardiografía transesofágica, hacer una punción y pasar un largo catéter por una vena que llega hasta el corazón. A veces se producen complicaciones al colocar el dispositivo, por ejemplo, dificultades técnicas o una incorrecta ubicación del paraguas. Si bien no son frecuentes las complicaciones mortales o de compromiso vital, lo cierto es que se dan.

En un 5-10% de los casos, después de la intervención hay problemas en el ritmo cardiaco, que a veces deben solucionarse con medicación antiarrítmica prolongada.

Dado que el dispositivo es un cuerpo extraño colocado en el sistema circulatorio, el paciente debe tomar anticoagulantes durante unos 4 o 6 meses, lo que implica que en este periodo existe el riesgo de sufrir hemorragias incontroladas.

Finalmente, nadie sabe con certeza qué sucederá con estos dispositivos de aquí a 20 años, por poner un ejemplo. Después de todo, sólo existen desde hace 15. ¿Degenerarán y producirán un gran agujero en el septo? ¿Migrarán e irrumpirán en la circulación arterial? ¿Producirán nuevas, y posiblemente difíciles de tratar, alteraciones del ritmo cardiaco? No podemos saberlo.

Incluso en el caso del ictus idiopático (con coágulos que atraviesan el FOP y lleguen al cerebro) hay un gran debate entre cardiólogos y neurólogos acerca de si es preciso tomarse la molestia de cerrar el FOP. Parece ser que una simple y pequeña dosis de aspirina resulta casi igual de eficaz, y nos evita todos los demás riesgos y efectos secundarios.

El que una actividad recreativa como el buceo con escafandra justifique tales riesgos (por no hablar del coste económico) puede ser también tema de intenso debate. Después de todo, podemos dar un con-

sejo más que sensato: practicar el buceo en perfiles seguros y sin descompresión y olvidarse de todo lo demás. Los buzos profesionales que deban enfrentarse a grandes riesgos de descompresión para ganarse la vida harán una evaluación distinta de los pros y los contras, pero para el buceador recreativo «normal», lo más probable es que no merezca la pena.

EL ESTUDIO CON DOPPLER CAROTÍDEO DE DAN EUROPE

Si queremos determinar cuál es el verdadero riesgo de bucear con FOP, debemos efectuar un estudio prospectivo, lo que implica el examen de un gran número de buceadores (que han de bucear normalmente durante un periodo de tiempo determinado), reunir los datos (número de inmersiones, número de ED) y comparar el grupo de buzos que presentan FOP con los que no lo tienen. Estadísticamente hablando, y teniendo en cuenta la media de inmersiones que cada buzo realiza al año y la relativamente baja incidencia de ED, es necesario contar con 4.000 buceadores para realizar el análisis y el seguimiento durante unos 5 años. En esto consiste, ni más ni menos, el «Estudio prospectivo de DAN Europe con Doppler carotídeo sobre el riesgo de bucear con cortocircuito derecha-izquierda (FOP)».

¿Cómo puede saberse si un buceador tiene FOP? Obviamente, el método más fiable es una ecocardiografía, o, incluso mejor, una ecocardiografía transesofágica, un examen no demasiado agradable en el que hay que emplear un costoso equipo que se introduce por la boca hasta el esófago para obtener una imagen del corazón, mientras se inyecta un fluido de contraste en una vena del brazo. Los problemas logísticos de aplicar este tipo de prueba a gran escala son muy grandes. Así pues, DAN Europe Research ha ideado y validado un método mucho más sencillo para averiguar si alguien tiene un cortocircuito derecha-izquierda. Este método se denomina «ultrasonido Doppler carotídeo» y, aunque también implica la inyección en la sangre de un medio de contraste (una solución salina normal), el escáner se efectúa por medio de una simple sonda Doppler que se coloca sobre la piel del cuello (Véase Foto 3). La prueba dura unos 10-15 minutos y, aparte del pinchazo de la aguja, es totalmente indoloro. Por estos motivos es ideal para exámenes a gran escala, aunque los resultados no sean idénticos en el 100% de los casos a la ecocardiografía (para quienes entiendan de estadísticas, tiene una sensibilidad del 100% y una especificidad del 88%). Si se siguen al pie de la letra las reglas de ejecución, resulta fácil obtener un resultado fiable.

Y esto es todo en cuanto al procedimiento de análisis. Como es natural, lo siguiente es encontrar a quién analizar, y aquí es donde ustedes entran en acción. DAN Europe Research ha solicitado (y sigue solicitando) la colaboración de médicos especialistas en medicina del buceo de diferentes países, les ha dado formación acerca de este procedimiento y ha logrado que participen en la realización de las pruebas de forma independiente y en su «territorio». Hasta el momento, hay investigadores trabajando en Bélgica, Suiza, Austria, Alemania, Italia y Sudáfrica, y está previsto contar con la participación de otros países. Cada uno de los investigadores invierte una buena parte de su tiempo en contribuir al avance de los conocimientos acerca del FOP y el riesgo real que plantea para la práctica del buceo, y verdaderamente sería perfecto que los propios buceadores participaran con el mismo entusiasmo en este proyecto.

Para resumir, la hipótesis del estudio es positiva: DAN querría demostrar que el FOP no tiene por qué ser motivo de preocupación para la práctica del buceo en condiciones normales y seguras. Después de todo, estamos convencidos de que éste es en general un deporte muy seguro, y de que el buceo recreativo en particular tiene un margen de seguridad suficiente como para no inquietarse por el FOP.

Es posible que, por razones obvias, no se informe inmediatamente al buzo de los resultados. Será sólo una vez pasados los 5 años del estudio cuando se le comuniquen las conclusiones. Este estudio tiene la aprobación formal del Comité de Ética de DAN Europe, y cuenta además con la calificación de Human Research Protocol (Protocolo de Investigación en Humanos) concedida por los Comités de Ética Biomédica de Bélgica, Sudáfrica, Reino Unido y Austria. Esto implica que los buceadores participantes deben firmar un formulario de consentimiento informado, después de que se les haya dado una explicación completa y satisfactoria del alcance del estudio y los procedimientos que se emplean.

Los resultados se conocerán dentro de unos años, y se divulgarán en revistas científicas, las publicaciones de DAN Europe y en la prensa relacionada con el buceo. Pero antes de que llegue ese momento queda mucho trabajo por hacer. Los buceadores que quieran participar pueden ponerse en contacto con uno de los investigadores del área en la que se encuentre. Si no hubiera ninguno en activo cerca, no desespere, cada año nuevos investigadores reciben la formación necesaria para sumarse al proyecto, así que sólo tiene que visitar con regularidad la página web de DAN Europe, en el apartado de investigación.

FOP Y BUCEO: LO QUE HAY QUE SABER

Después de todo lo dicho, ¿qué conclusión podemos sacar de las actuales investigaciones sobre el FOP? En primer lugar, no hay que dejarse llevar por el pánico.

El FOP es una posible causa del paso de las burbujas de nitrógeno después de una inmersión, incluso si estamos dentro de los límites sin descompresión (pero cerca de ella). En algunas circunstancias esto puede dar lugar a lo que denominamos una ED «inmerecida».

Sin embargo, las posibilidades de sufrir una ED son tan reducidas en el buceo recreativo, si lo practicamos de forma segura, que aunque tengamos FOP (y queremos recordar que ése es el caso del 25-30% de los buceadores) el riesgo sigue siendo lo suficientemente pequeño como para que no haya que preocuparse.

Probablemente, el cierre del FOP en un buceador que nunca haya padecido una ED y que no supere los límites del buceo recreativo seguro resulta una medida absurda. En el caso de quienes sí haya experimentado una ED, puede hacerse una evaluación individual, si bien la mayoría de las veces los riesgos e imprevistos del procedimiento pesarían más que los posibles beneficios (si los hubiera).

De hecho, tendríamos que llevar el debate a otro nivel. Los buceadores han de ser mucho más conscientes de que, de momento, no hay absolutamente ningún ordenador ni tabla de buceo que pueda simular de manera perfecta la fisiología de la descompresión en cada caso individual. Por lo tanto, aunque en los algoritmos se haya calculado un amplio margen de seguridad, los ordenadores no pueden ni podrán jamás prevenir por completo la aparición de una ED, y es más prudente no creer a ciegas en todo lo que nos dice nuestro ordenador de buceo, ni apurar los límites que él o las tablas nos marquen. En otras palabras, mantengámonos siempre dentro de los límites sin descompresión y sigamos todas las demás reglas de seguridad que tan bien conocemos: no abusar del buceo después de un periodo prolongado de inactividad, no hacer perfiles invertidos, hacer siempre una parada de seguridad al final de la inmersión, etc. O mejor aún, podemos usar nitrox como mezcla respiratoria (pero asegurándonos bien de dejar el ordenador en modo «aire» y de seguir las mismas reglas), así reduciremos el riesgo de ED de una forma mucho más eficaz que preocupándonos por el FOP.

Actualmente, DAN Europe está investigando otros modos de seguir reduciendo la presencia de burbu-

jas de nitrógeno después de la inmersión, como es el caso de la parada en profundidad, así que no deje de mantenerse informado sobre éste u otros futuros proyectos de investigación.

Página 11:

Figura 1. Anatomía del foramen oval permeable.

Figura 2. Ecocardiografía transesofágica.

Página 12:

Figura 3. Examen con Doppler carotídeo.

EL LABORATORIO DAN EUROPE

de Investigación sobre Fisiología del Buceo, en Bruselas, y los principales resultados de sus proyectos



Dr. Costantino Balestra, Vicepresidente de DAN Europe Research and Education, Director de DAN Europe BeNeLux

Ecografía

Las actuales investigaciones sobre fisiología del buceo empiezan a centrarse en nuevos modos de estudiar a los buceadores sobre el terreno.

Hasta el día de hoy, el Doppler era, y sigue siendo, el método más utilizado para detectar embolismos gaseosos en las venas después de una inmersión. Por este motivo, se estableció una gradación de los sonidos Doppler de acuerdo con varios sistemas, aunque todos ellos con la misma limitación: no son lineales, es decir, un grado 2 no corresponde al doble de burbujas que el grado 1, lo que impide realizar cálculos de alto nivel o con capacidad de predicción estadística. Así pues, había que encontrar una manera de que las gradaciones de burbujas fueran lineales, que se pudieran «contar».

Esto puede lograrse con un ecógrafo (Brubakk et al., 2005). Como es evidente, se trata de un equipo costoso y que se encuentra fundamentalmente en hospitales, por lo que no resultaba sencillo utilizarlo con los buceadores, ya que el margen de tiempo necesario para detectar las burbujas circulantes era incompatible con el traslado del individuo hasta un hospital donde se le pudiera someter a una ecocardiografía con el fin de visualizar las burbujas (Bousuges et al., 1998; Bousuges et al., 1999; Carturan et al., 2000; Carturan et al., 2002).

Las nuevas tecnologías han permitido la fabricación de ecógrafos de tamaño muy reducido y relativamente asequibles que pueden emplearse en la investigación de campo. La capacidad predictiva de estas mediciones resultará muy interesante para el futuro de la seguridad en el buceo. En estos momentos estamos utilizando dos métodos distintos para contar las burbujas: uno automático (con un programa informático propio) y, evidentemente, otro manual. El consenso al que se ha llegado para el proceso de recuento se basa en un mínimo de 10 latidos y se expresa en burbujas por centímetro cuadrado, con la ventana de 1 cm² situada en el ventrículo derecho. Ésta es, de las cuatro cavidades, la que mejor se adapta al recuento de burbujas, ya que la aurícula derecha puede mostrar algunas burbujas «redundantes» que podrían contarse dos veces.

Otra manera interesante de utilizar la ecografía en buceadores es la medición de la dilatación por flujo sanguíneo tras la inmersión. Se ha observado que

las reacciones del endotelio pueden variar después de haber buceado, y se cree que la presencia de burbujas asintomáticas puede afectar al endotelio, que generaría una serie de micropartículas que a su vez serían arrastradas por el torrente circulatorio y producirían reacciones vasculares a distancia, incluso en la circulación arterial. Estas conclusiones tienen un gran interés, ya que no es preciso utilizar la existencia de cortocircuitos, como el foramen oval permeable en el corazón, para explicar los accidentes descompresivos «inmerecidos». De todos modos, para comprender mejor los mecanismos de la descompresión, necesitamos nuevos datos sobre el terreno, ya que el modelo fisiopatológico no es tan sencillo como la dañina burbuja.

Buceo, oxígeno y EPO (eritropoyetina)

Hemos efectuado algunos experimentos con buceadores en apnea, en los que medimos distintos parámetros tras series de 5 inmersiones a una profundidad de 40 metros, efectuadas en un lapso de tiempo de dos horas. Lo que más nos llamó la atención en estas mediciones fue el incremento de los niveles de EPO en dos individuos del grupo de nueve buceadores. Se trataba de una subida tan elevada que resultó clínicamente relevante.

Se cree que el factor básico desencadenante de la producción de EPO es la hipoxia de los tejidos. En el caso de los apneístas, la relevancia de la hipoxia era muy difícil de tener en cuenta, ya que cuando el buceador está en el fondo se encuentra en condiciones de hipoxia y, en el caso de que se diera cierta hipoxia durante el ascenso, el periodo de tiempo sería excesivamente breve y no se correspondería con lo que actualmente se considera como el factor que da lugar a la producción de EPO.

Para comprender este fenómeno, solicitamos a 15 voluntarios que participaran en un estudio controlado, llevado a cabo en un centro hiperbárico. Tenían que venir tres veces, durante 36 horas, y dar muestras de sangre a intervalos de tiempo determinados. En la primera ocasión tan sólo tenían que dar una muestra de sangre para determinar su curva estándar de producción de EPO, ya que, dado que la EPO es una hormona, las variaciones circadianas son significativas. La segunda vez tenían que respirar oxígeno puro durante dos horas y hacer 10 flexiones de piernas cada 10 minutos. Este protocolo se diseñó para ajustarse a la exposición a 5 ata de los buceadores en apnea a 40 metros, con una mezcla de un 20% de oxígeno y un 80% de nitrógeno (aire atmosférico) en los pulmones. Así pues, el respirar oxígeno al 100% era lo que teníamos que hacer a presión atmosférica, y los ejercicios se realizaban para mantener un flujo sanguíneo más o menos constante en todos los tejidos, lo que permitía una mejor desnitrógenación mientras se respiraba el oxígeno. La tercera vez se les sometía a una presión de 2,5 ata en la cámara hiperbárica para observar la respuesta de la EPO.

Los resultados fueron sorprendentes: la exposición a oxígeno normobárico daba lugar a un aumento del 60% de EPO endógena después de 36 horas, mientras que el tratamiento hiperbárico producía una reducción de la EPO endógena (Balestra et al., 2006).

Con estos resultados, obtenidos a raíz de las mediciones para el buceo, revelaban el papel del oxígeno en la producción de EPO en el ser humano. La hemos denominado «paradoja del oxígeno normobárico», y consideramos que se trata de una interesante línea de investigación para el futuro, y no sólo en lo que afecta al ámbito del buceo.

Buceo y sistema linfático

La búsqueda de burbujas extravasculares, o las famosas burbujas «de novo», son para las investigaciones en el campo de la descompresión como el monstruo del Lago Ness: todo el mundo se imagina que puede que haya este tipo de burbujas debido a la descompresión, pero todavía no se ha dado por

bueno ninguna respuesta. Lo que sí se admite es que, en caso de que existan, tienen que ser muy pequeñas.

Volviendo al modelo de la burbuja descompresiva, está generalmente aceptado que, después de su liberación, la burbuja es «recubierta» por múltiples agentes reactivos. ¿Qué sucede entonces si se trata de una burbuja extravascular?

El sistema encargado de las proteínas extravasculares, o de los «objetos no identificados» recubiertos de proteínas, es el sistema linfático. Queríamos saber si los protocolos propuestos actualmente para primeros auxilios con oxígeno tras un accidente de buceo servían también para ayudar al sistema linfático a incrementar la captación de tales «objetos extravasculares». Algunos voluntarios vinieron al laboratorio para que les inyectáramos una mezcla de distintas proteínas a nivel subcutáneo, en el primer espacio interóseo dorsal. Puede hacerse un seguimiento de esas proteínas marcadas por medio de una cámara de rayos gamma en la zona axilar, en la que se encuentran numerosos nódulos linfáticos. Durante el experimento, al sujeto de le administraba oxígeno respirado durante 30 minutos mientras se le observaba con la cámara. A continuación se repetía el mismo experimento, pero sin administrarle oxígeno. La velocidad de captación de proteínas y la cantidad aumentaban considerablemente cuando se respiraba oxígeno, lo que demuestra que los actuales protocolos de primeros auxilios para buceadores resultan beneficiosos incluso en el caso de los pequeños embolismos extravasculares (Balestra et al., 2004b).

Buceo y proteínas de choque térmico

Las proteínas de choque térmico (PCT) son de hecho las mejores «chaperonas» de nuestras células. Después de un estrés inducido en la célula (principalmente ambiental), las proteínas que las componen pueden verse alteradas. Una proteína es una estructura compleja enrollada que puede desenrollarse mediante la aplicación de «estrés» (el calor, por ejemplo). Cuando esto sucede, las PCT están ahí para reparar las proteínas desenrolladas y devolverlas a la forma adecuada.

Se ha demostrado que este mecanismo ayuda a contrarrestar los efectos secundarios de la quimioterapia en el tratamiento del cáncer.

También se ha observado que la presencia de PCT puede tener una función protectora en los buceadores que han sufrido un accidente disbárico.

Además, algunos trabajos apuntan a que una ligera subida de la temperatura del cuerpo podría iniciar la actividad de las PCT en el ser humano. DAN Europe está realizando un estudio sobre cómo un aumento de la temperatura del buceador antes de la inmersión puede influir en la formación de burbujas.

