Bubblor och dykarsjuka 2025

Hans Örnhagen, MD, PhD

På 60-talet började man använda ultraljud för att detektera gas i kroppen. Det är nu ”problemen” börjar, när man upptäcker att:

- Bubblor kan bildas både i blod och i vävnadsvätska utanför kärlsystemet
- Bubblor kan förekomma i blodet utan symtom på dykarsjuka och hos personer med dykarsjuka förekommer inte alltid bubblor.

- Om gaspartialtrycket överstiger omgivningstrycket uppkommer risk för bubbelbildning
- Bubbelbildningen blir livligare om det finns ”bubbelkärnor” (partiklar) i lösningen
- Bubbeltillväxten är vanligen snabbare om det är strömningar i vätskan

I välkontrollerade försök på sövda grisar är det stor variation i bubbelbildningen

Örnhagen, Brubakk, 2000

Samma släkt i princip syskon, alla lika gamla, väger lika mycket, har ätit samma föda, skötta och sövda av samma djurskötare, exponeras vid samma tid på dygnet för 40 minuter på 40 meter med luft och ”direktuppstigning”.

25 % Fick inga bubblor

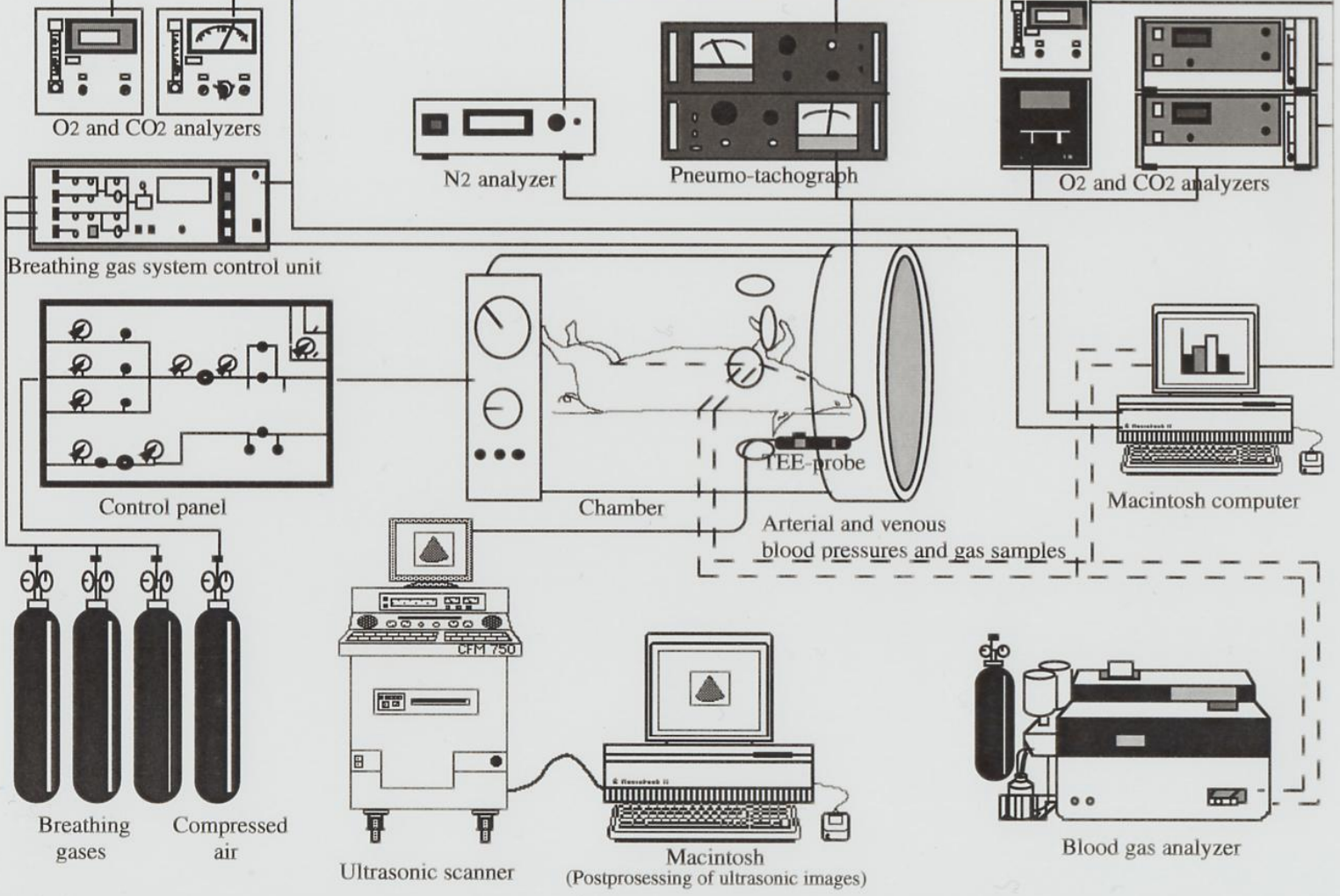
50 % Fick varierande mängder venösa bubblor

