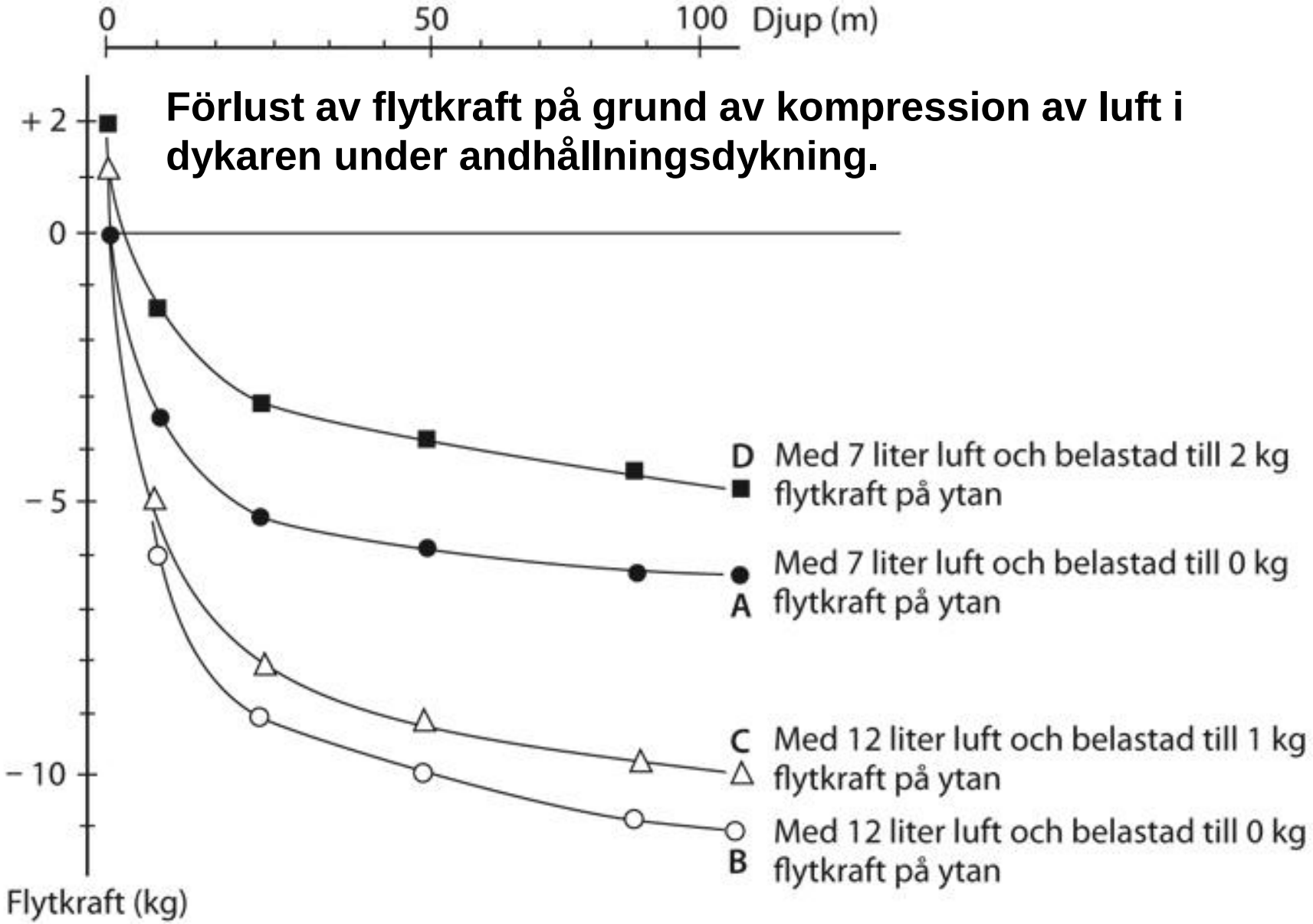
Andning och cirkulation under dyk 2025

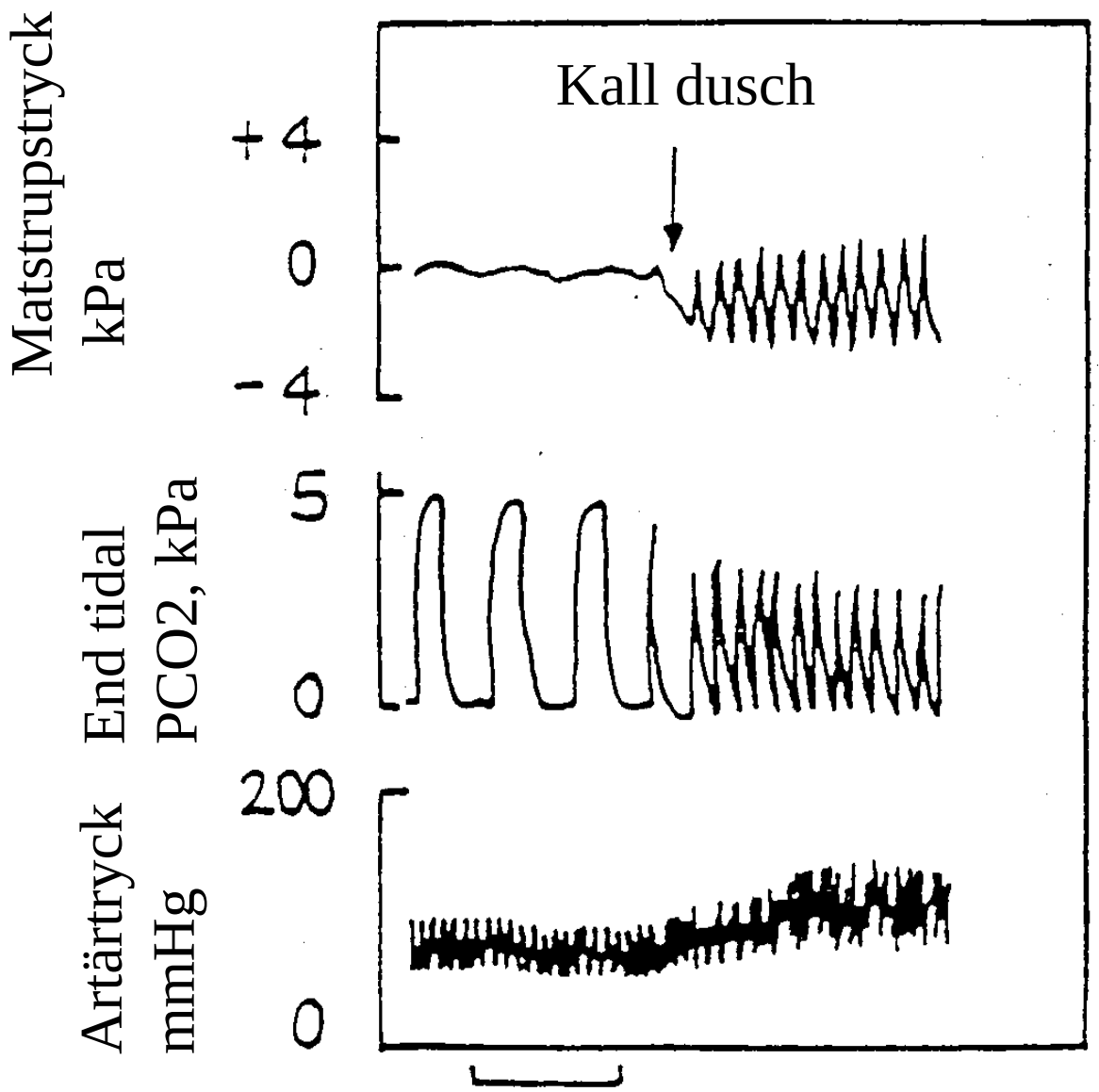
Hans Örnhagen, MD, PhD

Vi flyter på våra lungor

• 10% av 20-åriga män har negativ flytkraft vid FRC. (Måste andas in till större lungvolym eller simma för att förbli flytande)
• När vi andas rör vi oss upp och ner i vattnet både i ytan och när vi dyker med öppna system. (Gäller inte dykning med rebreather)
• Dräkten ändrar (minskar) flytkraft med djupet (stigande tryck). Så även lungorna vid andhållningsdykning.
• Apparaten ändrar (ökar) flytkraft med luftförbrukningen. (Väger c:a 2 – 3 kg mindre i slutet av ett dyk)

Förlust av flytkraft på grund av kompression av luft i dykaren under andhållningsdykning.