Buceo, vibración y burbujas

Hay algunos informes que nos muestran historias increíbles de peligrosos procedimientos de descompresión tras inmersiones profundas sin síntomas de ED. Muchos de estos «superbuceadores» aseguran tener una «fisiología especial» que les permite afrontar el estrés descompresivo. Algunos incluso declaran que pueden sentir cómo se forman las burbujas en sus venas, y por lo tanto cesan las paradas de seguridad cuando esa sensación desaparece.

También está la pintoresca historia de un buzo veterano que dice estar a salvo de las enfermedades descompresivas gracias a que hace un buen uso de la barca neumática antes de iniciar la inmersión. Según su teoría, los microembolismos que se encuentran en su organismo antes de empezar a bucear desaparecen debido a la vibración...

Así pues, hemos sometido a vibración a varios buceadores voluntarios antes de una inmersión estándar en un entorno controlado. Después de 30 minutos en una placa vibrante, observamos en sus venas una reducción de los embolismos gaseosos tras la inmersión. Medimos también la producción de monóxido

de nitrógeno en el endotelio después del tratamiento, pero no se detectó ningún incremento significativo. Actualmente, estamos elaborando un nuevo protocolo utilizando una nueva herramienta: una esterilla vibrante, en lugar de una placa, lo que quizás podría variar las reacciones del organismo (en especial las vasculares), ya que con este dispositivo las vibraciones son principalmente de tipo axial. Todavía precisamos de muchos datos para comprender cuál es el mecanismo subyacente, así que de momento lo único que podemos decir es que aún es demasiado pronto para recomendar un pretratamiento con vibración para los buceadores.

Termorregulación y buceo

Todo ser humano que se sumerja en agua sabe muy bien lo importante que es mantener una temperatura estable. Hoy en día, la evolución de las técnicas de buceo nos permite permanecer dentro del agua durante más tiempo, siempre que utilicemos los gases respiratorios adecuados o un reciclador de aire, y también permite que un sector de la población más sensible a la hipotermia (como es el caso de los niños) pueda iniciarse en la práctica del buceo (Doubt, 1996; Panchard, 2002).

Una cuestión más peliaguda es la de los embolismos gaseosos venosos que se producen tras la inmersión debido a la temperatura del agua. Según nuestra experiencia en el examen de buceadores con tecnología Doppler, podemos afirmar que existe una relación entre la temperatura de la piel y el grado de burbujas después de haber buceado. Pero, ¿cómo es posible que la temperatura de la piel influya en la cantidad de burbujas? Nuestra hipótesis se basa en el posible papel de la piel como «depósito» de nitrógeno. La piel es el órgano de mayor tamaño de nuestro cuerpo (si exceptuamos el endotelio), y si este tejido tan bien vascularizado puede almacenar una gran cantidad de nitrógeno sería posible establecer un vínculo con el nivel máximo de presencia de burbujas que observamos aproximadamente una hora después de la inmersión.

Estamos realizando un proyecto en el que medimos la temperatura de la piel en varios puntos estratégicos a lo largo de toda la inmersión, y luego seguimos midiendo durante dos horas más para analizar si la variación en la temperatura está conectada con el grado de burbujas medido mediante Doppler.

Buceo, deshidratación y ADB

Siempre se da por sentado que el buceador está deshidratado. Esto puede ser comprensible, si tenemos en cuenta la diuresis de la inmersión, un fenómeno de todos conocido que se da en las piscinas y que, como es evidente, no resulta higiénicamente aceptable.

Cuando estamos inmersos en el agua, la afluencia de sangre venosa al corazón se incrementa, y la aurícula derecha aumenta su diámetro, lo que genera la producción de un determinado péptido, el denominado péptido natriurético auricular, que es liberado en el torrente circulatorio como respuesta al aumento del volumen de la aurícula, fenómeno que el organismo interpreta como un aumento del volumen sanguíneo.

La mejor manera de reducir el volumen de sangre es reducir su contenido de agua, lo que se logra incrementando la secreción de líquido a través de la orina. Este fenómeno se produce debido a la inhibición de las hormonas antidiuréticas por parte de los péptidos natriuréticos auriculares.

De acuerdo con lo expuesto, podemos afirmar que el buceador está deshidratado, al menos según estos parámetros ambientales. Como es evidente, si a esto le añadimos el calor y el sudor de los buceadores durante la actividad previa a la inmersión, la deshidratación está garantizada.

Si revisamos los trabajos científicos al respecto, los datos sobre este fenómeno se refieren exclusivamente a los buceadores accidentados (Boussuges et al., 1996), pero en el caso de los no accidentados los

datos no coinciden. En DAN estamos organizando salidas de buceo en las que medimos distintos parámetros, como el hematocrito (concentración de la sangre), la gravedad específica de la orina (concentración de la orina) y la bioimpedancia del organismo (hidratación extracelular), con el fin de tratar de comprender mejor lo que sucede con los fluidos del buzo durante la inmersión.

Los resultados preliminares sugieren el paso de los tejidos del compartimento extravascular al vascular, para así compensar la pérdida de líquidos resultante de la necesidad de orinar. Este estudio, que sigue en fase de realización, nos ayudará a comprender mejor los accidentes de buceo «inmerecidos», que podrían tener explicación en una sobresaturación de nitrógeno en los tejidos deshidratados.

Buceo y articulación temporomandibular

La articulación temporomandibular es la que más utilizamos en toda nuestra vida. Se trata de una articulación compleja con ligamentos y meniscos, al igual que la de la rodilla. Además de estas peculiaridades, está ligada en su zona posterior a un haz neurovascular que conecta con varios nervios craneales. Esta arquitectura tan especial hace que se produzca un particular estrés durante el avance de las láminas intraarticulares (en la posición con la boca muy abierta).

Un considerable número de buceadores (alrededor del 15%) dicen tener problemas en esta región, o incluso dolores de cabeza, después de haber buceado. DAN elaboró un protocolo de investigación con el objeto de comprender cuáles eran las razones de que se produjera ese dolor. Un grupo de 15 buzos accedió a que les realizáramos un escáner de la región temporomandibular mediante resonancia magnética nuclear. Las pruebas se realizaron con la boca en tres posiciones distintas. La referencia era la posición con la boca cerrada, a continuación, con la boca abierta (con un tubo de plástico de 4 centímetros) y, finalmente, con una boquilla de buceo de tipo estándar.

Los resultados revelaron que en la posición con la boquilla había un desplazamiento hacia adelante de los meniscos comparable a la que se produce con la boca bien abierta. Dicho desplazamiento mostraba una clara tensión del haz neurovascular retrolaminar, lo que evidentemente puede provocar dolores musculares o cefaleas (Balestra et al., 2004a). En el curso de la inmersión, mantenemos la boquilla en la boca durante un periodo prolongado de tiempo, y si tenemos en cuenta que esta posición es similar a la de tener la boca abierta, es comprensible que nos produzca dolor.

De todos modos, necesitamos nuevos datos, por lo que estamos preparando un nuevo protocolo para las boquillas termomoldeadas, con el que queremos realizar un análisis biomecánico de los desplazamientos de la articulación temporomandibular por medio de moldes de la dentadura montados sobre un articulador. Haremos pruebas asimismo con boquillas moldeadas especialmente que se evaluarán en el articulador y luego se darán a los buceadores para comprobar si reducen el dolor.

Buceo y daños cerebrales: el misterio de los «obnis»
Cuando un especialista ve un gran número de puntos blancos en una gammagrafía cerebral, es lógico que se preocupe por el paciente. Estos «obnis» (objetos brillantes no identificados) son áreas similares a lesiones que pueden encontrarse en individuos asintomáticos, además de en buceadores.

Se han publicado varios trabajos en los que se establece una conexión entre el buceo y los obnis. En nuestra opinión, en muchos de estos estudios (como es el caso del de Ginebra, conocido por todos los que trabajamos en este campo) hay un problema con el sesgo de autoselección. Hay muchos buceadores que experimentan algún tipo de enfermedad descompresiva de leve intensidad, ED cerebral o ED transitoria con presencia de unas pocas burbujas,

pero ni siquiera se dan cuenta de ello e incluso lo consideran como un síntoma normal después de la inmersión. Estas personas se animan a participar en un estudio y, como es lógico, se localizan algunos casos de puntos blancos. Luego, por ejemplo, se escriben artículos, como el de Knauth (Knauth et al., 1997), en los que se argumenta que hay una clara conexión entre el FOP y este tipo de hallazgos en el cerebro. En DAN nos propusimos realizar un estudio así para comprobarlo y, por supuesto, procuramos evitar el sesgo de autoselección, de modo que seleccionamos a los buceadores al azar: de un total de 200 voluntarios elegimos a cuatro, después de considerar distintos tipos de lesiones, como podían ser los puntos blancos. A continuación, buscamos también a no buceadores, y nos decantamos por tres individuos. Finalmente, al comparar a estas dos poblaciones, la conclusión era que no había ninguna diferencia. El número de puntos era el mismo. Lo importante en la población de buceadores es que el 56% tenía FOP. Por lo tanto, si el FOP está de verdad relacionado con los puntos encontrados en el cerebro, es obvio que deberíamos haber localizado muchos más que en la otra muestra. En resumidas cuentas, no vemos que la conexión esté tan clara.

De todos modos, seguimos sin saber si los obnis son lesiones, o de si son el resultado de algún problema vascular, por ejemplo trombótico.

El mejor modo de salir de dudas es acudir a la medicina forense, así que procuraremos encontrar voluntarios con otra técnica.

La matemática fractal trata de explicar estructuras y distribuciones espaciales. El denominado método de «recuento de cajas» permite obtener lo que se conoce como dimensión fractal, que no es más que un modo de explicar la complejidad y la distribución. Y esto es precisamente lo que nos interesaba. La principal peculiaridad de los fractales en matemáticas es la autosimilaridad, es decir, lo que procede del mismo patrón tendrá el mismo tipo de distribución, lo que corresponde parcialmente a la teoría del caos, puesto que no se trata de un concepto lineal. Así pues, aplicamos este tipo de análisis a los puntos hallados en los cerebros de los buceadores y comparamos su dimensión fractal con la de imágenes de trombosis evidentes (de no buceadores). A continuación los comparamos también con múltiples puntos escleróticos (no trombóticos), y luego todos los datos se cotejaron con la dimensión fractal del árbol vascular cerebral.

Según el concepto de autosimilaridad fractal, cada punto que se derive del lecho vascular debería tener una dimensión fractal compatible, y, evidentemente, los puntos que no guarden relación con el sistema vascular no presentarán esta compatibilidad.

En cuanto a la angiografía, en los casos de trombosis no se observó ninguna diferencia significativa en la dimensión fractal media, lo que resulta normal. En la esclerosis múltiple sí hay diferencias en la arteriografía entre los episodios isquémicos y la trombosis, como es natural, ya que su origen no es el mismo. Y si consideramos los puntos de los buceadores, también veremos que hay una gran diferencia en el lecho arterial, así que lo cierto es que todavía no estamos seguros de que tales puntos se deban a la presencia de trombos.

De momento, lo único que podemos decir es que no está claro que los buceadores recreativos sufran daños cerebrales, y que no hay ninguna correlación ni vínculo real entre el FOP y este tipo de manchas. (Balestra et al., 2004c)

Buceo en apnea

Actualmente empezamos a comprender muchos más aspectos del buceo a pulmón, especialmente desde que se registraran varias famosas plusmarcas en apnea, como es el caso asombroso de los 209 metros de profundidad alcanzados por Patrick Musimu. Esto servirá para hacernos reflexionar sobre esta modalidad de buceo, ya que los principales problemas que nos planteábamos en el pasado estaban

relacionados fundamentalmente con la hipoxia y la profundidad alcanzada incluso son compatibles con el síndrome nervioso de las altas presiones. Otra vía interesante para estudiar la apnea extrema es la fisiología de la fatiga. Según las pruebas que hemos realizado en apneas de este tipo, parece haber un vínculo entre un fenómeno de control que se da en el mecanismo de la fatiga durante las contracciones musculares y el control central de la respiración. De momento se trata de un descubrimiento reciente y que no se ha estudiado a fondo, aunque resulta un camino interesante que seguir explorando (Duchateau et al., 2002).



POR PRIMERA VEZ EN LA HISTORIA DE LA INVESTIGACIÓN MÉDICA SOBRE EL BUCEO RECREATIVO, UN LABORATORIO UNIVERSITARIO AVANZADO DE INVESTIGACIONES FISIOLÓGICAS TRABAJA «SOBRE EL TERRENO» EN EL ESTUDIO DE INMERSIONES REPETITIVAS, RECREATIVAS SIN LÍMITES Y TÉCNICAS CON EL FIN DE AMPLIAR LOS CONOCIMIENTOS SOBRE MEDICINA DEL BUCEO Y PREVENIR LOS ACCIDENTES EN EL BUCEO RECREATIVO

Laura Marroni

«Obtener datos relevantes para nuestro proyecto de investigación sobre seguridad en el buceo, hacerlo directamente a partir de inmersiones reales sin límites, y en un número suficiente como para alcanzar trascendencia y validez científica»: éste era el objetivo del equipo de DAN Europe Research que participó en el «Encuentro para la investigación científica sobre buceo extremo y técnico», que tuvo lugar en Tronzano, Lago Maggiore, Italia, el 30 de septiembre y el 1 de octubre de 2006.

La reunión, que contó con la eficaz organización de PTA, la agencia italiana de formación subacuática, implicaba múltiples inmersiones en las aguas del Lago Maggiore, con profundidades que iban de los 40 a los 130 metros.

Los buceadores, todos ellos voluntarios (incluido Nuno Gomes, el plusmarquista mundial de buceo profundo con trimix), accedieron a someterse a una serie de diversas evaluaciones médicas y fisiológicas, así como a una serie de procedimientos no agresivos de análisis fisiológico efectuados por el equipo de DAN Europe Research, tanto antes como después de bucear.

Todas las inmersiones se realizaron según unos perfiles de buceo elegidos libremente y planificados por los propios buceadores, aunque organizados y controlados por PTA con el máximo cuidado y eficacia, tanto desde el punto de vista logístico como de la seguridad.

Página 21:

FOTO1 -FOTO 2

Las tiendas del equipo de investigación de campo de DAN Europe

En palabras de Alessandro Marroni, Presidente de DAN Europe, «Era una oportunidad única que no podíamos dejar pasar. Hemos podido efectuar múltiples y complejas investigaciones sobre fisiología del buceo, en un solo día, con casi 100 buceadores que han realizado inmersiones planeadas con toda libertad a profundidades de hasta 130 msw, con aire comprimido, nitrox, trimix y recicladores.

»En otras condiciones, obtener la misma cantidad de datos y aplicar sobre el terreno todos estos procedimientos de investigación hubiera llevado meses, incluso más tiempo, por no hablar de los costes y dificultades logísticas».

El recopilar una cantidad tan grande de datos fue posible gracias al despliegue de un complejo laboratorio fisiológico de campo, diseñado e integrado por el equipo italo-belga de DAN Europe Research, dirigido por el Dr. Alessandro Marroni y el Dr. Costantino Balestra, Vicepresidente de DAN Europe Research and Education y Director de DAN Europe BeNeLux, con la contribución del equipo de investigación del Instituto de Fisiología Clínica del Instituto Nacional Italiano de Investigación y de la Universidad de Pisa, en Italia, con la que DAN Europe coopera estrechamente en muchos proyectos de investigación sobre el buceo.

Página 21:

FOTO 3 El equipo de DAN Europe Research

FOTO 4 El equipo «Doppler»

«Recopilamos los datos de acuerdo con el procedimiento que empleamos en el Diving Safety Laboratory (DSL)», comenta Massimo Pieri, Coordinador de Obtención de Datos sobre Inmersiones de DAN Europe, «que comprende el uso de cuestionarios específicos, la descarga de perfiles de buceo y la aplicación de tecnología Doppler precordial a todos los buceadores por parte de los Operadores de Investigación de DAN, pertenecientes a los clubes de buceo Sub Novara Laghi y Sub Del Lago.

»Además, también hemos puesto en marcha todo un laboratorio de investigación fisiológica con el fin de comprender mejor cuáles son los riesgos y la fisiología de la descompresión, y para ello realizamos una serie de pruebas, como son la ecografía cardiaca, estudios sobre el intercambio de fluidos, la eliminación de micronúcleos de gas o la respuesta biológica al estrés que supone la descompresión».

Todos los buzos voluntarios se sometieron a los siguientes procedimientos:

- Evaluaciones fisiológicas previas a la inmersión,
- Inmersión,
- Registro Doppler precordial tras la inmersión,
- Repetición de las evaluaciones fisiológicas después de la inmersión.

Para lograr que todo esto fuera posible y transcurriera sin complicaciones, y también para evitar las colas en los puntos de evaluación fisiológica, se dividió a los buceadores en equipos de cuatro personas, y a su vez el laboratorio se organizó en distintos grupos, dependiendo del tipo de prueba que tuvieran que realizar. De este modo, los equipos de buceo podían ir yendo de un grupo a otro con facilidad.

El primer grupo de investigación realizaba las siguientes funciones:

- Registro Doppler,
- Descarga de los perfiles de buceo.

Página 22:

FOTO 5 Registro Doppler tras la inmersión

FOTO 6 Descarga de los perfiles de buceo

El segundo grupo se encargaba de lo siguiente:

- Medición de la impedancia corporal total (una manera de calibrar el intercambio de fluidos entre los tejidos y compartimentos),
- Gravedad específica de la orina (otro modo de controlar el equilibrio de fluidos en el organismo),
- Hematocrito (proporción de células sanguíneas en el plasma, que se ve afectado por el estado de hidratación del individuo).