25 % Fick så mycket bubblor att de måste rekomprimeras för att överleva

Hur skall man då kunna göra tabeller som inte skapar bubblor hos människor som

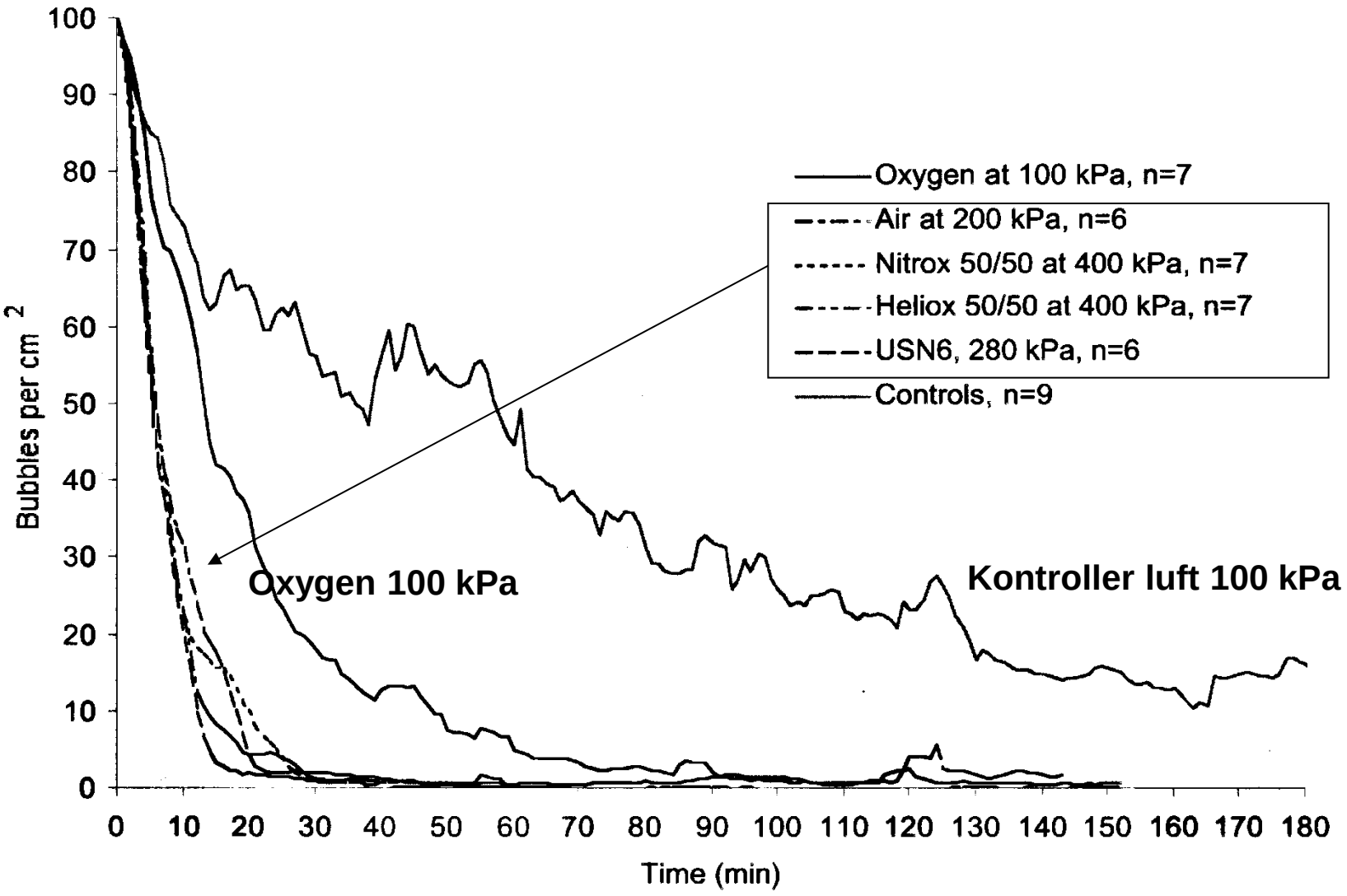
- Äter olika mat
- Väger olika mycket
- Har olika god kondition
- Har varierande ålder
- Genomför dyken på olika sätt (vila/arbete)
- Dyker i olika tempererade vatten

?

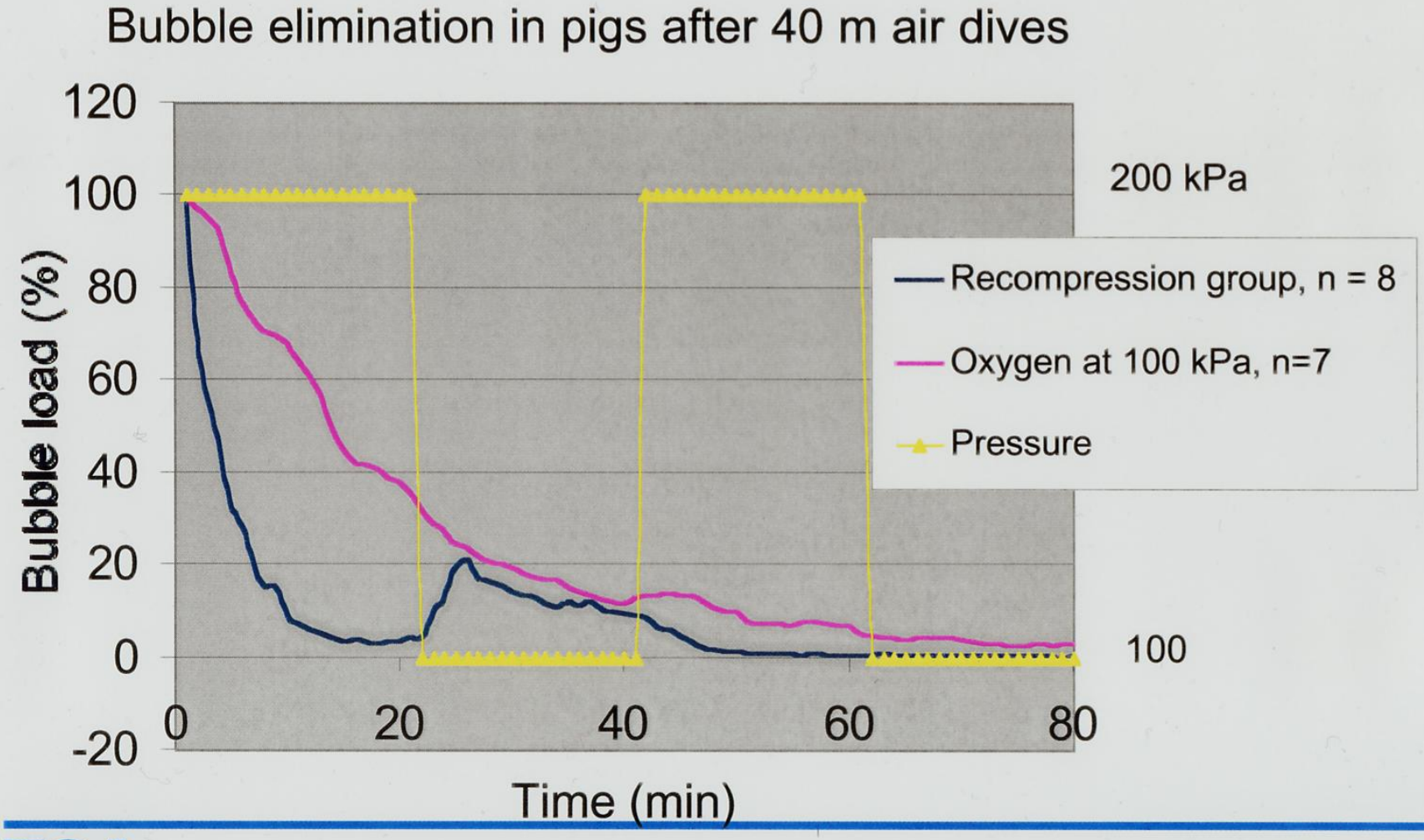

O2 and CO2 analyzers
N2 analyzer
Pneumo-tachograph
O2 and CO2 analyzers
Breathing gas system control unit
Control panel
Chamber
TEE-probe
Arterial and venous
blood pressures and gas samples
Macintosh computer
CFM 750
Breathing
gases
Compressed
air
Ultrasonic scanner
Macintosh
(Postprosessing of ultrasonic images)
Blood gas analyzer

Tidsförlopp för bubblors försvinnande efter dykning.