Página 22:

FOTO 7 Nuno Gomes en el punto de medición de la impedancia corporal total

FOTO 8 Toma de muestras de sangre para medir el hematocrito

El tercer grupo de investigación era el más complejo, y estaba a cargo de:

- Medición combinada ecográfica-pletismográfica de la dilatación por flujo sanguíneo en la arteria humeral (control indirecto del efecto del buceo sobre la producción en el organismo de óxido nítrico y sus variaciones, como consecuencia del estrés descompresivo y del que genera el propio buceo),
- Equilibrio térmico (a través de la medición de la temperatura de la piel después de la inmersión),
- Ecocardiografía tras la inmersión (con el fin de detectar posibles burbujas en el corazón).

Página 22:

FOTO 9 Evaluación de la dilatación por flujo sanguíneo

FOTO 10 Medición de la temperatura de la piel

El cuarto grupo consistía en un laboratorio móvil, que llegó al punto de buceo directamente desde Alemania y estaba equipado especialmente para aplicar dos originales procedimientos antes de iniciarse la inmersión:

- Aplicación de vibración en todo el cuerpo, con el objeto de estudiar la posibilidad de que el organismo se libere de todos los micronúcleos de gas preexistentes, lo que optimizaría la descompresión y reduciría al mínimo las burbujas circulantes después de la inmersión),
- Calentamiento total del cuerpo, con el fin de estimular la producción endógena de proteínas de choque térmico (PCT), que resguardan a las células que probablemente protegen a los tejidos de las lesiones descompresivas.

Página 22:

FOTO 11 - FOTO 12 - FOTO 13

El laboratorio móvil, con las colchonetas vibratorias y la cabina de infrarrojos para aumentar la temperatura corporal

Finalmente, un quinto grupo especial trabajaba bajo el agua realizando investigaciones innovadoras con instrumentación experimental.

Este grupo estaba integrado por un pequeño grupo de buceadores preseleccionados, todos ellos miembros del equipo de DAN Research, que se encargaban de lo siguiente:

- Control metabólico y evaluación de la función cardiorrespiratoria mediante medición subacuática en tiempo real del consumo de oxígeno y la producción de dióxido de carbono en el buceo con reciclador de aire, utilizando un original medidor estanco del gas metabólico,
- Ecocardiografía transtorácica durante la fase de descompresión en las inmersiones con aire comprimido, por medio de un ecocardiógrafo especialmente adaptado e insertado en una caja estanca diseñada al efecto (4 ata máximo). Los buzos llevaban un traje húmedo adaptado, con una ventana en el tórax que podía abrirse para permitir la colocación de la sonda de ultrasonido.

Todo este equipo tan exclusivo y especial fue diseñado y fabricado en el Instituto de Fisiología Clínica (IFC) del Instituto Nacional de Investigación, en Pisa, Italia, y fue concebido en origen para la investigación de la respuesta cardiaca al buceo en apnea. Más recientemente, este equipo también se ha estado utilizando para evaluar la respuesta cardiaca al buceo y al estrés descompresivo, y su principal interés radica en que permite visualizar directamente las posibles burbujas durante el ascenso y en la fase de descompresión de la inmersión. Desde el IFC de Pisa vino un equipo especial de investigación para probar el ecocardiógrafo sumergible, de conformidad con el acuerdo de cooperación científica entre DAN y el propio IFC.

Página 23:

FOTO 14 Lanzamiento del ecocardiógrafo sumergible

FOTO 15 El ecocardiógrafo en su caja estanca

FOTO 16 El traje húmedo especialmente diseñado para la ecografía subacuática

Como cierre de las actividades, el 1 de octubre se celebró una conferencia en Luino, Italia, en la que los investigadores de DAN Alessandro Marroni, Costantino Balestra, Mario Giuseppe Leonardi y Corrado Bonuccelli explicaron con mayor detalle los motivos por los cuales se habían llevado a cabo los experimentos del día anterior. Además, comunicaron los principales resultados de las investigaciones de DAN Europe sobre la seguridad en el buceo.

«Ha sido un día largo y cansado», afirmó el Dr. Marroni, «pero, gracias a la eficiencia y dedicación del equipo de investigadores de DAN y al entusiasmo de los buceadores voluntarios, todo ha salido a la perfección y los resultados obtenidos van mucho más allá de lo esperado. La cantidad y la calidad de los datos que hemos obtenido es más que sorprendente. En principio, nuestra intención y nuestro objetivo eran evaluar la posibilidad de realizar "sobre el terreno" una investigación fisiológica de alto nivel, algo que normalmente sólo se hace en laboratorios académicos de prestigio. Nos hubiéramos sentido satisfechos con sólo saber que esto era posible. Pero al final del día, nos dimos cuenta de que no solamente es factible llevar a cabo una investigación compleja y avanzada como ésta "sobre el terreno" y con grandes grupos de buceadores, sino que también nos ha complacido comprobar que los datos recabados han sido muchos y muy buenos, y totalmente interpretables desde el punto de vista científico. Esto confirma la validez de la metodología empleada en la investigación de campo, y que DAN ha ideado y llevado a la práctica, además de la gran capacidad y competencia de cada uno de los miembros del equipo de DAN Research. Ahora empieza el proceso de análisis de los datos, y los resultados se publicarán próximamente en revistas científicas y en la revista Alert Diver, publicada por DAN Europe, así como en su página web (www.daneurope.org).»

Datos de la investigación:

- 93 buceadores (45 metros - EAN 29: 13 buzos; 45 metros - aire: 10; 60 metros - aire: 38; 70 metros - trimix: 4; 80 metros - trimix: 5; 90 metros - trimix: 2; 100 metros - trimix: 4; 110 metros - trimix: 4; 120 metros - trimix: 4; 130 metros - trimix: 4. UW Ecocardiografía: 3; pruebas metabólicas en buceo con reciclador: 2);
- 93 perfiles de buceo descargados;
- 93 cuestionarios previos y posteriores a la inmersión;
- 97 registros Doppler;
- 440 evaluaciones fisiológicas.

Laura Marroni



Beste DAN Europe Leden,

Zoals je kunt opmaken uit de omslag en de titels, is dit nummer van "jouw Duikveiligheid Tijdschrift" geheel gewijd

aan zowel Dan Europe Research, dat zijn 12de verjaardag viert, als aan haar fantastische en ontzettend lonende resultaten.

In deze tijd heeft het DAN Europe Research Team vele, en belangrijke, fysiologische, duikgeneeskundige en duikveiligheid researchprojecten opgezet, waarvan sommige resultaten opleverden die het nu mogelijk maken bepaalde aspecten en procedures van het sportduiken te herzien. In deze periode heeft het DAN Research Team 78 wetenschappelijke artikelen geproduceerd die gepresenteerd zijn op Internationale Duikgeneeskunde Conferenties en gepubliceerd zijn in Internationale Wetenschappelijke tijdschriften, Boeken en Verslagen.

Veel van de DAN Europe researchprojecten hebben resultaten geboekt die nu een referentie vormen voor de duikmedische en wetenschappelijke gemeenschap.

De researchmethode die DAN Europe vanaf het eerste begin volgde, werd door veel onderzoekers als onconventioneel beschouwd; zij dachten dat wetenschappelijk onderzoek alleen door gekwalificeerde academische onderzoekers in goed toegeruste laboratoria uitgevoerd zou moeten worden en alleen met behulp van goed opgeleide en vaardige assistenten.

Hoewel dit waar is, is de andere kant dat duikgeneeskundige onderzoekers, net als duikartsen, een zeldzame soort zijn en dat gekwalificeerde duikresearchassistenten zelfs nog zeldzamer zijn.

Het gevolg hiervan is dat maar al te vaak duikprocedures, vooral die betreffende de veiligheid van decompressie, gebaseerd zijn op meningen (veel en uiteenlopend), afgeleid van extra- of intraplaties van een beperkte hoeveelheid wetenschappelijke observaties.

De huidige, inherente onzekerheid betreffende de inschatting van het DCZ risico is het gevolg van beperkte gegevens; we begrijpen decompressie niet voldoende omdat we niet voldoende gegevens hebben, maar oplossingen moeten gebaseerd zijn op gegevens.

De meeste decompressiemodellen inter- of extrapoleren ontbrekende gegevens, maar vervangen ze niet.

Om voldoende gegevens te hebben moet het onderzoek naar het veld verplaatst worden waar echte duiken gemaakt worden en waar echte duikers zijn, in tegenstelling tot beperkt te blijven tot een laboratorium en te werken met zeer beperkte hoeveelheden gegevens, zelfs als die van de best mogelijke kwaliteit zijn.

Reële oplossingen kunnen slechts voortkomen uit extreem grote hoeveelheden gegevens, duiken en observaties m.b.t. de werkelijke duikwereld en haar vele facetten

Dit was het uitdagende doel van DAN Europe toen er een begin werd gemaakt met het project Safe Dive en het Diving Safety Laboratory.

De verandering? Duikers erbij betrekken en hun actief laten deelnemen aan Research. Duikers omvormen tot "Researchduikers" in staat om efficiënt en precies hun duiken vast te leggen, volgens een epidemiologisch en wetenschappelijk correcte methodologie en om de resultaten naar een centrale database te zenden waar uiteindelijk de wetenschappelijke analyse van honderdduizenden echte duiken, verzameld op een uniforme wijze, zou worden uitgevoerd.

Dit is ons gelukt en we kunnen nu rekenen op

een wereldwijde database met meer dan tweehonderdduizend duiken, die nog steeds groeit en ongekende mogelijkheden opent voor een epidemiologische en statistische analyse van de vele aspecten van duikveiligheid, variërend van het gedrag en de conditie van de duiker tot de veiligheid van de decompressieprocedures.

Nog een belangrijke verandering in de DAN Europe benadering van "duikresearch door en voor duikers"? Het feit dat we geloofden dat Duikers in feite veel meer konden dan alleen maar hun duiken vastleggen en de gegevens ervan naar een database sturen: we geloofden in Duikers, in hun bewustzijn, in hun zucht naar kennis, in hun zorg voor veiligheid en in hun vaardigheden.

We geloofden dat Duikers veel meer konden dan eenvoudigweg hun duiken in hun logboek opschrijven, maar dat ze ook wetenschappelijk significante data konden vastleggen als ze voldoende sturing kregen door b.v. het invullen van eenvoudige maar wel complete vragenlijsten en dat ze zelfs complexe taken konden uitvoeren, zoals het vastleggen van belangrijke fysiologische signalen, zoals met de Ultrasound Doppler Recording van circulerende gasbellen, om maar iets te noemen.

We hebben speciale technieken ontwikkeld om de duikers te trainen zulke signalen correct te verzamelen en de noodzakelijke procedures voor het verzamelen, vastleggen en verzenden van de benodigde data uit te voeren. En het is ons gelukt!

Het uiteindelijke doel, in feite al een resultaat dat belangrijke data oplevert? We hebben nu een belangrijke, duikrisico analyse databank, die gaat dienen als het platform en het instrument voor toekomstige bevindingen, speciale researchprojectresultaten en verschillende typologieën van duikprofielen

Eindelijk eenduidige feiten en geen meningen betreffende de veiligheid van het duiken.

Ik ben hier trots op en ben jullie allemaal, Duikers en DAN Europe leden, dankbaar voor jullie voortdurende steun aan "jullie" duikveiligheidsorganisatie en voor de vele duiken die zo velen van jullie al aan Research "geschonken" hebben.

Veiligheid is gebaseerd op correcte en onbevooroordeelde informatie: research verschaft de data waarop correcte informatie gebaseerd kan worden. Blijf het Duik Research steunen, wees een actieve speler in het vorm geven van de toekomst van Duikveiligheid!

Helder Water voor jullie allemaal!

*Alessandro Marroni,
President, DAN Europe*

De geschiedenis van het DAN Europe Diving Safety Laboratory



Door Dr Ramiro Cali Corleo, DAN Europe Vice President, Directeur DAN Europe Engels Taalgebied

Het DAN Europe researchproject DSL (Diving

Safety Laboratory) werd gestart toen, tijdens de jaarlijkse European Conference over duiken en hyperbare geneeskunde gehouden in Noorwegen dat jaar door de European Underwater Baromedical Society, Dr. Alessandro Marroni en Dr. Iro Cali-Corleo hun koppen bij elkaar staken en nadachten over een researchproject waarbij voor de eerste keer duikers en duikinstructeurs actief betrokken zouden worden.

Dit project werd Safe Dive genoemd en was bedoeld om voor de eerste keer op een systematische manier en op grote schaal te kijken naar de manier waarop Europe duikers duiken, hoe fit ze denken te zijn en eventuele problemen voortvloeiend uit die duiken. Vreemd genoeg was de zusterorganisatie van Dan Europe, DAN America, onafhankelijk op hetzelfde idee gekomen om wetenschappelijk naar echte, recreatieve duiken te kijken.

Safe Dive werd direct als een ambitieus project opgezet, met het doel een miljoen sportduiken vast te leggen. Tot dit aantal werd besloten na overweging van het percentage van gerapporteerde, duikgerelateerde incidenten en het daaruit voortvloeiend aantal duiken dat nodig was om een voldoende aantal ongelukken vast te kunnen leggen om een wetenschappelijk valide resultaat op te leveren. Het onderzoek zal uiteindelijk zo nuttig zijn voor de duiker om zijn / haar risico om te gaan duiken te beoordelen.

De wetenschappelijke methode die gekozen werd was een observatiemethode waarbij een speciaal opgeleide duiker of instructeur, RFO (Research Field Operator) genaamd, het duikpatroon van een kleine groep duikers vastlegt en een accuraat rapport bijhoudt van de gezondheidstoestand van de duiker en zijn motivatie voor de duik, van de duik zelf en de eventuele medische gevolgen ervan. De RFO zou ook voor en na de duik een Doppler opname van de precordiale hartgeluiden opnemen om eventuele belletjes geproduceerd door de duik en aanwezig in de circulatie, vast te leggen om later geïdentificeerd te kunnen worden.

Er werd een specifiek Doppler apparaat ontwikkeld voor gebruik door de RFO en een leer methode waardoor de duiker of de instructeur het apparaat kon leren gebruiken, hoe het correcte geluid geïdentificeerd kan worden (door zijn muzikale patroon te identificeren) en wanneer de opname gemaakt moet worden. De eerste apparaten met een standaard Doppler en een bandrecorder werden te delicaat voor veldgebruik gevonden en werden dus aangepast via een aantal versies tot de huidige vorm waarbij een robuust, waterdicht Dopplerapparaat, normaliter gebruikt voor onderwater geboortes, wordt aangesloten op een digitale recorder die een goed signaal voor analyse produceert en een lang leven beschoren is.

De duiken werden ook vastgelegd door een speciaal aangepaste computer geschonken door een duikcomputerfabrikant die geen data op zijn scherm laat zien (anders dan het woord DAN) en daarom de duiker niet beïnvloedt om zijn of haar normale duikpatroon te veranderen. Deze computers werden vervolgens gedownload naar een pc en gaven een accurate opname van de duikprofielen van de vastgelegde duiken.

Safe Dive werd gestart met een speciale duiktrip in Malta waar de vrijwillige deelnemers van een duikweek genoten terwijl ze ook theoretische en praktijksessies in het veld volgden. Het was fijn om te zien dat de 30+ cursisten allemaal als RFO slaagden en sinds die tijd is er in de loop der jaren een aantal andere cursussen gehouden, meestal samen met een duiktrip.

Bijzonder waren de trips die gehouden werden op het duikschip MV Duda in de Maltese en Italiaanse wateren, de Rode Zee in Egypte, Oban in Schotland, Elba in Italië en Istrië in Kroatië. Ze

waren allemaal zeer succesvol en produceerden een aantal efficiënte, enthousiaste en actieve RFO's.

In 1999 werd er een formeel samenwerkingsverband met Uwatec aangegaan en die leidde tot het opschalen van Project Safe Dive tot DSL, Diving Safety Laboratory. Daarbij werd de omvang van het onderzoek vergroot door het vastleggen van specifieke duikprofielen die uitgevoerd werden in specifieke recokamers met het doel duikprofielen en decompressiepatronen te produceren met minimale en afwezige bellenproductie.

Duiker- en instructeurdeelname werden ook aangepast met het opschalen van de getrainde RFO tot RT (Research Technician), met een nieuw, actief deelnemersniveau, de RO (Research Operator) waarbij de RO de duikprofielen vastlegt, maar geen Doppleropnames maakt. Tot nu toe zijn er 39.000 duiken vastgelegd en hiervan zijn er over de 10.000 ook door RFO's/RT's gedopplerd.

DSL heeft opnieuw een verandering ondergaan aan het eind van het samenwerkingsverband met de computerfabrikant, waarna er een aantal verschillende apparaten voor het vastleggen van duikprofielen en duikcomputers werd gebruikt en de vastgelegde duikprofielen werden gedownload en opgenomen in research database.

DSL omvat nu ook onderzoek naar andere factoren die het duiken beïnvloeden, zoals het PFO, biochemische en cellululaire factoren.

Hoewel DSL haar resultatendatabase nog steeds verder uitbouwt heeft het al geresulteerd in researchpublicaties die van invloed zijn geweest op duikpatronen, zoals bv de diepe stop.

DSL gaat door dankzij de steun van de duikers zelf en het toegewijde team van onderzoekers.

DSL: Dare forma al futuro della Ricerca Medica Subacquea e della Sicurezza



Door Massimo Pieri, Diving Safety Laboratory Data Collection Coordinator, en Marzia Ferrone, DSL Research Operator

Sinds 1999 toen het DAN Europe permanente researchlaboratorium werd gestart, DSL (Diving Safety Laboratory) genaamd, zijn de resultaten die met het onderzoeksprogramma zijn bereikt veel belovend geweest. Dit is, samen met de niet onbelangrijke 39.000 plus verzamelde en volledig vastgelegde duiken, vooral te danken aan de enthousiaste deelname van de DAN Europe Research Operators die onvermoeibaar door Europa zijn gereisd en deel hebben genomen aan allerlei Duikevenementen. Maar ook aan alle Sportduikers die enthousiast hun duiken aan de DSL hebben "geschonken" samen met een paar hartslagen aan de DAN Europe Doppler probes om eventuele circulerende gasbellen te hun duik vast te leggen.

De recente ontwikkelingen van de DSL en de groeiende en steeds hechter wordende samen-

werking met DAN America en DAN Southern Africa leidden tot verdere en opwindende ontwikkelingen. Een begin ervan was een ad-hoc studie om het effect van verschillende stijgprofielen, stijgsnelheden en stops tijdens de opstijging vast te leggen na vooraf vastgestelde duikprofielen die ruim binnen de normale moderne, recreatieve Nultijdenduiden lagen.

Bij dit onderzoek stemde een aantal vrijwillige duikers van een paar Italiaanse duikclubs (Sub Ravenna Initially en daarna Sub Novara Laghi en Sub Del Lago) in met het herhalen van dezelfde duik van 25 minuten op 25 meter met verschillende stijgprofielen, stijgsnelheden en stops tijdens de opstijging.

Dit onderzoek, een in-depth en tot nu niet eerder uitgevoerd veldonderzoek naar het effect van verschillende modaliteiten bij het sportduiken, heeft al belangrijke resultaten opgeleverd, waardoor er een begin gemaakt kon worden met het opnieuw opstellen van stijgprocedures en een veiligere en betere "Decompressiezuinigheid".

Dit onderzoek - bijgenaamd "MarBen" door het DAN Researchteam naar de twee wetenschappers die het ontwikkeld hebben: Professor Marro ni en Professor Bennett - gaat door. Er worden momenteel vele andere duikmodaliteiten onderzocht, zoals Omgekeerde profielen, Ondiep-naar-Diep Profielen, Duiken met Nitrox met luchtijden en met Nitroxtiden, waarbij het verschil in circulerende bellenproductie wordt vastgelegd, om er maar een paar te noemen. Al deze profielen vertegenwoordigen wat er dagelijks in de echte duikwereld gebeurt en de DSL vrijwilligers passen eenvoudigweg de DSL methode van data verzamelen en researchmethodes toe op de duiken die ze gewoonlijk maken. Deze unieke combinatie van gezonde researchmethodologie en normale, recreatieve duiken maken een niet eerder vertoende vergaring van significante duikdata mogelijk, in aantallen die al ver uitstijgen boven iedere duikreeks die tot nu toe gebruikt werd om huidige duikprocedures en decompressie algoritmes te valideren.

In deze belangrijke Research Actie verdienen de duikers van de "Sub Novara Laghi" Dive Club (Omegna, Italië) een special "dank je wel", voor hun bijna ongelooftelijke toewijding, volhardendheid en enthousiasme en voor het produceren van meer dan 1000 volledig vastgelegde duikprofielen, van ongelimiteerde duiken tot "MarBen" profielen.

Na het evalueren van de eerste resultaten van de gecombineerde researchinspanningen van alle vrijwillige duikers en van het DAN Europe Research Team, zijn we ons er volledig van bewust dat significante resultaten alleen bereikt kunnen worden door de deelname van steeds meer duikers en door het verzamelen en wetenschappelijk evalueren van honderd duizenden recreatieve duiken. En dit is nu ons uitdagende maar haalbare doel. Dit kan slechts bereikt worden met de hulp en steun van de sportduikgemeenschap en dmv alle duiken die ze DAN Research kunnen en willen "schenken".

Om dit gemakkelijker en eenvoudiger te maken heeft DAN Europe een specifieke software geïmplementeerd, "Immersioni" (Duiken) genaamd en ontwikkeld door Mario Giuseppe Leonardi.

"Immersioni" is na registratie en gratis verkrijgbaar voor iedere duiker die het wil downloaden en gebruiken. De software is een geweldig instrument om je duiken te registreren en werkt als een krachtig en multifunctioneel Duiklogboek, maar het heeft ook extra en wetenschappelijk verantwoorde functies:

- direct downloaden van duikprofielen vanaf vrijwel iedere bestaande duik- en decompressiesoftware,

- aanvulling van wetenschappelijk relevante aantekeningen en het invullen van specifieke, epide-

- miologische vragenlijsten ontwikkeld door DAN, - opnemen van Doppler signalen
- direct uploading van alle opgetekende data naar de DAN Europe Central Server, waar ze statistisch bestudeerd kunnen worden.

(Voor meer informatie e-mail: dsldcc@daneurope.org).

Alle Duikers en alle DAN Europe Leden worden uitgenodigd "Immersioni" te downloaden (is binnenkort verkrijgbaar in een meertalige versie, beginnend met Italiaans, Engels en Frans) om te gebruiken als hun Logboek en om belangrijke duikdata naar DAN Europe te zenden en mee te doen aan dit bestaande project dat meehelpt aan het vormen van de toekomst van de Veiligheid van het Sportduiken.

Julie worden allemaal uitgenodigd om DAN Europe Research Duiker te worden!

Duikers kunnen een actieve rol spelen in de zoektocht naar veiliger en beter duiken. Sta aan de frontlijn van Duikveiligheid Research! Doe mee met het DAN Europe Diving Safety Laboratory en wordt a DAN Research Diver!



De MANIER WAAROP WE OPSTIJGEN

HET DAN EUROPE ONDERZOEK NAAR DE VEILIGHEID VAN OPSTIJGEN EN DE EFFECTEN VAN DIEPE STOPS.

Door Dr Frans J Cronjé, President DAN Southern Africa, Lid van de Raad van Commissarissen, DAN Europe

Als achtergrond / er zijn twee grote categorieën bij de studie van sportduikgeneeskunde en research: niet/bel gerelateerde en belgerelateerde zaken. Dan houdt zich hiermee bezig dmv twee breed opgezette, internationale studies: respectievelijk Project Dive Exploration en Dive Safety Laboratory.

Voor wat betreft belgerelateerde problemen houden we ons hier bezig met decompressie en haar fysieke en pathologische implicaties. De enige manier om een dergelijk complex proces van gasopname en -uitwassing in het menselijk lichaam te beschrijven is door het te generaliseren en te benaderen dmv mathematische formules of modellen. Men moet zich echter realiseren dat dit onvermijdelijk betekend dat zaken oversimplificeerd worden, gebaseerd zijn op theoretische concepten, en dat deze niet noodzakelijkerwijs weergeven wat er in het lichaam gebeurt.

Wat decompressiealgoritmes proberen te bereiken is het terugbrengen van een ingewikkelde gasuitwisseling tot vijf primaire concepten: (1) we absorberen inert gas bij een verhoogde omgevingsdruk; (2) we wassen inert gas uit als de omgevingsdruk omlaag gaat - maar langzamer; (3) als gasdrukken in het weefsel hoger worden dan de omgevingsdruk bestaat er een oververzadiging; (4) op een bepaald punt zal oververzadiging belformatie tot gevolg hebben; (5) in een bepaald stadium kunnen bellen symptomen of verwondingen veroorzaken.

Zoals de meeste van jullie weten, bevatten decompressiemodellen zogenaamde langzame en snelle weefsels of compartimenten. Dit betekent dat sommige hypothetische gebieden meer stikstof opnemen dan andere. Snelle weefsels hebben meer de neiging oververzadigd te raken

tijdens een typische recreatieve duik.

In 1908 bedacht John Scott Haldane het beroemde twee op één principe om decompressieveranderingen te vermijden. In de loop der tijd is echter het 2 op 1 concept aangepast omdat duikers ongestraft doken met meer oververzadiging in de snelle weefsels. Dit leidde tot stijgregels met grotere oververzadiging in het bijzonder van de snelle weefsels. Dus i.p.v. de algemene 2 op 1 verhouding voor alle weefselcompartimenten werden verhoudingen tot vier op één voor de snelle weefsels als veilig beschouwd. Het dilemma is dat deze benadering het probleem van de decompressieziekte niet opgelost heeft. Zo'n 57,6% van DCZ doet zich voor bij duikers die niets "fout" hebben gedaan. In simplistische termen betekent dit dat het blind volgen van decompressiealgoritmes niet helemaal effectief is.

Dus terug naar de stijgregels: recentelijk worden er weer vraagtekens gezet bij de wijsheid van het toestaan van deze hoge oververzadigingen in de snelle weefsels, daar deze overwegingen geen rekening hielden met de implicaties van grote hoeveelheden gas die zich in de aders na een duik vormen en het biologische effect dat dit op duikers kan hebben. Hoewel de aanwezigheid van deze bellen niet noodzakelijkerwijs betekent dat een duiker automatisch decompressieziekte krijgt, bestaat er een verband tussen de hoeveelheid bellen en de waarschijnlijkheid van symptomen. Bovendien kunnen veneuze bellen door de natuurlijke barrière – het longfilter of bellentrap – heengaan dmv twee mogelijke mechanismen: Ten eerste, een patent foramen (PFO). Onder bepaalde omstandigheden kan deze eenrichtingsklep die bij ongeveer 25% van de duikers voorkomt, opengaan om veneuze gasbellen van de rechter- naar de linkerkant van het hart te laten passeren, waarbij arteriële gasembolisatie veroorzaakt wordt. Ten tweede heeft 15% van de duikers een ineffektieve bellentrap. Dit probleem is volledig onzichtbaar bij een routine medisch onderzoek. Belangrijk is dat, in plaats van duikers op PFO te screenen – of erger nog ze af te keuren voor het duiken – duikers duiken vermijden die leiden tot een hoge veneuze gasbelgraad; hetzelfde voor de pulmonale infiltratie zorg – geen bellen, geen problemen!

Veel subtiele en vervelende symptomen na het duiken zijn moeilijk te verklaren. Er lijken indirecte, biochemische en immunologische effecten gerelateerd aan bellen te zijn. Hoewel deze niet DCZ in de ware betekenis van het woord zijn, zijn deze veranderingen niet zonder implicaties. We weten bijvoorbeeld dat bellen reageren met bloedcomponenten en de voering van bloedvaten beschadigen. Daarop worden stoffen vrijgelaten die ontstekingen bevorderen. De vermoeidheid die na bijzonder diepe duiken optreedt, is wellicht het gevolg van dit fenomeen. Deze variabelen en gevolgen verklaren misschien waarom sommige mensen zonder gevolgen werkelijk agressieve duiken kunnen maken, terwijl anderen onverwacht getroffen worden!

Wat is dus de oplossing van het probleem? Hoe voeren we bellenvrije duiken uit? De oorzaak en het gevolg van bellen kan op drie niveaus bekeken worden: dit is waar de toekomst van het decompressieresearch ligt: (1) een optimale economie van decompressie hanteren – snel maar veilig naar het oppervlak gaan door het hanteren van stijgsnelheid en deco/veiligheidstopstijg combinaties; (2) verminderen en vermijden van vorming en transport van bellen vermijden: en (3) de biologische reactie van het lichaam op bellen die het originele probleem vergroten, te verminderen. Zuinige Decompressie betekent het combineren van druk- en gasgradiënten op een manier die de snelste terugtocht naar het oppervlak mogelijk maakt terwijl overmatige veneuze gasbellen en schadelijke weefseloververzadiging vermeden

worden. Ironisch genoeg lijkt het erop dat Haldanes 2 op 1 concept de geschikte oplossing was maar om een andere reden dan hij dacht. In plaats van in feite kritieke oververzadiging te voorkomen geven Haldanes observaties een hint voor het beste compromis tussen de variabelen van stijgsnelheid en stops bij ondiep duiken. Maar om te verfijnen van Haldane heeft gevonden op het randje van veilige decompressie – d.w.z. waar falen waarschijnlijk DCZ zou betekenen – kijken we nu naar de diepte-tijd grenzen waarvan we eerder aannamen dat ze al veilig waren, maar die dat niet altijd zijn. Van een researchstandpunt levert het wachten op DCZ een praktisch probleem op, want het is inderdaad zeldzaam. PDE en DSL hebben al meer dan 150.000 duiken verzameld gemaakt door ongeveer 15.000 duikers. Er zijn slechts 41 gevallen van DCZ gerapporteerd. Om al de parameters voor veilig duiken te bepalen door het opduiken van DCZ als graadmeter te nemen, hebben we zo'n 100 miljoen duiken nodig. Zelfs dan zullen we nog niet iedere mogelijke combinatie overwogen hebben. Als we dus DCO niet als een indicator voor een verhoogd risico kunnen gebruiken, wat dan wel? Een alternatief is zich richten op het voorkomen van VGE naast het vastleggen van DCO; dit geeft ons de gelegenheid Doppler te gebruiken.

Tussen 1995 en 2006 heeft DAN Europe meer dan 39.000 duiken vastgelegd. Door gebruik te maken van black boxes en obstetrische Dopplers konden we een begin maken met het ontrafelen van de missende stukjes in de decompressiepuzzel.... Recente studies door DAN Europe hebben m.b.v. Doppler scores naar het effect gekeken van verschillende stijgsnelheden en stops na twee 25-meter duiken. Gebaseerd op de uitkomst van deze en andere daarop volgende studies kunnen de volgende voorlopige aanbevelingen gedaan worden:

Voor duiken naar 25 mzw lijkt de beste strategie een Diepe Stop op 15 mzw gedurende 2,5 tot 5 min te zijn (merk op dat 1 min te kort is), gevolgd door een Ondiepe Stop op 3 tot 5 mzw gedurende 3 – 5 min. –het liefst langer dan de diepe stop. De stijgsnelheid die de voorkeur heeft is 10 meter per minuut – noch langzamere noch snellere snelheden lijken effectiever.

Samengevat, "zuinige decompressie" is niet hoeveel tijd je eraan besteed – het is waar je je tijd doorbrengt!



VASTSTELLEN OF ER EEN REËEL GEVAAR OP PFO IS VOOR DE SPORTDUIKER!

Dr. Peter Germonpré, Medical Director, DAN Europe BeNeLux en het Franstalig Gebied
Tegen het eind van de jaren '80 werden er verschillende rapporten gepubliceerd die erop leken te wijzen dat sommige duikers meer kans hadden op neurologische decompressieziekte (DCZ) dan anderen. De aanwezigheid van een conditie "patency van het Foramen Ovale" (PFO) genaamd kwam - volgens deze rapporten - veel vaker voor bij duikers die DCZ hadden gehad

dan bij anderen. De verschillen waren indrukwekkend: ongeveer 66% van duikers met DCZ hadden PFO, terwijl dat in de "controle" groep slechts 20% was.

Patency van het foramen ovale is geen ziekte. In feite heeft een vierde tot dertig procent van alle mensen een PFO. Het is in feite het tegendeel van een zeldzame ziekte maar juist één van de dingen die ons herinneren aan ons leven voor de geboorte. Het is een piepkleine doorgang tussen de rechter- en linkerkant van het hart. Tijdens ons leven in de baarmoeder van onze moeder is deze opening veel groter. Het leidt bijna 80% van het veneuze bloed naar de linker (arteriële) zijde van de circulatie, en slaat daarbij de longen over. Het is duidelijk dat de longen tijdens het foetale leven niet functioneel zijn – ademen zou alleen maar betekenen dat er water in en uit stroomt. Alle zuurstof wordt geleverd door de placenta circulatie en het zuurstofrijke bloed stroomt in de voornaamste centrale ader van het lichaam (de vene cava inferior) en komt aan in de veneuze kant van de rechterharthelft. Daar vandaan gaat het, in plaats van de nogal lange en smalle omweg via de longen, het liefst via de foramen ovale naar de arteriële kant en wordt door de linkerkamer naar de aorta, hersenen en vitale organen geleid.

Herinner je je wat er gebeurde direct nadat je geboren werd? De dokter of vroedvrouw gaf je een harde tik op je billen en je schreeuwde het uit van woede en verontwaardiging, niet waar? Nee, ze waren geen sadisten – dit zorgde ervoor dat je maximaal inademde, waarbij de alveoli van de longen volledig open gingen en je verse lucht aanzoog. Niet alleen maar lucht: ook bloed: de druk in de longslagader daalt dramatisch en veneus bloed wordt letterlijk in de pulmonale bloedsomloop binnen gezogen. Dit zorgt er vervolgens voor dat de druk in de rechterharthelft lager wordt dan die in de linkerhelft en de klepachtige opening die de foramen ovale is, slaat dicht. Binnen een paar uur of dagen verkleeft de klep en is de opening verzegeld – behalve bij 30% van alle mensen waar een kleine, tunnelachtige opening blijft bestaan. PFO's stellen in het gewone leven weinig voor – ze verstoren de inspanningscapaciteit of de algehele gezondheid nooit – maar ze vormen een mogelijke verbinding tussen het veneuze en het arteriële bloed. (zie Figuur 1)

De hypothese achter deze vroege medische rapporten was dat als een duiker bovenkomt en stikstofbellen in het bloed heeft, deze bellen via de foramen ovale naar de arteriële kant van het hart gevoerd kunnen worden en de oorzaak van decompressieziekte kunnen zijn. Daarom wordt PFO gezien als een risico voor decompressieziekte.

DAN Europe heeft al snel het mogelijke probleem met deze hypothese onderkend. Tenslotte heeft ongeveer 25-20% van alle duikers een PFO – en duidelijk hebben niet al deze duikers een onacceptabele kans op DCZ! Men is met een aantal studies begonnen om meer over dit fenomeen en het gevaar dat het oplevert voor de duiker te weten te komen.