Data från ultraljudsundersökning på grisar som exponerats för luft, 40 min på 40 m.



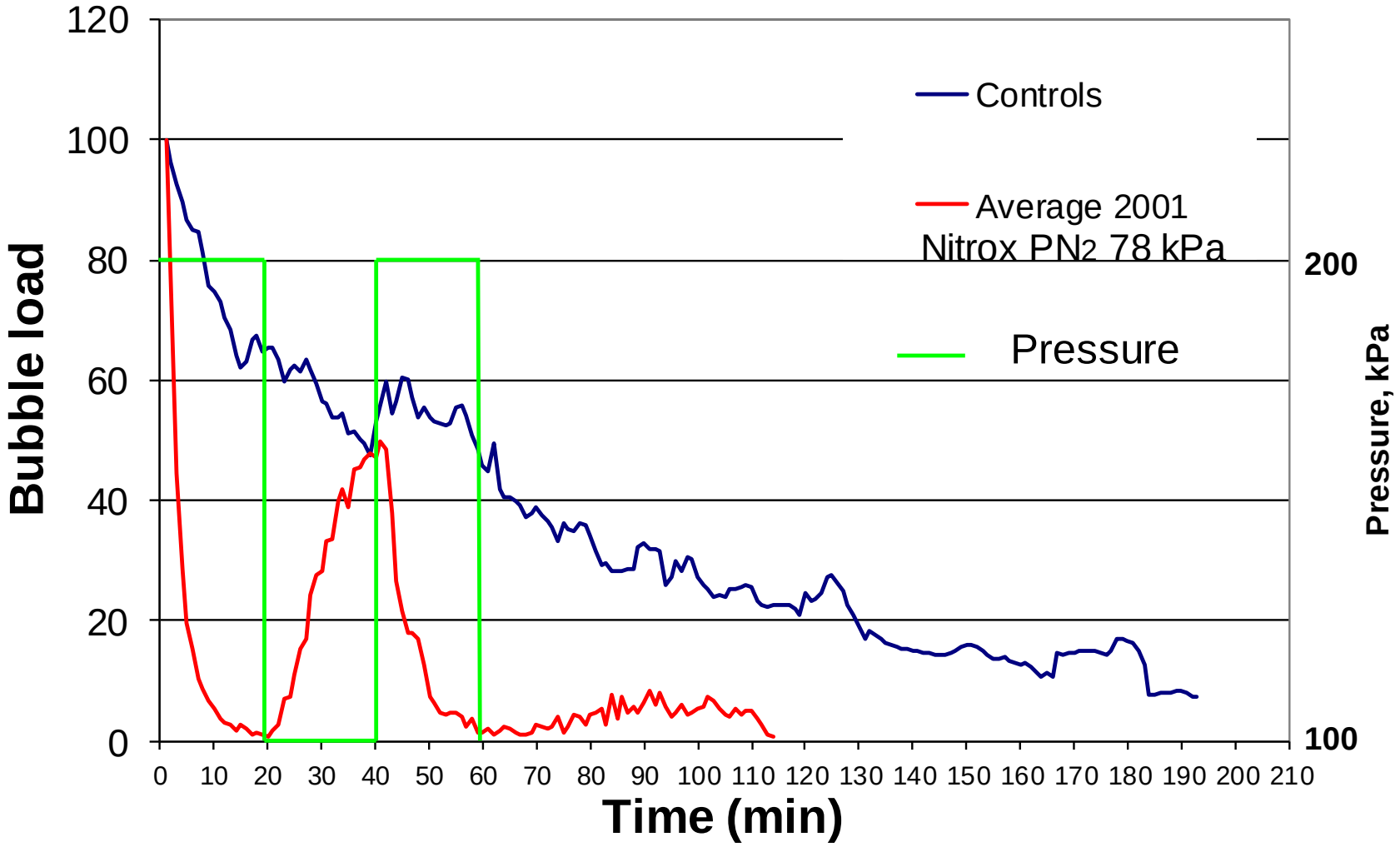
Koteng, Örnhagen and Brubakk. EUBS 1998

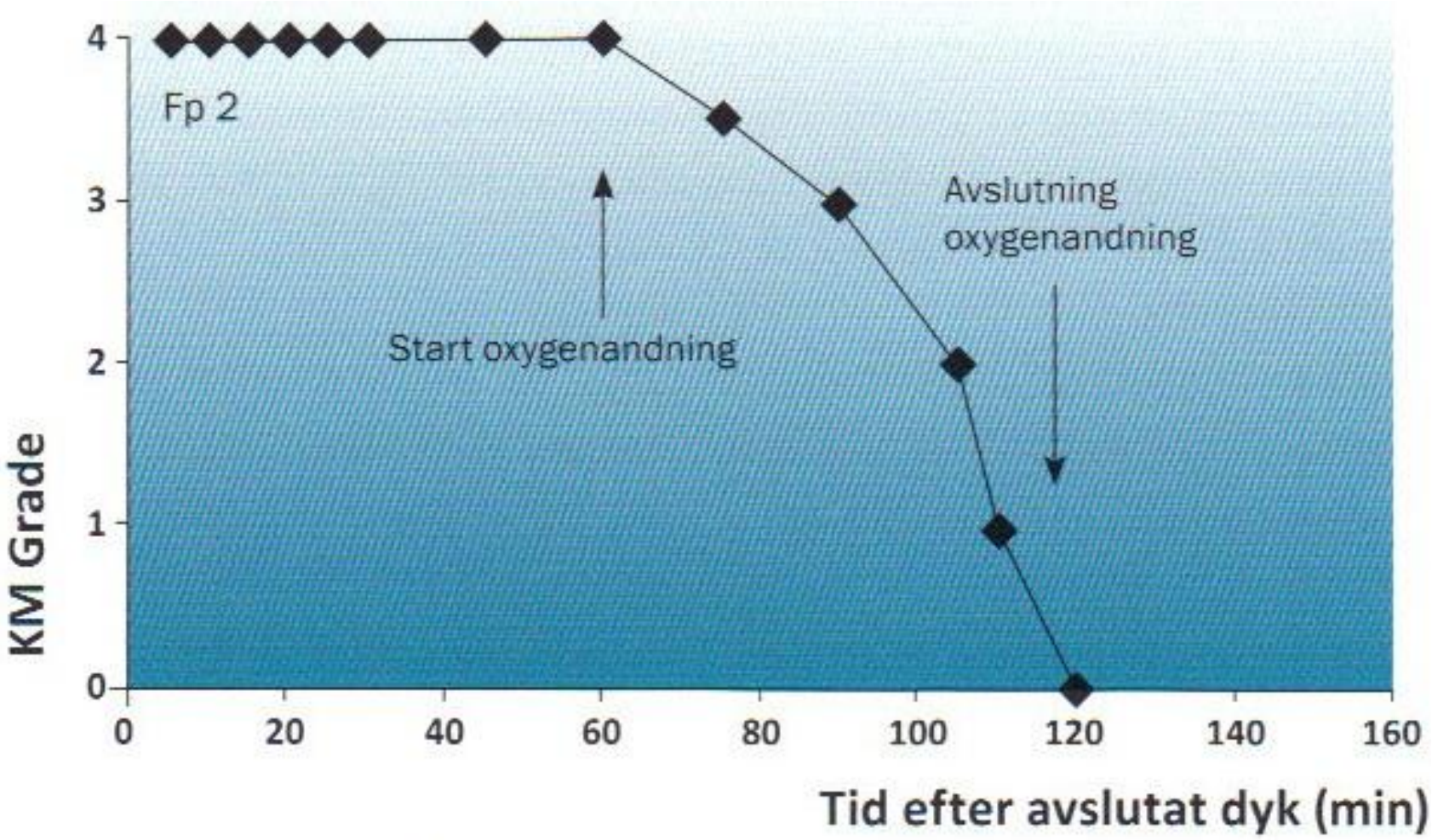


FOA Naval Medicine Division

UHMS 2000, The effect of pressure on bubble.....
Örnhagen, Koteng & Brubakk

Bubble wash out in anesthetized pigs after dry air dives breathing air at 100 kPa or 78 kPa nitrox at 200 kPa.

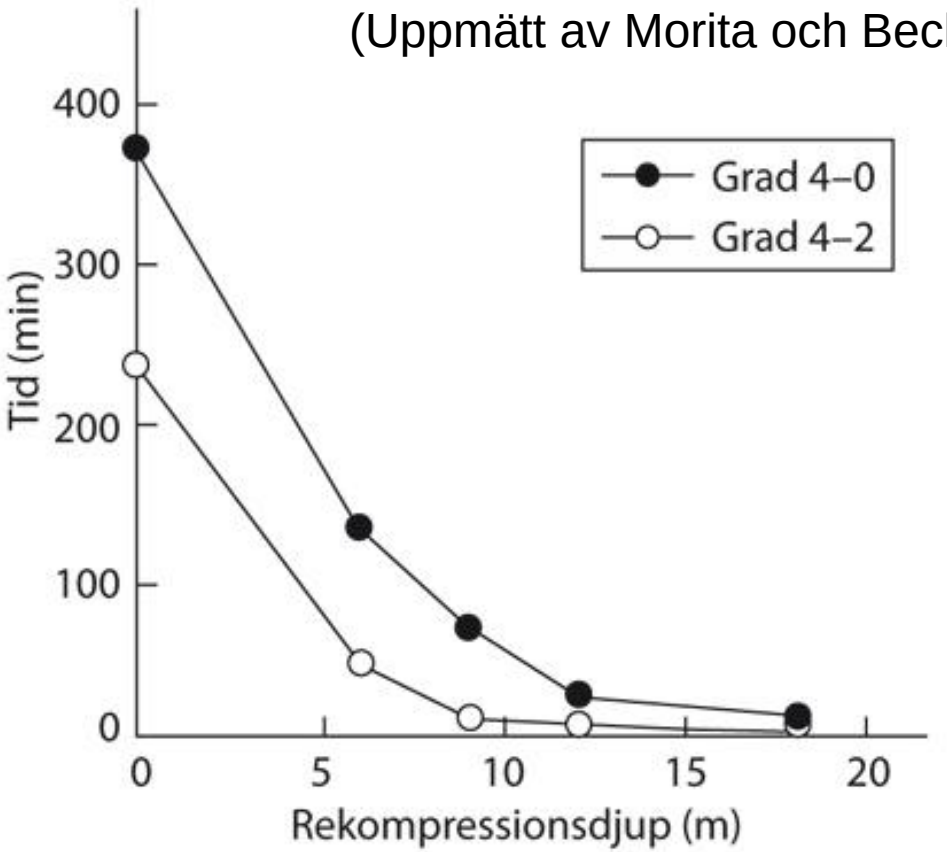




Ultraljudsregistrering från höger hjärthalva efter dykning med trimix till 40 meter i tryckkammare och oxygenandning på ytan med start 60 minuter efter avslutat dyk. **(Från Blogg & Gennser, EUBS Proceedings 2012.)**

Hur djupt måste man rekomprimera?

Tid för resorption av bubblor under oxygenandning vid olika tryck
(Uppmätt av Morita och Beckman 1989)



Bubblor 1

För att en bubbla, som kan vålla skada, skall kunna bildas krävs en störning i den över-mättade vätskan/substansen

- Oregelbundenhet i kapillärendotelet
- Kavitation
- Stabila mikrobubblor, som inte kollapsar, har någon form av ”skal”

Om det nu har bildas bubblor i kroppen. Vad händer då?

- Det behöver inte bli dykarsjuka
- Det beror på var de bildas. I fettväv märker vi kanske inte av bubblorna. I hjärnan kan det bli allvarliga neurologiska störning inkl. medvetslöshet. I benmärgen kan det bli diffus smärta.
- I venblodet stör bubblor de vita blodkropparna och kärlens insida, men filtreras sedan bort när blodet når lungorna.
- Den påverkade kärlväggen börjar ”läcka” vätska och svullnad bildas i vävnaden. (Svullnad i ryggmägen kan ge neurologiska bortfallssymtom, smärta och andra kliniska tecken, vilket kan förklara att Dykarsjukan kan te sig så varierande.)