In 1998 werd een eerste studie gepubliceerd en bevestigde het feit dat PFO inderdaad de oorzaak van een zogenaamde "onverdiende" DCZ kan zijn. Dit is DCZ na een duik die uitgevoerd is volgens geaccepteerde decompressie "regels" (óf van een duikcomputer ofwel duiktabellen). Door een "gouden standaard" onderzoek uit te voeren (trans-oesofagale echocardiografie, zie Figuur 2) werden duikers die DCZ hadden gehad vergeleken met "identieke" duikers die nooit DCZ hadden gehad. Uit deze studie concludeerde men dat "onverdiende" DCZ met symptomen die wijzen naar hersenen, ogen of oren / vestibulair orgaan als verwondingsplaats

inderdaad in verband stonden met een hogere (tot 80%) aanwezigheid van (groot) PFO. Aan de andere kant leken andere types DCZ (met symptomen van bot- en gewrichtsverwondingen of het lagere ruggenmerg) niet in verband te staan met PFO. De resultaten van deze studie waren belangrijk omdat men nooit moet vergeten dat de oorzaak van DCZ de decompressiebellens is en dat de aanwezigheid van PFO alleen maar een weg biedt voor een kortsluiting met de arteriële circulatie. Niet alle "onverdiende" DCZ staat in verband met de aanwezigheid van PFO, wat betekent dat er andere mechanismen zijn waardoor decompressiebellens "pathologisch" kunnen worden.

Een tweede studie stelde preciezer de omstandigheden vast waaronder de PFO kan opengaan om het veneuze bloed naar de arteriële kant te laten gaan. Door de intrathoracale druk bij vrijwillige duikers te meten, konden we bevestigen dat sommige manoeuvres waarschijnlijk "gevaarlijker" zijn om na een duik uit te voeren dan andere. Voorbeelden zijn: zware gewichten (duikflessen!) optillen, inspannende lichaamsbeweging uitvoeren, lucht blokkeren in de longen en de maag ("induwen" (voorbeelden zijn: jezelf aan boord van een Zodiak duwen, of drukken om jezelf te ontlasten). Naast deze bewegingen zelf is de lengte van de ademhalingsblokkade belangrijk. Een korte verklaring: terwijl de druk in de longen verhoogd wordt, wordt bloed "weg gehouden" buiten de ribbenkast en kan de rechterharthelft niet binnengaan. Na "loslaten" stroomt dit bloed het hart in en verhoogt daarbij tijdelijk de druk op de rechterkant boven die van de linkerkant. Hierdoor kan de PFO een paar seconden open gaan, genoeg voor bloed (en bellens) om te passeren.

Rond deze tijd (1997-1998) begonnen er andere rapporten "te voorschijn" te komen die wezen op een gezondheidsrisico met PFO, zelfs als de duiker nog nooit DCZ gehad had. Door middel van magnetische resonantie scanning van de hersenen vonden deze onderzoekers meer en grotere "witte plekken" in de hersenen bij een groep duikers met PFO dan in duikers zonder PFO. De hypothese was dat zelfs als de bellens die de PFO passeerden geen symptomen van DCZ gaven ze toch in de hersenen werden geëmboliseerd en daar permanente schade konden toebrengen. Onnodig te zeggen dat deze rapporten veel paniek onder de duikers zaaiden.

Opnieuw heeft DAN Europe research geprobeerd vast te stellen of deze veronderstellingen correct waren. Het is tenslotte alom bekend dat bellens die neurologische DCZ kunnen veroorzaken kunnen leiden tot permanente hersenschade. Het is ook bekend dat duikers vaak symptomen van DCZ niet aangeven, zelfs als ze ernstig zijn en minimaal medisch onderzoek en misschien een recompressiebehandeling vereisen (b.v. onverklaarbare duizeligheid en misselijkheid na een duik). Als een duiker dan meerdere van deze episodes heeft gehad kan men argumenteren dat als er "witte plekken" bij de hersenscan worden gevonden, ze het gevolg zijn van DCZ en niet alleen maar van "duiken met PFO". Nogmaals de oorzaak van DCZ is bellens en niet het PFO zelf.

De resultaten van de DAN Europe studie waren echter bemoedigend: 44 ervaren duikers, willekeurig gekozen van een populatie van geschikte vrijwilligers, werden met de meest moderne medische technieken via hersenscan, cardio-echografie en neuropsychologische testen onderzocht. Er konden geen significante verschillen gevonden worden tussen duikers met of zonder PFO, wat suggereert dat er een probleem geweest zou kunnen zijn met de technieken of met de vrijwilligers die in eerdere studies gebruikt waren.

In feite blijkt dat we er zelfs niet zeker van zijn dat de "witte plekken" gezien op de hersenscans van sommige duikers (en incidenteel ook bij niet-duikers vanaf 40 jaar) het gevolg zijn van enige "embolisatie" van de hersenen. Fractale analyse van de hersenscans (nog een DAN Europe Research project) kon meer overeenkomsten vinden met de laesies van immunologische afwijkingen dan met vasculaire problemen. Je kunt je afvragen of deze "unidentified bright objects" (UBO's) echt pathologisch zijn of gewoon een deel van het normale verouderingsproces In ieder geval is het nu duidelijk dat duikers die duiken volgens de DAN veiligheidsregels m.b.t. nultijdendijken en die nooit DCZ hebben gehad niet meer gevaar lopen vanwege dergelijke UBO's!

De controverse bestaat echter nog steeds en veel duikers vragen om een onderzoek naar PFO, hoewel het hoogst waarschijnlijk is dat er helemaal geen noodzaak tot ongerustheid is m.b.t. tot recreatief nultijdendijken. DAN Europe is begonnen met een laatste, zogenaamde "toekomst"studie om het "werkelijke gevaar van duiken met een PFO vast te stellen: de DAN Carotis Doppler Studie.

PFO RISICO EN ROL IN "ONVERDIENDE" DCZ: FEIT OF FICTIE

Het probleem zit hem natuurlijk in dat al deze studies men begint met een groep duikers die een ernstig maar zeldzaam probleem gehad hebben: DCZ. Decompressieziekte komt voor in de orde van grootte van eenmaal op de 10.000 duiken, afhankelijk natuurlijk van het type duik dat gemaakt wordt. Koud water wrakduiken, bijvoorbeeld, heeft een veel hoger risico (ongeveer 1 in 1000), terwijl recreatief nultijdendijken een veel lager risico heeft (ong. 1 in 35.000 volgens de DAN Europe statistieken). Opnieuw, dit hangt geheel af van het aantal decompressiebellens aanwezig in het veneuze bloed van de duiker bij het boven komen!

Daar we weten dat ongeveer 25-30% van alle duikers een mogelijke verbinding heeft tussen de veneuze en arteriële kant van het hart via de PFO, is het niet moeilijk te begrijpen dat onder hen die DCZ hebben er veel zijn met een PFO (in feite ong. 80%). Wat iets moeilijker te begrijpen is, is dat al die andere duikers met een PFO meer duiken hebben gemaakt zonder ooit DCZ gehad te hebben.

Met andere woorden, zelfs als het risico van DCZ laten we zeggen tweemaal zo hoog is als een duiker PFO heeft, is dit risico nog steeds te verwaarlozen als de duiken niet een significant aantal bellens genereren. Dit kan gemakkelijk bereikt worden door zich te houden aan de "veilige" duikbeoefening. In feite zullen veel sportduikers nooit meer dan 1000 duiken in hun leven maken, dus het risico van "een DCZ per 17.5000 is vrijwel een "nul risico".

Maar daar er echter veel factoren zijn in DCZ die we nog niet weten kan niemand een duiker een duik garanderen die helemaal vrij van DCZ gevaar is. In alle PFO gerelateerde studies was er een aantal duiker die een "onverdiende" DCZ hadden zonder dat ze een PFO hadden. De oorzaak van al deze DCZ gevallen heeft duidelijk te maken met andere factoren. Er kunnen andere, mogelijk pulmonale - shunts zijn die bellens in de arteriële circulatie binnenlaten. DCZ kan veroorzaakt worden door een veneuze blokkade door bellens in de weefsels zelf (b.v. ruggenmerg DCZ, osteo-artculaire DCZ ...).

Door naar een PFO te zoeken wordt er slechts een deel van het risico opgehelderd. Als het bovenstaande niet in overweging wordt genomen bestaat er natuurlijk het gevaar dat er een vals gevoel van veiligheid bestaat: "Ik heb geen PFO dus kan ik de grenzen wat verder verleg-

gen dan iemand met een PFO". Deze houding zal natuurlijk vroeger of later tot een ernstig probleem leiden!

KAN DEZE PFO GESLOTEN WORDEN?

Als een duiker "ontdekt" heeft dat hij/zij een PFO heeft, is de volgende vraag onvermijdbaar: "Wat kan er aan gedaan worden?" Het sluiten van een PFO was een gevaarlijke procedure, waarbij de borstkas geopend moest worden via open hartchirurgie met een hart-longmachine.

In de laatste 15 jaar zijn er apparaten ontwikkeld die sluiting van de PFO mogelijk maken d.m.v. een eenvoudige catheterisatietechniek, waarbij het enige "spoor" een prikmondje in de liesader. Deze zogenaamde "paraplutjes" worden steeds meer gebruikt, niet voor duikers maar voor mensen die een "onverklaarbare beroerte" hebben gehad. Het is niet verrassend dat veel duikers vragen naar de mogelijkheid van het sluiten van hun PFO om de risico's van het duiken te verminderen. Hoe zit het ermee en is het aan te raden?

Om te beginnen moeten we naar de verschillende gevaren ervan kijken.

Het gevaar van DCZ tijdens persluchtduiken op een veilige, recreatieve manier, is heel laag, zelfs als je een PFO hebt. Laten we aannemen 1 in de 10.000 duiken.

Het directe gevaar van de sluitingsprocedure is niet erg hoog, maar ligt rond 0,5 tot 1% (1 op 100). Tenslotte wordt de procedure onder algemene narcose uitgevoerd, is er een transoesophagale echocardiografie nodig, is er een punctie en het aanbrengen van een grote catheter in een grote ader nodig die in het hart geschoven wordt. Er doen zich soms complicaties voor bij het plaatsen van het apparaat, zoals technische problemen of een slechte positionering van de paraplu. Hoewel fatale of levensbedreigende complicaties zeldzaam zijn, komen ze wel voor. In ongeveer 5-10% van de gevallen ontstaan er na de procedure problemen met het hartritme, waardoor er soms langdurige anti-aritmie medicatie nodig is.

Daar het apparaat een "vreemd lichaam" is dat in het bloed geplaatst wordt, moet de patiënt gedurende 4-6 maanden een antistollingsmiddel nemen - tijdens deze periode bestaat er een kans op ongecontroleerde bloedingen.

Uiteindelijk weet niemand echt wat er met deze apparaten zal gebeuren over, laten we zeggen 20 jaar. Tenslotte bestaan ze minder dan 15 jaar! Gaan ze degenereren en een groot "gat" veroorzaken in het septum? Gaan ze zwerfen en "vrij komen" in de arteriële circulatie? Zullen ze nieuwe en mogelijk moeilijk behandelbare ritmestoornissen veroorzaken? Niemand kan het zeggen.

Zelfs in de context van "onverklaarbare beroerte" (bloedstolsels die door het PFO gaan en naar de hersenen schieten) bestaat er veel discussie onder cardiologen en neurologen of we wel de moeite moeten doen om het PFO te sluiten. Het lijkt erop dat eenvoudigweg het nemen van een lage dosis aspirine bijna net zo effectief zal zijn, zonder al deze extra risico's en bijwerkingen!

Of een recreatieve activiteit zoals duiken de gevaren (en financiële last!) van het sluiten van PFO kan rechtvaardigen, is zelfs nog meer discutabel. We kunnen tenslotte net zo'n goed advies geven: duik veilige, nultijdprofielen en je loopt net zoveel gevaar als ieder ander! Als je beroepsduiker bent en je loopt grote decompressierisico's voor je werk dan maak je misschien een andere "pro-contra afweging". Maar voor de "normale" sportduiker is het het waarschijnlijk niet waard.

THE DAN EUROPE CAROTIS DOPPLER STUDIE: MEEST RECENTE GEGEVENS

Om het "echte leven"risico van duiken met een

PFO vast te stellen is er een zogenaamde "prospectieve" studie nodig. Dit houdt het testen van een groot aantal duikers in, ze gedurende een bepaalde periode normaal te laten duiken, de gegevens te noteren (aantal duiken, aantal DCZ) en een groep duikers met PFO vergelijken met een groep zonder PFO. Statistisch gezien moeten er, rekening houdend met het gemiddelde aantal duiken die iedere duiker ieder jaar maakt en het relatief weinig voorkomen van DCZ, 4000 duikers getest en gedurende 5 jaar gevolgd worden. Dit is waar het bij de "DAN Europe Carotis Doppler prospective study on the risk of diving with a right-to-left shunt (PFO)" (wauw!) om gaat.

Hoe kun je een duiker testen op PFO? De meest betrouwbare methode is duidelijk een echocardiografie, of nog beter, een "transoesophagale echocardiografie". Dit is een minder plezierig onderzoek waarbij kostbare apparatuur via de mond in de oesophagus wordt ingebracht om het hart visueel te observeren terwijl er wat contrastvloeistof in een ader in de arm wordt ingespoten. De logistieke problemen in de toepassing van dit soort testen op grote schaal zijn onoverkomelijk. Daarom heeft DAN Europe Research een veel eenvoudigere manier ontwikkeld en getest (gevalideerd) om uit te zoeken of iemand een rechts-links shunt heeft. Deze methode wordt de "Carotis Doppler Ultrasound" genoemd en hoewel hierbij ook contrastmiddel ("normale zout"oplossing) in het bloed wordt gespoten, wordt de scanning zelf gedaan d.m.v. een eenvoudige Doppler sonde die op de huid in het nekgebied wordt geplaatst (zie Illustratie 3). De hele test duurt ongeveer 10-15 minuten en is, behalve de prik van de naald, geheel pijnloos. Dit maakt het ideaal voor testen op een grote schaal zelfs als de resultaten niet in 100% van de gevallen identiek zijn met de echocardiografie (voor de statistici onder jullie, het heeft een gevoeligheid van 100% en een specificiteit van 88%). Door zich strikt aan de uitvoeringsstandaard te houden is het gemakkelijke een betrouwbaar reproduceerbaar resultaat te krijgen.

Tot zo ver over de testprocedure – nu het vinden van onderzoekssubjecten! A-ha! Dit is waar jij in beeld komt. DAN Europe Research heeft gezocht (en zoekt nog steeds) de medewerking van duikartsen in diverse landen, heeft ze een formele training in de procedure gegeven en hun medewerking gekregen in het zelfstandig uitvoeren van de testen op hun "thuisbasis". Tot nu toe zijn er onderzoekers actief in België, Zwitserland, Oostenrijk, Duitsland, Italië en Zuid-Afrika. Er zijn meer onderzoekers in andere landen gepland. Iedere onderzoeker besteedt een heleboel tijd aan het helpen vergroten van de kennis over PFO en het echte gevaar bij duiken – zou het niet geweldig zijn als de duikers zelf net zo enthousiast zouden worden om mee te doen aan dit researchproject?

Feitelijk is de "hypothese" van de studie positief: DAN zou graag bewijzen dat PFO geen reden voor ongerustheid is bij een normale, veilig dui-kende populatie. Tenslotte zijn we ervan overtuigd dat duiken in zijn algemeenheid heel veilig is en dat sportduiken in het bijzonder een voldoende veiligheidsmarge heeft om niet bezorgd te zijn over PFO.

De resultaten van de testen kunnen om voor de hand liggende reden niet direct aan de duiker zelf gegeven worden. Slechts na 5 jaar, als de onderzoeksperiode voor de duiker over is, krijgt hij/zij de kans om het resultaat te horen. De studie is formeel goedgekeurd door DAN Europe Ethical Committee en door Commissies voor Biomedische Ethiek in België en Zuid-Afrika, Engeland en Oostenrijk als een Humaan Research protocol. Dit betekent dat iedere duiker een

Verklaring van Begrip tekent nadat hij een volledige en bevredigende uitleg heeft gekregen van de studie en de procedures die erbij komen kijken.

De resultaten van de studie zullen pas over een paar jaar bekend worden en worden wijd verspreid via wetenschappelijke literatuur, de DAN Europe publicaties en de populaire duikpers. Tot die tijd moet er natuurlijk werk verricht worden! Vrijwillige duikers kunnen contact opnemen met één van de onderzoekers in de buurt van waar ze wonen, om mee te kunnen doen. Wanhoop niet als er op dit moment geen onderzoeker bij jou in de buurt actief is! Ieder jaar worden er nieuwe onderzoekers getraind en beginnen met het testen – ga regelmatig naar de DAN Europe Webpagina's, Research Sectie.

PFO EN DUIKERS: "MEENEEM BOODSCHAP"

Dus wat kunnen we concluderen uit het huidige PFO research? Ten eerste: geen paniek.

PFO is een mogelijke oorzaak voor de passage ("shunting") van stikstofbellen na een duik, zelfs binnen (maar dichtbij) de limieten van decompressie. In sommige gevallen kan dit leiden tot de zogenaamde "onverdiende DCZ". Het gevaar van DCZ is echter zo klein bij veilig, recreatief duiken, dat zelfs met een PFO (ter herinnering 25-30% van alle duikers heeft er een!) het gevaar zo klein blijft om je er niet ongerust over te maken.

Het sluiten van een PFO bij een duiker die nooit DCZ heeft gehad en die uitsluitend recreatief en veilig duikt, is waarschijnlijk onzin. Bij duikers die DCZ hebben gehad kan er een individuele afwijking gemaakt worden, maar in de meeste gevallen zullen de risico's en onbekende kanten van de procedure zwaarder wegen dan de mogelijke voordelen ervan (als die er al zijn).

In feite moet de discussie naar een ander niveau getild worden. Duikers moeten zich er meer van bewust worden dat tot nu toe geen enkele duik-computer of –tabel perfect decompressiefysiologie op een correcte en individuele manier kan simuleren. Dus zelfs als er een grote "veiligheidsmarge" in hun algoritmes wordt aangehouden kunnen en zullen duikcomputers nooit helemaal voorkomen dat DCZ optreedt. Het is daarom verstandig niet alles te "geloven" wat je duik-computer je vertelt en niet "tot aan het gaatje" van je computer (of tabel) te gaan. In andere woorden: het is het best altijd ruim binnen de "nultijd" zone van je computer te blijven. Er zijn nog meer bekende en geaccepteerde regels voor "veilig duiken": duik niet excessief na een langere periode van inactiviteit, voer geen "omgekeerde" duikprofielen uit, maak altijd een "veiligheidsstop" aan het eind van je duik ... om er maar een paar te noemen. Nog beter: waarom geen Nitrox als duikgas gebruiken – maar zorg ervoor je computer op "lucht" ingesteld te laten en dezelfde regels te volgen – je vermindert op die manier je kans op DCZ veel efficiënter dan door je zorgen te maken over PFO!