Bubblor 3

- Bubblor tillväxer troligen på kapillärernas insida och släpper från väggen när blodflödet ökar eller bubblan blivit så stor att den hindrar blodströmmen.
- Genom att böja i en led eller krama en extremitet kan man åstadkomma en ”skur” med bubblor. som passerar i vensystemet på väg till lungorna.
- De första bubblorna i blod kan ses med ultraljudsteknik redan några minuter efter dekompression. Maximum ligger vanligen 20 - 60 min efter dekompression och bubblor kan ses timmar efter avslutat dykning.
- I vävnad kan bubblor kvarstå flera dygn.

Bubblor 4

Hur mycket venösa bubblor tål vi?

- Om gas infunderas i vensystemet så långsamt att hjärtats pumpförmåga inte störs sägs det att vi kan tåla upp till 1000 ml gas

- Behnke (1970) trodde att Haldanes övermättnadskvoter bara var ett mått på hur mycket gasbubblor vi kunde belasta lungorna med innan bubblor kom över på artärsidan

Hur länge kan bubblor stanna kvar i kroppen?

Undersökt av Hyldegaard och Madsen på 1990-talet.
Man injicerade gas i bukfett, ryggmärg, muskelväv och sena

I fett	>4 tim
I ryggmärgssubstans	> 4 tim
I senor	> 6 tim

Efter mättnadsdyk kan man med ultraljud finna gas 2 – 3 dagar efter avslutad dekompression.

BUBBLOR I VÄVNAD OCH VENÖST BLOD

- Bildas när gasens partialtryck överstiger omgivningstrycket

- Leder till allvarliga problem i CNS men märks ej i fett och muskel

- Bubblor i venblod påverkar blodceller (leuko- och trombocyter) samt komplement.

- Venösa bubblor filtereras bort i lungkapillärer

(OBS Venösa bubblor ej synonymt med dekompressions-sjuka)

- Om shunt finns i lilla kretsloppet finns risk för arteriella gasembolier (Allvarligt om de drabbar CNS)

SYMPTOM, FYND, TERAPI VID DEKOMPRESSIONSSJUKA

Dykarloppor	Klåda	Expektans
Marmoreringar	Blåröda hudmissfärgningar	Expektans, Oxygen på mask
Lymfbends	Ödem och svullnad	Expektans, ev Oxygen Ev rekompression
Ledbends	Djup molande smärta Ev lokal palp ömhet	Rekompression HBO
Mild chokes?	Extrem omotiverad trötthet	Omedelbar HBO
CNS-bends	Vanligen spinala neurologiska symptom och fynd	Omedelbar HBO
Verigo bends	Yrsel, illamående	Omedelbar HBO
Chokes	Andningsbesvär	Omedelbar HBO
	Cirkulationsshock(lågt bltr &hög puls)	
	Cyanos(blåfärgade läppar)	

Symptom och fynd bland 108 registrerade anmälningar år 2000 varav 33 behandlats för DS (Östra sjukhuset, Gbg)

	Vid debut	På sjukhus
• Känselnedsättning	45	12
• Smärta	31	15
• Konstig känsla (pirr och burr)	11	6
• Huvudvärk	10	1
• Klåda	9	0
• Illamående	8	3
• Yrsel	8	3
• Trötthet	6	2
• Övrigt	24	5

Ospecifika symtom efter dykning

År 2007 myntade Prof Alf Brubakk termen Adverse Effects of Decompression (AED).

Han fann att vid enkäter om symtom på dekompressionssjuka så angav dykarna nästan 10 ggr så många fall av DS som återfanns i statistiken över rekompressionsbehandlingar. Betydde detta att DS kunde läka ut eller var detta något annat? UHM 2007, Vol. 34, No. 2 – Venous gas bubbles and adverse effects of decompression.

Samma fynd gjordes vid en enkät sänd till dykarinstruktörer i Sverige. Hagberg, Örnhagen, och medarbetare. Förebyggande av dykrelaterade olycksfallsskador, en undersökning av dykarledare, divemasters och dykinstruktörer. Yrkes och miljömedicin Gbg. 2002.

Vad kan Du göra själv för att minska symtomen vid uppkommen dekompressionssjuka?

- Meddela dykarledaren eller någon annan att Du misstänker DS.
- Håll Dig i vila. Lägg Dig bekvämt.
- Be någon göra en enkel undersökning av och dokumentera de symptom och fynd Du har.
- Andas 100% oxygen och fortsätt med korta pauser tills läkare säger att Du skall sluta.
- Ring 112 och be att få tala med en dykläkare.
- Om Du inte har förlamning ovan höfterna eller sänkt medvetande så drick vätska (vatten eller sportdryck).

Vad kan Du göra själv för att minska risken att få DS

- Se alltid till att Du druckit tillräckligt före dyk
- Använd en ”säker” tabell eller dator
- Ha god kontroll på tid och djup
- Max 10 m/min uppstigning och alltid säk.stopp
- Lita inte enbart på datorer vid upprepade dyk
- Ta en dykfri dag emellanåt om Du dyker mycket

HANDLÄGGNING AV DEKOMPRESSIONSSJUKA

-Ställ diagnos Symptom, fynd, anamnes (dykdjup, tid, aktivitet)

-Terapi på plats **Oxygen**, vätska och vila

-Kontakt SOS Alarm och dykarläkare

-Transport **Oxygen**, vätska och vila om inte läkare sagt annat

-Inkomststatus Läkare bedömer patienten

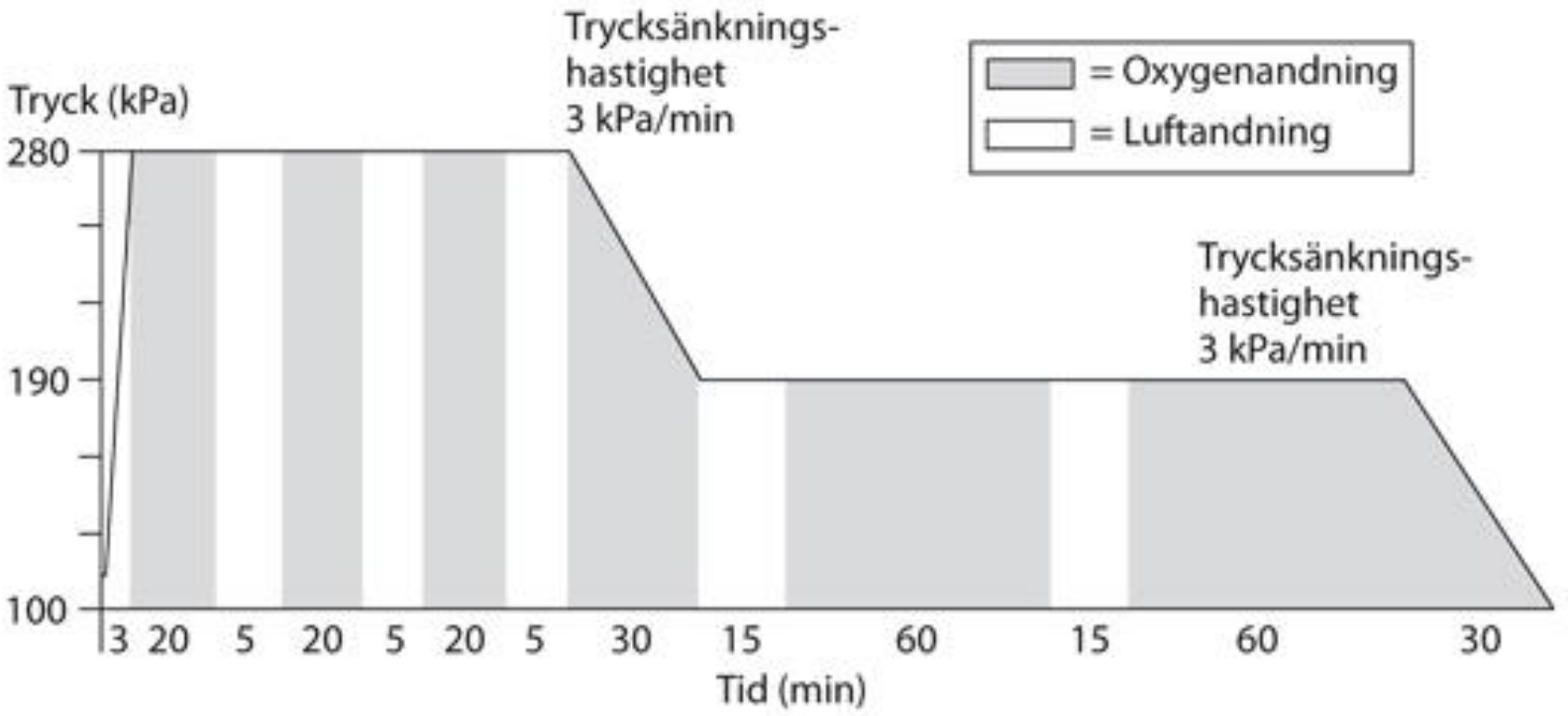
-Rekompressions-

behandling

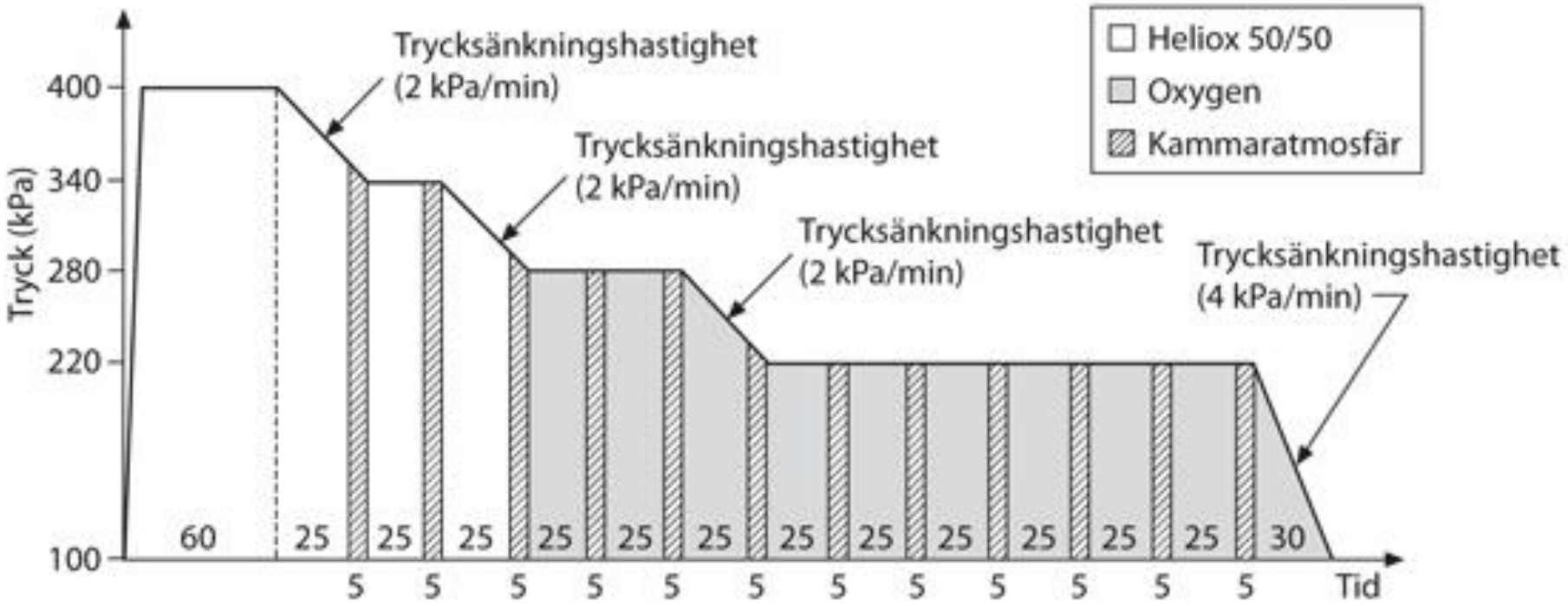
Tid	
0	Till 280 kPa i kammare med **oxygenandn**.
	Luftpaus 5 min var 20 min
	Om symptom och fynd är borta
75	Dekompression till 190 kPa under 30 min
	På 190 kPa Luftpaus 15 min var 60 min
225	Dekompression till 100 kPa under 30 min
	Om pat ej är helt återställd kan tider på 280 och 190 kPa förlängas.