DAN Europe onderzoekt momenteel andere manieren om de aanwezigheid van stikstofbellen na een duik verder te verminderen, zoals een "diepe stop" – blijf op de hoogte van deze nieuwe of baanbrekende research projecten!

Pagina 11:

Figuur 1 Anatomie van de Patent Foramen Ovale

Figuur 2 Transoesophagale Echocardiografie

Pagina 12:

Figuur 3 Carotis Doppler Onderzoek

HET DAN EUROPE DIVING FYSIOLOGIE

Research Laboratorium in Brussel op de belangrijkste resultaten van haar researchprojecten



Prof. Costantino Balestra, DAN Europe Vice President voor Research en Educatie, Directeur DAN Europe BeNeLux

Echografie

Het huidige onderzoek betreffende duikfysiologie beweegt zich in de richting van nieuwe manieren om duikers in het veld te onderzoeken. Tot nu toe was de Dopplerscanning van duikers het meest algemeen en dat ook nog steeds gebruikt. Het systeem detecteert veneuze gasbellen na een duik.

Dit heeft geleid tot gradering van het Doppler geluid met verschillende manieren van gradering, maar desalniettemin hebben al deze semi-kwantificaties van het Doppler geluid een beperking: ze zijn niet lineair. Dit betekent dat een graad 2 niet dubbel zoveel bellen betekent als graad 1. Deze situatie zorgt niet voor een hoog niveau van statistisch voorspelbare berekeningen. Er moest een gemiddelde gekozen worden om de bellen "gradering" te liniëren tot bellen "telling".

Dit kan met een echograaf bereikt worden; dit soort apparatuur is natuurlijk duur (Brubakk et al., 2005) en wordt in principe gevonden in een klinische omgeving zodat het moeilijk te gebruiken is voor duikers daar de "tijdframe" nodig voor het ontdekken van circulerende bellen niet samen ging met het vervoer van een duiker naar een ziekenhuis om echocardiografie voor bellenvisualisatie (Boussuges et al., 1998; Boussuges et al., 1999; Carturan et al., 2000; Carturan et al., 2002).

De nieuwe technologieën hebben heel kleine en relatief betaalbare echografen voortgebracht voor bellentellingen in het veld. De voorspellende impact van de metingen is heel interessant voor de toekomst van de Duikveiligheid. We gebruiken twee manieren van bellen tellen, een automatisch met een zelf gemaakt PVC programma en natuurlijk met de hand. De consensus voor het tellen van bellen is gebaseerd op minimaal 10 hartslagen en wordt uitgedrukt in bellen per vierkante centimeter met het 1 cm² gebied in de rechterkamer. De rechterkamer is geschikter voor het tellen van bellen als we de vier kamers bekijken, daar de rechterboezem wat "overtollige" bellen kan hebben die twee maal geteld worden.

Nog een interessante manier om echocardiografie bij duikers te gebruiken is het meten van Flow Mediated Dilation (FMD) (meting van het indirecte effect van het vrijkomen van NO) na een duik. Men heeft aangetoond dat endotheelreacties na een duik veranderd kunnen zijn en er wordt aangenomen dat de aanwezigheid van stille bellen het endotheel kan aantasten, wat van endotheel afkomstige microdeeltjes kan produceren die door de bloedbaan gevoerd worden en vasculaire reacties op afstand teweeg kunnen brengen, zelfs in het arteriële deel van ons vatenstelsel. Deze bevindingen zijn heel interessant daar de

aanwezigheid van shunts, zoals de Patent Foramen Ovale in het hart niet meer nodig is om "onverdiende" decompressieziekte te verklaren. Er zijn nieuwe data in het veld nodig om decompressie beter te begrijpen daar het fysiopathologische model niet zo eenvoudig is als de raad-selachtige, schadelijke bel.

Duiken, Zuurstof en EPO (Erythropoetine)

Er zijn nieuwe experimenten uitgevoerd op apneu duikers; we hebben verschillende parameters gemeten na een set van 5 duiken naar 40 m diepte, uitgevoerd in een 2 uren periode. De belangrijkste bevinding in deze metingen was de toename in EPO bij twee mensen in de groep van 9 duikers.

De toename was dermate groot dat het klinisch relevant werd.

De geaccepteerde trigger voor EPO productie is in essentie weefselhypoxie. In dit geval van apneu duikers was de relevantie van de hypoxie moeilijk te overzien, daar de duiker op diepte onder hypoxische omstandigheden verkeert en, als er zich wat hypoxie voordoet tijdens de opstijging, de tijdsduur van een dergelijke hypoxie heel kort is en niet in overeenstemming is met het gezichtspunt over de trigger voor EPO productie, dat in de literatuur geaccepteerd is.

Om het fenomeen te begrijpen hebben we 15 vrijwilligers gevraagd mee te doen aan een gecontroleerde studie in een hyperbaar centrum. Ze moesten drie keer in 36 uur komen en bloed afstaan volgens een vooraf vastgesteld schema. De eerste keer moesten ze alleen bloed geven om hun eigen standaardcurve van EPO productie vast te stellen. Daar EPO, zoals je weet, een hormoon is, zijn de dagelijkse variaties significant. De tweede keer moesten ze zuivere zuurstof inademen gedurende twee uur, en iedere 10 minuten 10 kniebuigingen maken. Dit protocol was opgesteld in overeenstemming met de 5 bar blootstelling van de apneu duikers op 40 m diepte met een 20% zuurstof en 80% N₂ mengsel (atmosferische druk) in hun longen. Het ademen van 100% zuurstof was dus iets dat we moesten doen onder atmosferische druk. De oefeningen werden uitgevoerd om een min of meer constante bloedstroom naar de weefsels te behouden, daar dit een betere stikstofuitwassing tijdens het ademen van zuurstof geeft. De derde keer moesten ze terug komen en in de hyperbare kamer onder een druk van 2,5 bar gebracht worden om de veronderstelde EPO reactie te zien.

De resultaten waren verbazingwekkend; de normale zuurstofblootstelling gaf een 60% toename van endogeen EPO na 36 uur te zien. De hyperbare behandeling gaf een afname van endogeen EPO (Balestra et al., 2006).

Deze bevindingen, voortgekomen uit duikmetingen, tonen een bijzondere rol voor zuurstof bij de productie van EPO bij mensen, die we de "normale Zuurstofparadox" noemden en wordt een veelbelovende trend voor de toekomst, zelfs aan het ziekbed en niet alleen op duikgebied.

Duiken en het Lymfatisch Stelsel

De zoektocht naar extravasculaire belletjes of de fameuze "de novo" bellen zijn voor het decompressieonderzoek net zo iets als "Nessy" het beroemde Loch Nessmonster in Schotland. Iedereen raadt dat er mogelijk wat extravasculaire decompressiebellens zijn maar er zijn nog geen duidelijke antwoorden geaccepteerd. Waar men het over eens is, is dat als deze bellen bestaan ze heel erg klein zijn.

Als we naar het model van de decompressiebel kijken overweegt én accepteert men dat na het vrijkomen de bel een "coating" krijgt van een heleboel reactie agentia; als de bel dan extravas-

culair wordt, wat gebeurt er dan?

Het systeem dan verantwoordelijk is voor de zorg voor extravasculaire proteïnes of proteïne bedekt met een laagje van "unidentified objects" is het lymfatisch systeem. We wilden weten of de huidige, voorgestelde protocollen van zuurstof eerste hulp na een duikongeval ook het lymfatisch systeem zouden assisteren in de afbraak van deze "extravasculaire objecten". Een paar vrijwilligers kwamen naar het lab en we injecteerden ze in de eerste dorsale interosseuze ruimte (ruimte tussen de botten van de rug) met een mengsel van gemerkte proteïnes; deze gemerkte proteïnes worden gevolgd door een gamma camera in de axillaire zone waarvan bekend is dat er een groot aantal lymfeklieren zitten.

Tijdens het experiment werd er 30 min. zuurstof toegediend aan de vrijwilliger terwijl hij onder de gamma camera lag. Daarna werd hetzelfde experiment uitgevoerd zonder inademing van zuurstof. De snelheid en hoeveelheid van de proteïne-toename nam duidelijk toe tijdens het ademen van zuurstof wat aantoont dat de voorgestelde eerste hulp protocollen voor duikers zelfs voor de kleine kernen gunstig zijn. (Balestra et al., 2004b) .

Duiken en HSP (Hitte Shock Proteïnes)

Hitte shock proteïnes zijn in feite de beste "chaperonnes" van onze cellen ... na opgeroepen stress voor de cel (voornamelijk door de omgeving) kunnen de proteïnes waaruit de cel is opgebouwd, veranderen; een proteïne is een ingewikkelde, gevouwen structuur die opgevouwen kan worden door de toegepaste "stress" (bijvoorbeeld warmte), de HSP's zijn er om de opgevouwen proteïnes te repareren en ze terug te duwen in een adequaat opgevouwen toestand.

Er is aangetoond dat dit een gunstig effect kan hebben als tegenmaatregel tegen de bijwerkingen van chemotherapie bij kanker.

Er is ook aangetoond dat de aanwezigheid van HSP een beschermend effect kan hebben op de duiker in decompressie. Er zijn een paar rapporten in de literatuur die lijken aan te tonen dat een zwakke opwarming van het lichaam HSP bij mensen kan oproepen. DAN Europe voert een studie uit naar het vooraf opwarmen van duikers om het effect van deze voorbehandeling op belformatie te analyseren .

Duiken, Vibratie en Belletjes

Sommige rapporten laten verbazingwekkende verhalen zien van gevaarlijke decompressieprocedures na diepe duiken zonder DCZ symptomen. Een heleboel van deze "super duikers" zeggen dat ze een speciale fysiologie hebben die hun helpt om te gaan met decompressiestress. Sommigen zeggen zelfs dat ze de decompressiebelletjes in hun aders voelen groeien en de veiligheidstops afbreken als dat gevoel wegtrekt Een bepaald verhaal kwam van een oude duiker die stelde dat hij tegen decompressieziekte beschermd was door extensief gebruik van de pneumatisch boot voor de duik; de verklaring die hij hiervoor gaf, was het wazige verhaal dat de preduik microkernjes verwijderd zouden worden door het vibratie-effect

We probeerden toen om vrijwillige duikers voor de gestandaardiseerde duik te laten vibreren in een gecontroleerde omgeving. Na 30 minuten van algehele lichaamsvibratie doormiddel van een vibratieplaat, zagen we een afname van postduik veneuze gasbelletjes. We hebben de productie van stikstofmonoxide door het endotheel na een dergelijke behandeling gemeten, maar er werd geen significante toename waargenomen. Er is nu een nieuw protocol in gebruik dat een vibratiemat i.p.v. een vibratieplaat gebruikt. De FMD metingen na totale lichaamsvibratie konden geen enkele toename van NO productie aantonen. Er wordt op dit moment een nieuw appa-

raat getest: een vibratiemat i.p.v. een -plaat; dit kan wellicht de reacties van het lichaam veranderen en dan in het bijzonder de vasculaire reacties daar de vibraties bij dit apparaat voornamelijk langs een as plaatsvinden. Er zijn nog veel gegevens nodig om het onderliggende mechanisme te begrijpen, het is nog te vroeg om een vibratie voorbehandeling voor de duikers voor te stellen.

Temperatuurregulatie en Duiken

Het behouden van een stabiele temperatuur is een bekende uitdaging voor iedereen in het water. De ontwikkeling van duiktechnieken laat een langer verblijf in het water toe met voldoende ademgas of Rebreathers, maar laat ook toe dat sommige populaties die gemakkelijker last krijgen van onderkoeling, zoals kinderen, de duikwereld te betreden (Doubt, 1996; Panchard, 2002).

Een meer uitdagende vraag heeft betrekking op postduik gaskernen gerelateerd aan de watertemperatuur. Wat wij gezien hebben bij het doppleren van duikers is dat er een relatie bestaat tussen de huidtemperatuur en de postduik belletjesgradatie. Hoe kan de huidtemperatuur in verband staan met de belletjesgradatie? Onze hypothese gaat uit van de mogelijke rol van de huid als "reservoir" van stikstof. Zoals je weet is de huid het breedste "orgaan" van het lichaam (behalve endotheel). Als dit goed doorbloede weefsel een heleboel stikstof kan opslaan zou er een schakel gevonden kunnen worden met de belletjesgradatiepiek die we na ongeveer een uur na de duik vinden.

We proberen de huidtemperatuur tijdens de hele duik op verschillende strategische plekken op de huid te meten en daarna de temperatuur gedurende twee uur na de duik op te nemen om te zien of de temperatuurvariatie van de huid gerelateerd kan worden aan de Doppler gradatiepieken.

Duiken, Uitdroging en DCO

We nemen aan dat een duiker uitgedroogd is. Dit kan begrepen worden als we denken aan de onderdompelingsdiurese, een bekend fenomeen dat zich in zwembaden voordoet en die uit een oogpunt van hygiëne niet echt acceptabel is.

Tijdens je verblijf in het water vergroot de veneuze terugstroom naar het hart en de rechterboezem neemt toe in diameter. Dit leidt tot de productie van een bepaald peptide, het zogenaamde atriale, natriuretische peptide (ANP). Dit peptide wordt geproduceerd en in de bloedstroom uitgescheiden in reactie op de vergroting van de boezem, wat door het lichaam beschouwd wordt als een vergroting van het bloedvolume.

De beste manier voor het lichaam om het bloedvolume te verminderen is de vermindering van het watergehalte van het bloed door een verhoging van de wateruitscheiding d.m.v. mictie (urinelozing). Dit zogenaamde "P fenomeen" is het gevolg van de remming van het anti-diuretische hormoon door de ANP.

Ten gevolge van al deze zaken is iedereen het er over eens dat een duiker uitgedroogd is, in ieder geval voor wat betreft de omgevingsparameters. Natuurlijk: als je daar nog eens een warme omgeving en het zweten van een duiker vóór de duik bij telt moet er uitdroging present zijn. Kijken we naar de wetenschappelijke literatuur zien we dat de gegevens die dit fenomeen aantonen exclusief gerelateerd zijn aan gewonde duikers (Boussuges, et al., 1996) Andere afwijkende gegevens kunnen gevonden worden in niet gewonde duikers. DAN organiseert duiktrips waar verschillende parameters gemeten worden, zoals hematocriet (bloedconcentratie), urine soortelijk gewicht (urineconcentratie) en de totale lichaam bio-impedantie (extracellulaire hydrata-tie), om tot een beter begrip te komen van wat er met de vloeistoffen van een duiker gebeurt tij-

dens de duik.

De voorlopige resultaten suggereren een verandering van vocht van het extravasculaire naar het vasculaire compartiment om te compenseren voor het vochtverlies versterkt door het P fenomeen. Dit onderzoek is gaande en zal bijdragen tot het begrip van niet verdiende duikincidenten, die wellicht verklaard kunnen worden door een oververzadiging aan stikstof van de uitgedroogde weefsels.

Duiken en het Temporo-Mandibulaire Gewricht (TMG)

Het temporo-mandibulaire gewricht is het meest gebruikte gewricht tijdens ons hele leven. Het is een ingewikkeld gewricht met pezen en interne schijven (meniscus) net als het kniegewricht. Bovenaan deze eigenaardigheden is het tmg aan de achterkant verbonden met een neurovasculaire bundel die verbonden is met sommige hersenzenuwen. Deze speciale architectuur leidt tot bijzondere stress tijdens het naar voren komen van de intra-artculaire schijven (in de mond-open positie)

Een beduidend aantal duikers (rond de 15%) geeft klachten in het TMG gewricht aan of hoofdpijn na het duiken. DAN heeft een onderzoeksprotocol opgesteld bedoeld om de redenen voor dergelijke pijnlijke ervaringen te begrijpen. Een groep van 15 duikers vond het goed om hun temporo-mandibulaire gebied d.m.v. MRI onderzoek te laten scannen. De scans werden bij drie verschillende mondposities uitgevoerd. De gesloten mondpositie werd als referentie genomen, daarna de wijd open (met een 4 cm doorsnede plastic buis ingebracht in de mond) en als laatste werd er een standaard mondstuk in gehouden.

De resultaten laten een voorwaartse verplaatsing van de interne schijven zien vergelijkbaar met de wijd open positie tijdens de mondstuksequentie. Deze verplaatsing toonde een duidelijke spanning aan van de retrolaminaire neurovasculaire bundel, die duidelijk gevoelig is voor het oproepen van myalgie of hoofdpijn (Balestra et al., 2004a). Tijdens de duik wordt het mondstuk gedurende langere tijd in de mond gehouden. Als je je voorstelt dat dit vergeleken kan worden met een wijd open mond, is het begrijpelijk dat dit pijn kan veroorzaken.

Er zijn nieuwe gegevens nodig en er wordt nu een nieuw protocol gestart m.b.t. mondstukjes die door warmte in vorm gebracht worden. Dit nieuwe protocol is bedoeld om de biomechanische analyse van de TMG verplaatsing te analyseren d.m.v. gevormde afdrukken van de tanden bevestigd op een kunstgewricht en professioneel gevormde mondstukjes die op een kunstgewricht getest zullen worden en daarna aan de duikers worden gegeven om de gunstige effecten op de pijnlijke episodes te meten.

Duiken en Hersenbeschadiging: het mysterie van de UBO's

Als een arts een heleboel witte plekjes ziet op een hersenMRI maakt hij zich zorgen over de patiënt. Deze UBO's (Unidentified Bright Objects) zijn laesieachtige plekken die gevonden kunnen worden bij zowel asymptomatische personen als bij duikers.

Er zijn een paar studies gepubliceerd die een verband leggen tussen duiken en de UBO's. Wij geloven dat er in een heleboel studies, zoals de Geneve geheugenstudie die we in dit veld allemaal kennen, er een probleem bestaat met "self selection bias". Dit omdat een heleboel duikers die een soort milde decompressieziekte hebben, hersendecompressieziekte, een voorbijgaande ziekte met een paar belletjes die voorbijgaan, dit niet opmerken en het beschouwen als een normaal symptoom na een duik. Zij doen mee aan de studie en natuurlijk vind je wat. Er zijn bij-

voorbeeld enkele artikelen geschreven, zoals het Knauth artikel (Knauth et al, 1997) die verklaren dat er een duidelijk verband is tussen PFO en deze plekjes in de hersenen. Wij hebben ook een dergelijke studie gedaan om er helemaal zeker van te zijn. En natuurlijk probeerden we deze self selection bias te vermijden, dus kozen we willekeurige duikers uit 200 vrijwilligers en zochten we naar andere laesieachtige plekjes bij de duikers. We vonden er 4. Daarna keken we ook naar niet-duikers en vonden er 3. Dus als we deze twee groepen vergelijken is er geen verschil. Er is geen verschil in het aantal plekjes. Wat je moet weten over deze groep duikers is dat we 56% PFO hadden. Als PFO dus werkelijk in verband staat met dit soort plekjes in de hersenen zouden we er natuurlijk veel meer hebben moeten vinden dan in de andere groep. Het is ons dus niet duidelijk

We hebben nog steeds een ander probleem: zijn deze UBO's laesies? Staan deze UBO's in verband met vasculaire, laten we zeggen tromboseachtige gebeurtenissen?

De beste manier om er zeker van te zijn is via de forensische geneeskunde. Dus hebben we geprobeerd een paar vrijwilligers te vinden via een andere techniek.

Fractale wiskunde probeert structuur en ruimtelijke distributie te verklaren. Het uitvoeren van de zogenaamde "doos-tel methode" geeft wat wel de fractale dimensie wordt genoemd. Deze fractale dimensie is een manier om complexiteit en distributie te verklaren. En daar wilden we eens naar kijken. Het meest in het oog springende van de fractals in de wiskunde wordt overeenkomst genoemd. Dus wat uit het zelfde patroon voortvloeit, heeft een zelfde soort distributie; dit maakt deel uit van de chaostheorie, het is niet lineair. We hebben dit soort analyse toegepast op de plekken die in duikerhersenen waren gevonden. We vergeleken de fractale dimensie met de beelden van duidelijke trombose incidenten (in een niet duikende populatie). Daarna vergeleken we ook de meervoudige sclerose plekken (niet trombotisch) en vergeleken alles met de fractale dimensie van vasculaire boomvormige structuren in de hersenen.

Volgens de fractale zelfdimensie zou ieder plek uit het vaatbed een overeenkomstige fractale dimensie moeten hebben; en natuurlijk zou iedere plek die niet gerelateerd is aan het vasculaire systeem een niet compatible fractale dimensie moeten hebben.

Bij angiografische en trombotische incidenten bestaat er geen significant verschil in de gemiddelde fractale dimensie. Dit is normaal. Bij multiple sclerose vind je een verschil tussen arteriografische ischemische of trombotische incidenten. Natuurlijk is er een groot verschil omdat ze niet uit hetzelfde gebied komen. En als je naar een lek van een duiker kijkt vind je ook een groot verschil met het arteriële vaatbed. We zijn er daarom zelfs nog niet zeker van of deze plekken gerelateerd zijn aan trombotische incidenten.

Zover we nu kunnen zeggen is er in feite geen duidelijk relatie met hersenbeschadigingen bij sportduikers en geen echte correlatie of schakel tussen PFO's en dit soort plekken. (Balestra et al., 2004c)

Apneu Duiken

Er komen momenteel een heleboel nieuwe elementen naar voren in ons begrip van het apneu duiken. Dit vooral sinds de nieuwe records bij het duiken op één ademteug net bekend zijn geworden. Bij voorbeeld de verbazingwekkende 209 m. diepte door Patrick Musimu. Dit brengt een heel nieuwe gedachtegang op gang m.b.t. het apneu duiken, daar de belangrijkste problemen waar eerder rekening mee gehouden moest worden in principe betrekking hadden op hypoxie. De diep-

te die in werkelijkheid bereikt is, is in overeenstemming met het hoge druk nerveuze syndroom.

Andere interessante wegen tot het begrijpen van extreme apneu hebben te maken met vermoeidheidsfysiologie. Volgens onze testen betreffende extreme apneu lijkt er een link te zijn met een zeker regelingsfenomeen bekend van het vermoeidheidsmechanisme tijdens spiersamentrekkingen en de centrale regeling van de ademhaling. Dit is onlangs gedeeltelijk aangetoond en lijkt een interessante richting om in te slaan. (Duchateau et al., 2002) .



VOOR DE EERSTE KEER IN DE GESCHIEDENIS VAN HET SPORTDUIKEN IS ER OP UNIVERSITAIR NIVEAU EEN GEAVANCEERD FYSIOLOGISCH RESEARCHLABORATORIUM "IN HET VELD" AAN DE SLAG OM MEERDERE, ONGELIMITEERDE SPORT- EN TECHNISCHE DUIKEN VAST TE LEGGEN TER VERBETERING VAN DE DUIKMEDISCHE KENNIS EN TER VOORKOMING VAN SPORTDUIKONGEVALLLEN.

Door Laura Marroni

"Het verkrijgen van gegevens voor ons researchproject over duikveiligheid, direct van echte duikers zonder beperkingen en in een dusdanige hoeveelheid dat er wetenschappelijk significantie bereikt kon worden": dit was het doel van het DAN Europe Research Team dat deelnam aan het "Technical & Extreme Diving Scientific Research Event", dat plaats vond aan het Lago Maggiore, Italië, op 30 september en 1 oktober 2006. Het evenement, efficiënt georganiseerd door de Italian Underwater Training Agency PTA, hield meerdere, gelijktijdige duiken in het water van het Lago Maggiore in, variërend in diepte van 40 tot 130 meter.

De duikers, alle vrijwilligers bij het evenement, waaronder Nuno Gomes, de internationaal bekende diep trimix duikende recordhouder, ondergingen een aantal meervoudige, medische en fysiologische onderzoeken en niet-invasieve fysiologische researchprocedures die door het DAN Europe Research zowel voor als na de duiken uitgevoerd werden.

Alle duiken werden uitgevoerd volgens vrij gekozen duikprofielen en werden door de duikers zelf gepland, maar waren allemaal zorgvuldig en effectief georganiseerd en bewaakt, zowel qua logistieke als qua veiligheidsaspecten, door de PTA.

*Pagina 21:
FOTO1 FOTO 2 - De tenten met het DAN Europe Field Research Laboratorium*

"Het was gewoon een unieke gelegenheid die we niet konden laten lopen," zei DAN Europe President Alessandro Marroni, "We, konden bij bijna 100 duikers volledige, meervoudige en complexe duikfysiologische onderzoeken in slechts één dag uitvoeren waarbij vrij geplande duiken tot 130

mzw werden uitgevoerd met perslucht, nitrox, trimix en Rebreathers.

In een andere setting zou het bereiken van hetzelfde resultaat en het testen van al deze veldprocedures gewoon maanden gekost hebben, zo al niet meer, om nog maar niet te spreken over de kosten en de logistieke problemen!"

De enorme hoeveelheid data die bijeen gebracht is, was mogelijk dankzij het gebruik van een complex fysiologisch veldlaboratorium, ontwikkeld en verwezenlijkt door het Italiaans-Belgische DAN Europe Research Team geleid door Prof. Alessandro Marroni en Prof. Constantino Balestra, DAN Europe Vice President Research and Education en Directeur van DAN Europe BeNeLux, bijgestaan door het Research Team van het Institute of Clinical Physiology van het Italian National Research Institute en de Universiteit van Pisa, Italië, waarmee DAN Europe actief samenwerkt in een heleboel duikresearch projecten

Pagina 21:

FOTO 3 Het DAN Europe Research Team

FOTO 4 Het "Doppler" Team

"We hebben de duikgegevens verzameld volgens de standaard Diving Safety Laboratory (DSL) procedure," zegt Massimo Pieri, DAN Europe Dive Data Collection Coordinator, "waaronder specifieke vragenlijsten, downloaden van duikprofielen en precordiale doppleropnames na het duiken bij alle duikers door de DAN Research Operators van de "Sub Novara Laghi" en de "Sub Del Lago" duikverenigingen.

Bovendien hebben we ook een volledig fysiologisch onderzoekslaboratorium opgezet om de risico's en de fysiologie van decompressie beter te doorgronden. We hebben dit gedaan d.m.v. een serie onderzoeken waaronder hartfilmpjes, studies naar uitwisselingen van lichaamsvloeistoffen, uitwassen van gasmicrokernen en de biologische reactie op decompressiestress."

Alle vrijwilliger duikers ondergingen die volgende routine onderzoeken:

- Preduik fysiologische beoordelingen
- Duik
- Postduik Precordiale Doppler Opname
- Postduik herhaling van de fysiologische beoordelingen

Om dit allemaal mogelijk te maken en te zorgen voor een goede doorstroming en om files bij de fysiologische beoordelingsstations te voorkomen, werden de duikers in groepjes van vier verdeeld en werd het laboratorium in researchstations naar het soort onderzoek, opgezet zodat de duikteams gemakkelijk van het ene station naar het ander konden rouleren.

Het eerst Research Station was gewijd aan:

- Doppler Opname
- Downloaden van de duikprofielen

Pagina 22:

FOTO 5 Post Dive Doppler Opname

FOTO 6 Duikprofiel Downloaden

Het tweede Research Station was voor:

- Meting van Totale Lichaamsimpediment (een manier om de vochtuitwisseling tussen lichaamsweefsels en compartimenten te meten);
- Urine Soortelijk Gewicht (een andere manier om de vochtbalans van het lichaam te bewaken);
- Hematocriet (de verdeling van Bloedcellen en Bloedplasma, wat beïnvloed wordt door de hydratatiestatus van iemand).

Pagina 22:

FOTO 7 Nuno Gomes bij Het Totale

Lichaamsimpedentie Station

FOTO 8 Afname van Capillair Bloed voor meten

van Hematocriet

Het derde Research Station was ingewikkelder en had te maken met:

- gecombineerde echographische-pletismographische meting van de Flow Mediated Dilatation (FMD) in de halsslagader (indirect vastleggen van het effect van duiken op de lichaamsproductie van stikstofoxide en zijn variaties, een gevolg van het duiken en de decompressiestress);
- Warmtebalans door meting van de postduik huidtemperatuur);
- Post-Duik Echocardiografie (voor het zichtbaar maken van mogelijke gasbelletjes in het hart)

Pagina 22:

FOTO 9 FMD beoordeling

FOTO 10 Meting huidtemperatuur

Een mobiel laboratorium dat direct vanuit Duitsland naar de duikstek kwam, was het vierde Research Station en was speciaal uitgerust voor twee unieke preduik conditie procedures:

- Preduik lichaamsvibratie, gericht op het bestuderen van de mogelijkheid het lichaam te ontdoen van als bestaande gasmicrokernen om decompressie te optimaliseren en het ontstaan van postduik belletjes te minimaliseren);
- totale preduik lichaamsopwarming, bedoeld om de endogene productie van HSP (Heat Shock Proteïne) te stimuleren; dit is een celbeschermend eiwit dat een rol zou kunnen spelen in het beschermen van weefsels tegen decompressieverwondingen.

Pagina 22:

FOTO 11 - FOTO 12 - FOTO 13

Het Mobile Laboratorium met de totale lichaamsvibratie matrassen en de infrarood totale lichaamsverwarmingscabine.

Als laatste was er een vijfde speciaal "nat research station" onderwater gericht op het uitvoeren van speciale experimentele onderzoeken, met gebruik van prototype instrumenten.

Dit station had betrekking op een vooraf geselecteerde kleine groep duiker van het DAN Research Team die de volgende onderzoeken onderging:

- Vaststellen metabolisme en Cardio-respiratoire prestaties in real time vastgelegd, onderwater meting van Zuurstofverbruik en Kooldioxideproductie bij duiken met een rebreather, d.m.v. een speciaal aangepaste d.m.v. een speciaal ontwikkelde, waterdichte metabolische gasmonitor.
- Transthoraxale Echocardiografie tijdens decompressie na een persluchtduik, d.m.v. een speciaal aangepaste Echocardiograaf in een origineel ontwikkelde waterdicht koffer (4 bar max.). De duikers droegen een aangepast natpak met een borstflap die open kon om de ultrasound probe op zijn plaats te kunnen brengen.

Deze heel speciale en unieke apparatuur is ontwikkeld en gebouwd aan het Istituto di Fisiologia Clinica (Institute of Clinical Physiology) van de CNR (Italian National Research Institute) in Pisa, Italië, en was n eerste instantie bedacht voor onderzoek naar de reactie van het hart op apneu duiken. Onlangs is deze apparatuur ook gebruikt voor het evalueren van de reactie van het hart op persluchtduiken en decompressiestress en biedt de mogelijkheid om direct mogelijke gasbelletjes zichtbaar te kunnen maken tijdens de opstijging en de decompressiefase van een duik. Een speciaal Research Team kwam uit Pisa IFC om de Onderwater Echocardiograaf tijdens dit evenement te testen, zoals vastgelegd in de Scientific Cooperation Agreement tussen DAN en de IFC.

Pagina 22:

FOTO 14 In gebruiknemen van de Onderwater

Echograaf

FOTO 15 De echograaf in zijn waterdichte koffer

FOTO 16 Het speciaal aangepaste natpak gebruikt voor onderwater echografie

Het evenement werd besloten met een conferentie in Luino, Italië op de daarop volgende zondag, 1 oktober, waar de DAN onderzoekers Alessandro Marroni, Costantino Balestra, Mario Giuseppe Leonardi en Corrado Bonuccelli gedetailleerd konden uitleggen wat de redenen waren voor de onderzoeken die de dag daarvoor waren uitgevoerd en de belangrijkste resultaten van het DAN Europe Research voor Veilig Duiken konden toelichten.

"Het is een drukke, zware dag geweest" zei Prof. Marroni, "maar dank zij de efficiëntie en de toewijding van het DAN Research Team en het enthousiasme van de vrijwillige duikers is alles vlot verlopen en waren de bereikte resultaten veel beter dan we ooit hadden verwacht. Zowel de kwantiteit als de kwaliteit van de verzamelde gegevens is voortreffelijk. Onze intentie en doel waren in eerste instantie het testen van de mogelijkheid om ons te begeven op het "in het veld" niveau van fysiologisch onderzoek, wat normaal alleen bereikt kan worden in vrij gesofisticeerde en academische laboratoria. We zouden al tevreden zijn geweest met de vaststelling dat dit mogelijk was. Maar aan het eind van de dag realiseerden we ons dat niet alleen dit niveau van complexe en geavanceerd onderzoek "in het veld" mogelijk is, en bovendien bij een zeer grote groep duikers, maar we waren ook blij te kunnen vaststellen dat het aantal verzamelde gegevens niet alleen heel groot was maar ook van een zeer goede kwaliteit en volledig wetenschappelijk te duiden. Dit bevestigt de validiteit van het veldonderzoek dat DAN ontwikkeld en geïmplementeerd heeft en de grote waarde en competentie van ieder individueel lid van het DAN Research Team. We zijn nu bezig de gevonden gegevens te analyseren en de resultaten zullen binnen niet al te lange tijd in wetenschappelijke tijdschriften en in het DAN Europe Alert Diver tijdschrift en op de Website (www.daneurope.org) gepubliceerd worden."

Researchdag Feiten:

- 93 Duikers (45 meters -EAN 29: 13; 45 meter - lucht: 10; 60 meter - lucht: 38; 70 meter - trimix: 4; 80 meter - trimix: 5; 90 meter - trimix: 2; 100 meter - trimix: 4; 110 meter - trimix: 4; 120 meter - trimix: 4; 130 meter - trimix: 4. OW Echocardiografie: 3. Rebreather Duik Metabolisme Test: 2)
- 93 gedownloade duikprofielen
- 93 pre-post duikvragenlijsten
- 97 Doppler Opnames;
- 440 Fysiologische Onderzoeken.

Laura Marroni



DAN EUROPE SPONSOR

We thank all the Sponsors and DAN Points
that support, with great devotion and enthusiasm,
DAN's mission all over the world

A corporate Sponsor is an organisation which holds an important role in the development and diffusion of DAN Europe.

DAN points are important partners in Diving Safety. Divers can go to these DAN points for DAN First Aid Education, DAN membership info, and in some occasions also to participate in DAN's Diving Research.

All DAN Points have the availability of an Oxygen and first aid kit to ensure the diver's safety in case of emergency. "DAN points" are also entitled to sell DAN Europe materials to all divers and DAN Instructors and Trainers will be able to purchase DAN Educational Materials in these "DAN Points".

As an extra service to these DAN educators, these DAN points might even have a rental service for Oxygen and AED Units.

While a Silver DAN Point will be able to offer at least 1 type of DAN provider Course, a Gold DAN Point will be able to offer all DAN Provider and Instructor Courses, making them specialised in DAN First Aid Education.