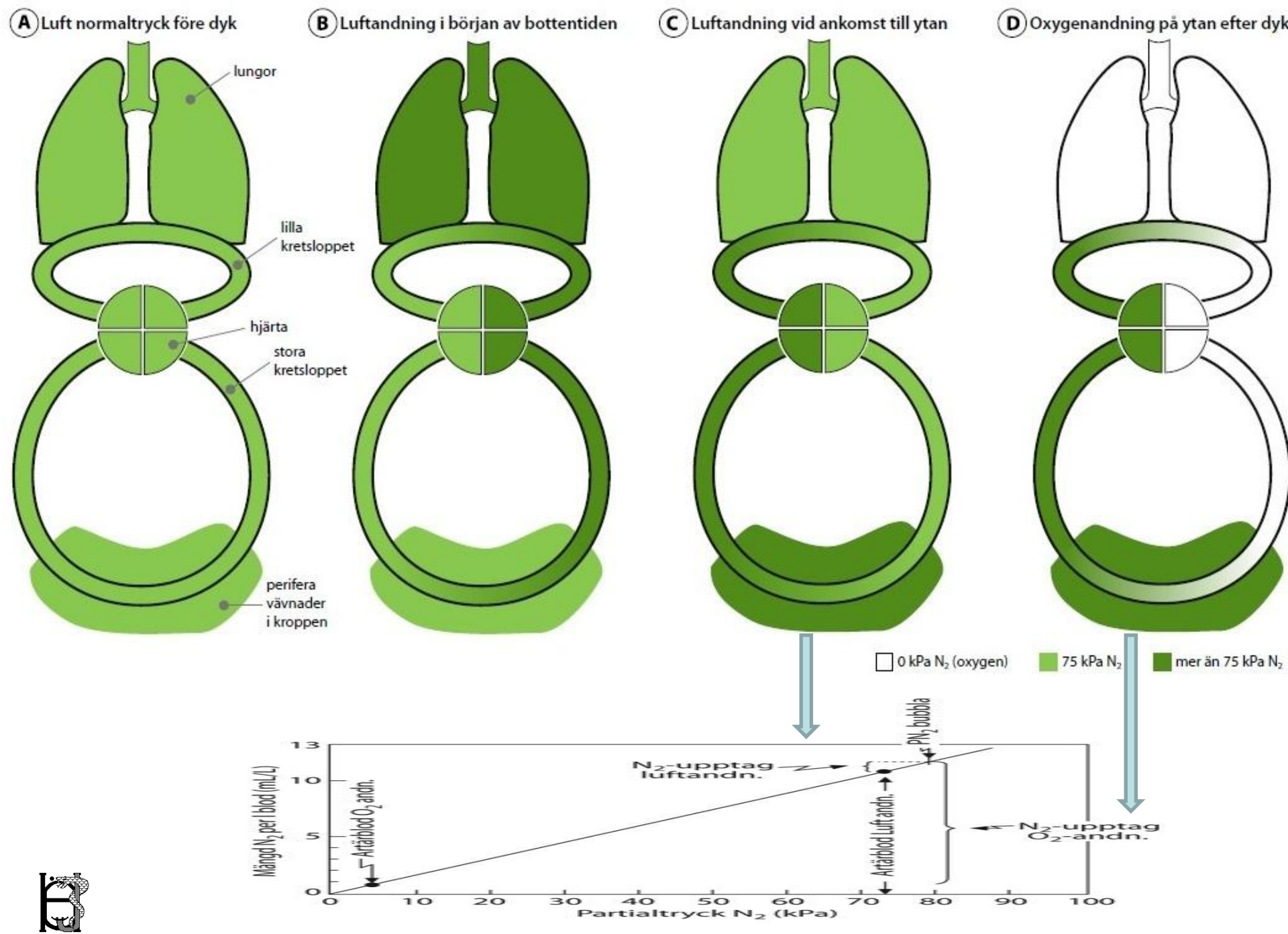
-Status efter behandling Eventuellt kan 5 uppföljande behandlingar göras var 12:e eller 24:e tim

Tabell 6. Rekompression till 280 kPa med oxygenandningsperioder



Comex 30_{86} rekompression med heliox eller nitrox till 400 kPa och oxygen från 280 kPa




A Luft normaltryck före dyk
B Luftandning i början av bottentiden
C Luftandning vid ankomst till ytan
D Oxygenandning på ytan efter dyk
lungor
lilla kretsloppet
hjärta
stora kretsloppet
perifera vävnader i kroppen
0 kPa N2 (oxygen)
75 kPa N2
mer än 75 kPa N2
PN2 bubbla
N2-upptag luftandn.
Artärblod O2 andn.
Artärblod Luft andn.
N2-upptag O2-andn.
Mängd N2 per l blod (mL/L)
Partialtryck N2 (kPa)
0
5
10
15
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

Några påståenden om dekompression.

- Obehandlad DS kan kanske leda till osteonekros, men detta är inte säkert visat.
- Helium ger långsammare deco än N_2 efter punkt-dyk, men snabbare deco än N_2 efter mättnad.
- Oxygenandning efter dyk påskyndar eliminering av mikrobubblor och fysikaliskt löst inertgas.

From Divers Alert Network web page, March 2015

Question:

I just need a medical advice about the following: what is the minimal stay (time) before diving again for people who get decompression sickness (suspicion of air embolism) with neurological trouble and was treated in a recompression chamber (15 m / 4h35)?

Answer:

After a neurological decompression illness, with no sequelae, the current recommendations vary from 7 days to six months and more depending on the issuing organisation.

From Diving Medical Advisory Committee DMAC, 2015

http://www.dmac-diving.org/

Guidance The following minimum periods are recommended before returning to diving after decompression illness.

A Limb pain, cutaneous (skin rash with severe itching), lymphatic (swelling of tissues) or non-specific (persistent headache, excessive fatigue, loss of appetite, nausea) **With uncomplicated recovery: 7 days lay-off** Where there has been a recurrence requiring further recompression: **14 day layoff**

B Neurological or pulmonary manifestations: i) Altered sensation involving the limbs only: 7 day layoff Return to diving only after review by a diving medicine specialist ii) Other neurological (including audiovestibular) or pulmonary manifestations: **28 day lay-off** Return to diving after new FTD.

C In cases where there are significant residual neurological manifestations, even after repeated treatment, the diver should normally be considered unfit to dive. Return to diving should only be permitted if sanctioned by a diving medicine specialist.

A) Limb pain, or non-specific manifestations (DMAC 2022)
(e.g., persistent headache, excessive fatigue, loss of appetite, nausea)
– With uncomplicated recovery: 7 days
– After recurrence or relapse and further recompressions 14 days

B) Cutaneous and lymphatic manifestations without neurological involvement,
i.e. skin rash with severe itching or swelling of tissues: 7 days

C) Neurological manifestations uncomplicated and complete recovery after one recompression treatment
– No involvement of visual, cognitive, brain stem, vestibular, cerebellar, autonomous or motor function: *Return to diving only after review by diving medicine expert.* 28 days
– Pulmonary DCS (Chokes), visual, cognitive, brain stem, vestibular, cerebellar, autonomous or motor dysfunction: *Return to diving only after review by diving medicine expert.* *3 months*

London Diving Chamber. The web March 2015

(http://www.londondivingchamber.co.uk/)

- Divers who have had a successfully treated pain only bends DCI can return back to diving 7 days after treatment
- If the DCI was more serious, there should be a period of minimum 4 weeks for professionals and 6 weeks for sportsdivers
- If the treatment was for serious AGE there may be doubt whether a diver should ever return to diving.

From: Dr Ernest Campbell, Scuba Diving.com

The recommendations for diving after a bout with the bends:

•**Type I DCS—**If uncomplicated and produced by exceeding dive profiles or ascent rates, a diver may return to diving **in four weeks**.

•**Type I DCS, unexpected—**Should return to diving only after ruling out diseases and factors that might increase susceptibility. Change of diving to a more conservative pattern.

•**Complicated Type I; neurological and other Type II DCS—**Return to diving in a limited manner (no decompression dives, bottom times halved, maximum depth 50 feet and surface intervals of six hours) **one month after identifying all causes and undergoing full neuropsychological assessment**.

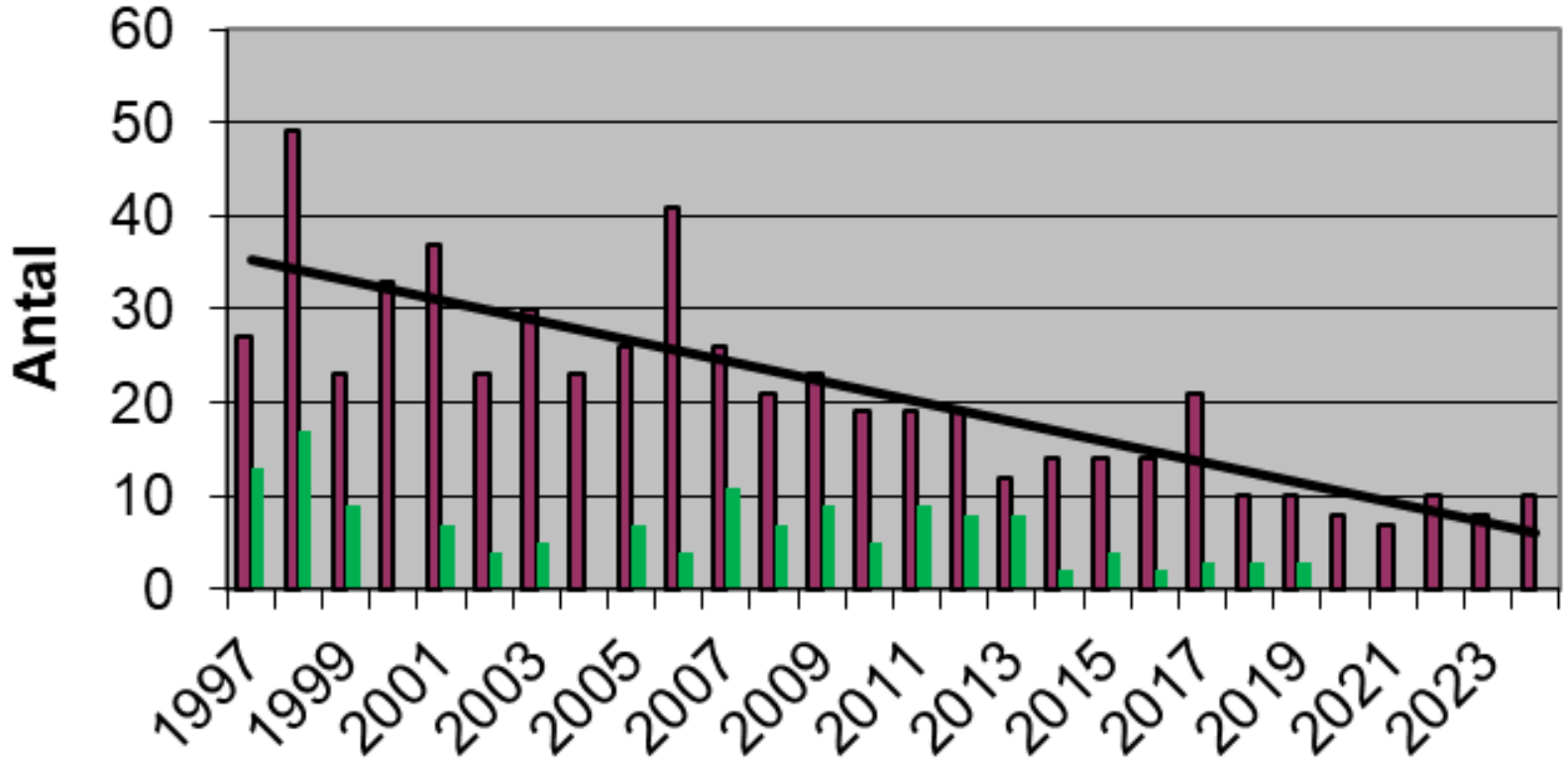
Take home message

- After minor DCI problems, skin marbeling and itching you can dive the day after, but with care.
- After sucessfull HBO treatment of limb bends you should not dive the nearest 1 to 4 weeks
- The convalescence after HBO treatment of neurological DCI could range from 1 to 6 months depending on how serious the DCI was and the authority giving the advice.
- If there are sequaele (remaining symptoms after the HBO and convalescence) the diver should not return to diving.

Rekompressionsbehandlade dykare i Sverige 1997 - 2024.

(Svart linje = linjär regression)

Gröna staplar, behandling på sjukhus med enbart normobar oxygen.



Även i Australien, England, Nya Zealand och många andra länder sjunker antalet rekompressionsbehandlingar.

Varför är det så?

- Sportdykning förefaller minska i omfattning globalt
- Det dyks mindre per år i kalla vatten och relativt sett mer i tropikerna
- Dykdatorerna har blivit säkrare
- Man använder mer nitrox
- Många behandlar sig själva med oxygenandning och söker inte vård

From CEN-standard: **EN 14467**
Recreational diving services - Requirements for recreational scuba diving service providers

4.4 Emergency equipment and procedures
4.4.1 Emergency equipment

For all locations where diving activities take place the service provider shall ensure the availability of:
- a first aid kit suitable for the planned diving activities,
- an emergency oxygen unit with a capacity of delivering at least 15 litres/min of pure oxygen for at least 20 min,
- a communication system suitable for alerting emergency services.

My comment:
This correspond to a total of 300 NL or 200 Bar in a 2L bottle.
This is too little. You need at least twice as much.