CORPORATE SPONSOR



MEDTRONIC / PHYSIO-CONTROL Case Postale Route du Molliau 31 - CH-1131 Tolochenaz Switzerland ☎ +41218027327 - Fax: +41218027273 www.medtronicphysiocontrol.com physio.control@medtronic.com



DISCOVERY DIVE TEAM TRAVEL Kronobergsgatan 13, 6TR - 11238 Stockholm- Sweden ☎ +46-086-508424 - Fax: +46.086.503211 - www.discovery.se - dive@discovery.se



DUIKEN VIPMEDIA Publishing & Services - Postbus 7272 - 4800 GG Breda, The Netherlands ☎ +31 (0)76 - 530 17 21 - Fax : + 31 (0)76 520 52 35 - www.duiken.nl - duiken@vipmedia.nl



SEA FISH PODWODNY SWIAT Witczaka 9 - 41-902 - Bytom - Poland ☎ +48-32-2825304 - Fax: +48-32-2826670 - www.sea-fish.bytom.pl podwodnyswiat@sea-fish.bytom.pl - e.buchczyk@sea-fish.bytom.pl

GOLD DAN POINT



ACQUASPORT Via Risorgimento 46 - 23900 Lecco - Italy ☎ +39-341 285918 - Fax: +39-341 283577 - www.acquasportlecco.com - info@acquasportlecco.com



ACTION DIVE SYSTEMS Beloura Office Park, Edificio 6, Piso1, 2710-693 Sintra, Portugal ☎ +351-210029266 - Fax: +351-210029264 - www.actiondivesystems.com - dan@actiondivesystems.com



ADM DIVING & TECHNICAL SERVICES 10 Highfield Street, LE9 4DF Stony Stanton, Leicester - United Kingdom ☎ +44-7966869748 - andrew.dawson-maddock@orange.net



AQUA CLUB DIVE CENTER Bayindir Sokak No: 34, 06650 Kizilay/Ankara - Turkey ☎ +90-3124196851-Gsm Phone: + 90-5322832781 - Fax: +90-3124186566 - www.aquaclub.com.tr Email: info@aquacub.com.tr



AQUAPRO DIVE CENTER Greguss U. 5, 1123 Budapest - Hungary ☎ +31-229-274306 - Fax: +361-2015059 - www.aquapronet.hu - krazsik@mail.datanet.hu



ATLANTIC DUIKCENTRUM -Chris Verzeilberg De Factorij - 35 F, 1689 AK Zwaag - Nederland ☎ +31-229-274306 - Fax: +31-229-274060 - www.atlanticdiving.nl - info@atlanticdiving.nl



BOLLE D'ARIA Via delle Industrie 14, 31032 Casale Sul Sile (Treviso) - Italia ☎ (+39) - 0422 786900 - Fax: (+39) - 0422 827802 - www.bolledaria.com - info@bolledaria.com



BUBBLES DIVING COLLEGE Sheraton Ring Road, North Hill, Hurgada, Red Sea - Egypt ☎ Mobile: +2-0122243987 - www.bubblesworldwide.com - diving@bubblesworldwide.com



CENTRUM NURKOWE KRAKEN Ul. Kobierzynska 43, 30-363 Krakow - Poland ☎ +48-12-2668683 - Fax: +48-122668683 - kraken@kraken.pl



CENTRUM NURKOWE "PIJAWKA" Ul. Pulawska 84 - 02-603 Warszawa - Poland ☎ +48 22 844 91 04 - +48 22 646 45 65 - www.nurkowanie.pl - nurkowanie@nurkowanie.pl



CRAZY SHARK DIVE CENTER & CRAZY SHARK DIVE RESORT Ul. Popieluski 19/21 Lok. 20821, 01-955 Warsaw - Poland ☎ +48-22-8333350 - Fax: +48-25-7573281 - www.trimix.pl - www.nitrox.pl - www.shark.net.pl - jacek@kurzakowski.pl



CTP NAUTICA Przy Bazantarni 13, 02-793 Warszawa - Poland ☎ +48-22-4249442 - Fax: +48-22-4995147 - www.nautica.pl - warszawa@nautica.pl



CYDIVE Diving Centre & Instructor Training Academy 1 Poseidonos Avenue 8042 Paphos - Cyprus ☎ +357-26934271 - Fax +357-26935307 - www.cydive.com - cydive@spidernet.com.cy



DE TUIJMELAAR Groningen - A-Weg20 - 9718 CV Groningen - Holland ☎ +31 (0)50 313 3299 Fax: +31 (0)50-311 3451 - www.tuimelaar.nl - groningen@tuimelaar.nl



D.D.R.C. Ltd./ The Oxygen Centre Kyriepoulos Court 2, Amathus Ave. 59, 4532 Limassol - Cyprus ☎ +357-25320101 - Fax: +357-25320108 - 24hr emergency: +357 99 5188 37 www.hbo-therapy.com - ddr@cytanet.com.cy



DELPHINUS Ul. Wojska Polskiego 70, 70-479 Szczecin - Poland ☎ +48-602686852 - www.delphinus.pl - delphinus@delphinus.pl



DIVE ACADEMY GMBH Löwengasse 5 - 8810 Horgen - Switzerland 01/726 06 00 Fax: 01/726 06 02 - www.diveacademy.ch - bettina@diveacademy.ch



DIVE-IN LTD. "CENTRE OF EXCELLENCE" Kyriepoulos Court 1, Amathus Ave. 59, 4532 Limassol - Cyprus ☎ +357-2531600 - Fax: +357-25313267 - www.dive-in.com.cy - www.divecollege-cyprus.com - dive-in@cytanet.com.cy



DIVE-IN Ltd. LARNACA 132 Piale Pascha, 6028 Larnaca - Cyprus
 ☎ +357-24627469 - Fax: +357-24627469 - www.dive-in.com.cy - dive_in_larnaca@cytanet.com.cy



DIVE-IN Ltd. PAPHOS The Elysium, Queen Verenikis Street, P.O. Box 60701, 8107 Paphos - Cyprus
 ☎ +357-26930078 - Fax: +357-26930079 - www.dive-in.com.cy - www.divecollegecyprus - dive_in_paphos@cytanet.com.cy



DIVING DISEASES RESEARCH CENTRE Tamar Science Park, Derriford, PL6 8BU Plymouth - United Kingdom
 ☎ +44-1752-209999 - Fax: +44-1752-209115 - www.ddrc.org - training@ddrc.org



DIVING SERVICE s.a.s. Via XXV Aprile, 20 - 73040 Marciano di Leuca - (LE) ITALY
 ☎ 0833743685 - 0833711439 - Fax: 0833743685 Cell. 3355846092
 www.divingservice.it - info@divingservice.it



DUIKCENTRUM DE GREVELINGEN Elkerzeeseweg 34, 4322 NB Scharendijke - Nederland
 ☎ +31-111-671500 - Fax: +31-111-671225 - www.de-grevelingen.nl - teun@de-grevelingen.nl



DUIKCENTRUM NEDERLAND Grote Markt 21, 5171 EK Kaatsheuvel - Nederland
 ☎ +31-617468674 - Fax: +31-848704235 - www.duikcentrumnederland.nl - pieter@duikcentrumnederland.nl



E-SUB Via Verdi, 109/111, 30175 Mestre - Italia
 ☎ +3920662050 - Fax: 041-5411542 - www.e-sub.it - lucafaff@alice.it - info@e-sub.it



EME / Prevent & Rescue International Mozartlaan 24, 5707 RL Helmond - Nederland
 ☎ 0492-590591 GSM: 06-54963793 Fax: 0492-590595 - info@eme.nl



ESCUELA DE BUCEO "SCUBA PLUS" Oliva de Plasencia, 1 - cap: 28044, Madrid - Spain
 ☎ + 34 607808244 - Fax: +34 913652771 - www.scubaplus.org - info@scubaplus.org



EXSTREAM Kosciuszki 35 A, 50-011 Wroclaw - Poland
 ☎ +48-602235345 - Fax: +48-713422800 - www.exstream.com.pl - biuro@exstream.com.pl



GALICIA TECHNICAL DIVING J.Tielemansstraat 31 - 3200 Aarschot - Belgium
 ☎ +32475257720 - fax: +3216520749 - www.galicia.be - steven@galicia.be



GORNOSLASKIE CENTRUM NURKOWE SEA FISH Podwodny Swiat Witzaka 9 - 41-902 - Bytom - Poland
 ☎ +49-32-2825304 fax +48 32 282 66 70
 www.sea-fish.bytom.pl - podwodnyswiat@sea-fish.bytom.pl



ITS SAFETY-FIRST/De onderwaterwereld Koningstraat 40 - 2011 TD Haarlem
 ☎ 023 - 5367189 - www.underwaterwereld.com - itsafetyfirst@underwaterwereld.com



KALLIOPi DIVE COLLEGE P.O. Box 61036, 8130 Pathos - Cyprus
 ☎ +357-26818534 - Fax: +357-26818532 - www.kalliopitravel.com - kalliopi@cytanet.com.cy



MAINDES Postbus 171 - 7940 AD Meppel - Nederland
 ☎ +31-(0)522-242592 - Fax: +31-(0)522-242591 - www.maines.com - info@maindes.com



MANATEE DIVING Raadhuisplein 13 - 2914 KM NIEUWERKERK AAN DEN ijSSEL - Nederland
 ☎ +31(0)6 55188644 - fax: +31(0) 180 315106 - manateediving@xs4all.nl



MOBY DICK Melbournestraat 36 & 38a - 3047 BJ Rotterdam - Holland -
 ☎ +31-10-4767992 - www.mobydick.nl - info@mobydick.nl



PARALOS DIVING ACADEMY Ag. Konstantinou 40 shop, center "Aithrio" Maroussi - 15124 Athens Greece
 ☎ +30-210-6105202 - Fax: +30-210-6105202 - www.paralos.net - paralos@paralos.net



PARAMAX ESCUELA OFICIAL DE BUCEO Y NÁUTICA DE TORRELODONES Polideportivo Municipal - Plaza José Mari a Uncteta 4 y 6 - 28250 Torrelocondes (Madrid) - Spain
 ☎ 918 429 490 / 651 957 116 - Fax: 911 412 721
 www.paramax.es - www.clubaventuratorrelocondes.com - info@paramax.es



PIMIA DIVING Demmerik 25, 3645 EA Vinkeveen - Nederland
 ☎ +31-297-263270 - fax +31-297-263270 - www.pimia.nl - info@pimia.nl



PROFESSIONAL DIVING UNIT Posteloseweg 88 - 5521 RD Eersel - Nederland
 ☎ +31-497-517704 - Fax: +31-497-512940 - www.pdu.nl - info@pdu.nl



SCUBA COLLEGE Koning Albertstraat 55, 2800 Mechelen - Belgium
 ☎ +32-15-20300 - Fax: +32-15-20315 - http://www.scubacollege.be - info@scubacollege.be



SEAGATE s.a.s. DIVING CENTER Via Agrippina, 22, 80070 Bacoli NA - Italia
 ☎ 081-5235683 - Fax: 081-5235683 www.seagatediving.it - gaetano_vassallo@fastwebnet.it



SIRENA SUB Vipavska C. 54, 5000 Nova Gorica - Slovenia
 ☎ +38641687210 - Fax: +38653330378 - www.reef.si - info@reef.si



SKUBBA TRAINING School Street 495 El Adha Nord/ Red Sea / Egypt
 ☎ Office: +2-012-2443088 - Fax: +2-065-344992 - http://skubbatraining.com - info@skubbatraining.com



SNORKEL D.C. Avda. Del Mar s/n - Llafranc - Spain
 ☎ +34-972 30 27 16 www.snorkel.net - snorkel@snorkel.net



SPORT SPEZIAL Blasius Hueber Str. 14, 6020 Innsbruck - Austria
 ☎ +43 512 286707 - Fax: +43 512 282701 - www.sport-spezial.at - sport.spezial@chello.at



SPORTISSIMOMILANO di Sangalli Giorgio - Via Ripamonti 21 20136 Milano Italy
 ☎ 02-58305014 - fax: 02-58325488 - www.sportissimomilano.com - info@sportissimomilano.com



TAUCHCENTER JOACHIM HUPE Unterm Heid 31, 59872 Meschede - Germany
 ☎ + 49-290341101 - www.tauchcenter-joachim-hupe.de - joachim@hupenet.de



TAUCHERTREFF DEKOSTOP OLDENBURG Nadorster Str. 73, 26123 Oldenburg - Germany
 ☎ +49-441-885114 - Fax: +49-441-885104 - www.tauchertreff24.de - martin@tauchertreff24.de



TAUCHSPORT ALLERSBERG Hilpoteiner Strasse 6, 90584 Allersberg - Germany
 ☎ +49-91765359 - Fax: +49-9176-998150 - www.tauchsport-allersberg.de - info@tauchsport-allersberg.de



TAUCHSTATION AQUAPARK Furtweg 19, 85716 Unterschleißheim - Germany
 ☎ +49-1733986497 - Fax +49-8931009780 - www.tauchstation-aquapark.de - info@tauchstation-aquapark.de



TAUCHSTUDIO VIENNA Lassallestraße 24 - 1020 Wien - Austria
 ☎ +4317201398 - fax: +4317201398 - dive@tauchstudio.com - www.tauchstudio.com



THE PAVILION DIVE CENTRE The Jumeirah Beach Hotel Dubai, United Arab Emirates
 PO Box 11416 ☎ +971 4 4068827 Fax: +971 4 3484754
 phil.oshea@thejumeirahbeachhotel.com - www.jumeirahinternational.com/diving



TIME TO DIVE Kuringersteenweg 517, 3511 Hasselt - Belgium
 ☎ +32-11-740602 - Fax: +32-11-740602 www.timetodive.be - timetodive@pandora.be



TNT DIVING Zuid Oosterstraat 1 A, 5014 BA Tilburg - Nederland
 ☎ +31-13-5358665 - Fax: +31-13-5436459 - www.tntdiving.com - flup@planet.nl



TRITON SCUBA 147 Highland Road - P04 9EY Southsea, Hampshire - United Kingdom
 ☎ (+44) 23 9283 8773 - Fax: (+44) 23 9283 8773
 www.tritonscuba.co.uk - helpdesk@tritonscuba.co.uk - david@tritonscuba.co.uk



WRECKS & REEFS DIVING Unit 11 Olympic Business Centre, Paycocke Road - SS14 3EX Basildon - United Kingdom
 ☎ +44-1268-288188 - Fax: +44-1268-288188 - www.wrecksandreefs.co.uk - glenn@wrecksandreefs.co.uk

SILVER DAN POINT



ANTAQUA vzw SCHELDEVRIJ STRAAT 30 2660 Hoboken - Belgium
 ☎ +32-(0)477-302979 - www.ant aqua.com - paul.van.dyck2@pandora.be



CENTRO NUOTO SUB "LA MANTA" Viale Gramsci 379/b - 41037 Mirandola (MO) - Italy
 ☎ +39 3388581909 - Fax: +39 053523200 - antoniotirabassi@libero.it - www.mantasub.org



DIVECENTER SCUBIDO LAANWEG 58 - 1871 BH SCHOORL NEDERLAND
 ☎ +31-72-5090477 - www.scubido.com - info@scubido.com



DIVESPORT Edisonweg 30a - 2952 AD - Alblasserdam - Nederland
 ☎ +31 786992918 - fax: +31 786990981 - email: info@divesport.nl - www divesport.nl



DUIKPUNT Torhoutsteenweg 551, 8400 Oostende - Belgie
 ☎ +32-59800951 - Fax +32-59807806 - www.duikpunt.be - info@duikpunt.be



OCTOSUB FREE DIVERS ASSOCIATION Via dei Mille, 39 - 21100 Varese - Italia
 ☎ 0332282314 - Fax 0332283475 www.octosub.com - gppsub@hotmail.com



SEVEN ISLANDS DIVE CENTER Kontokali, 49100 Corfu - Greece
 ☎ +30-266190006 - www.sevenisland.eu - Email: mail@sevenisland.eu



VODASPORT Second Street, 9662 Sveti Nikola Village (Russalka Resort) - Bulgaria
 ☎ +359-888397160 +359 898605696 - Fax: +359-5744601
 www.vodasport.com - import@vodasport.com



ZANDOKHAN DIVING Weth. Jansenlaan 3 - 3844 DG Harderwijk - Nederland
 ☎ 0341-426624 - fax: 0320-840101 - info@zandokhan.nl - www.zandokhan.nl

DAN Training



DAN Oxygen First Aid for Aquatic Emergencies

This Training program teaches you how to provide oxygen first aid for drowning accidents. However, this course is not intended to deliver oxygen to injured divers.

DAN Oxygen First Aid for Scuba Diving Injuries

The Oxygen Provider course has already taught thousands of students how to provide Oxygen first aid to injured divers. The skills taught in this course should be known by every diver. Can you help your buddy when a dive accident happens?

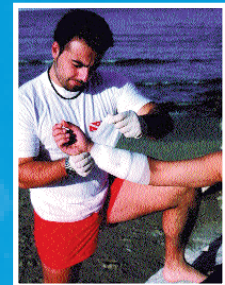


DAN Advanced Oxygen First Aid

This course is designed to teach Oxygen Providers the skills and knowledge needed to supplement Basic Life Support and CPR skills, with advanced resuscitation techniques to assist any diver who is not breathing.

DAN First Aid for Hazardous Marine Life Injuries

During this course your instructor teaches you the first aid techniques to assist any diver who came in contact with hazardous marine life. Be sure you know what to do when any hazardous marine life came closer than you wanted.



DAN Automated External Defibrillation (AED)

This course is designed to train and educate the general diving (and qualified non-diving) public in the techniques of using an Automated External Defibrillator (AED) for victims of sudden cardiac arrest (SCA).

In addition, this course also reviews first aid procedures using Basic Life Support techniques.

For information about DAN Courses contact DAN Europe Training at +39.085.893.0333 or training@daneurope.org or contact a DAN Instructor in your area. Visit the Training Area of the DAN Europe website at: www.daneurope.org, for up-to-date DAN provider and Instructor Course dates and more information on DAN Training Programs™ and a list of active status DAN Instructors and