Kall dusch
Matstrupstryck
kPa
+ 4
0
- 4
End tidal
PCO2, kPa
5
0
Artärtryck
mmHg
200
0
10 Sekunder

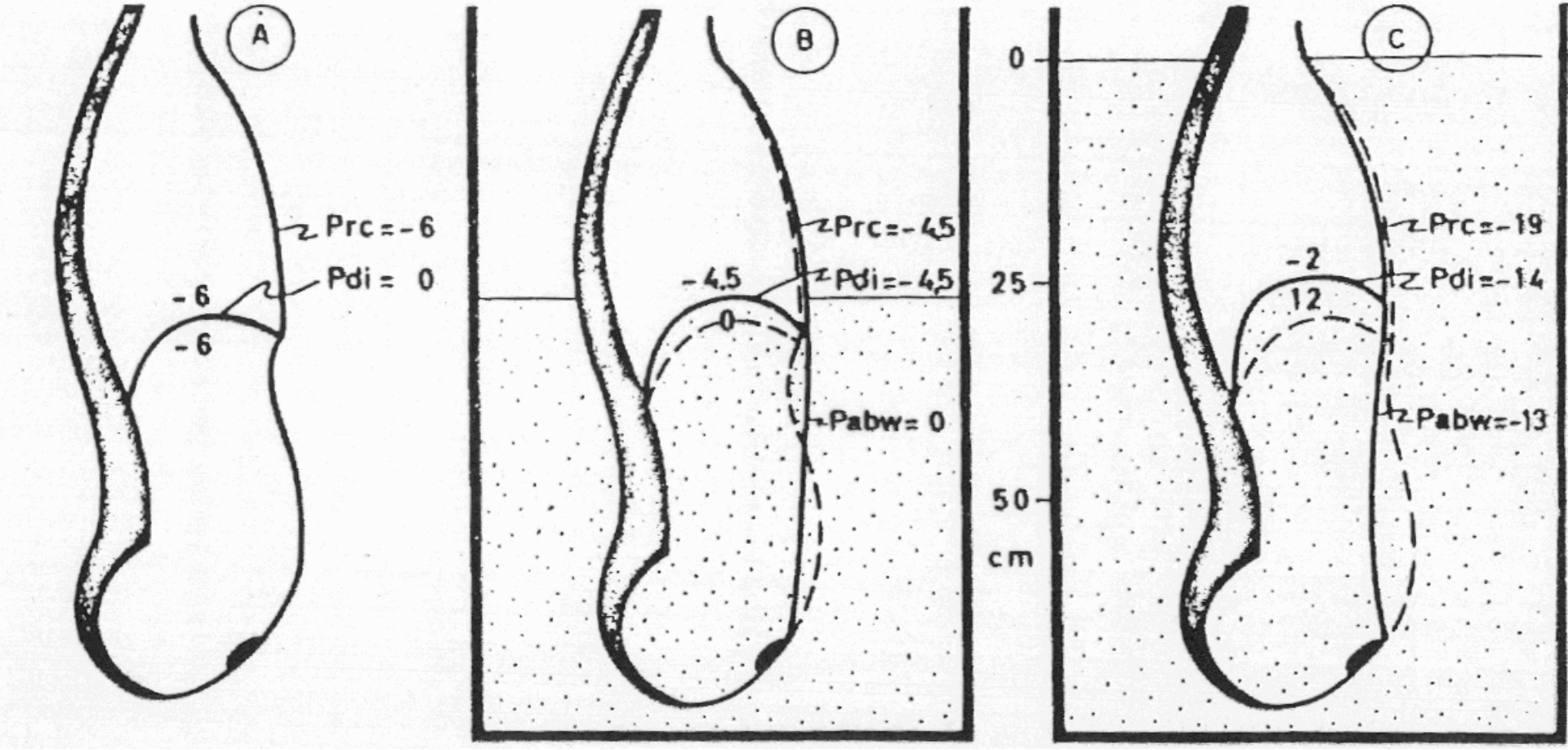
STRAHLIX

Tryck kring diafragma vid FRC under tre omgivningsvillkor

A Torrt

B Immerssion till bröstbenet

C Immerssion till jugulum



Från: Gauer

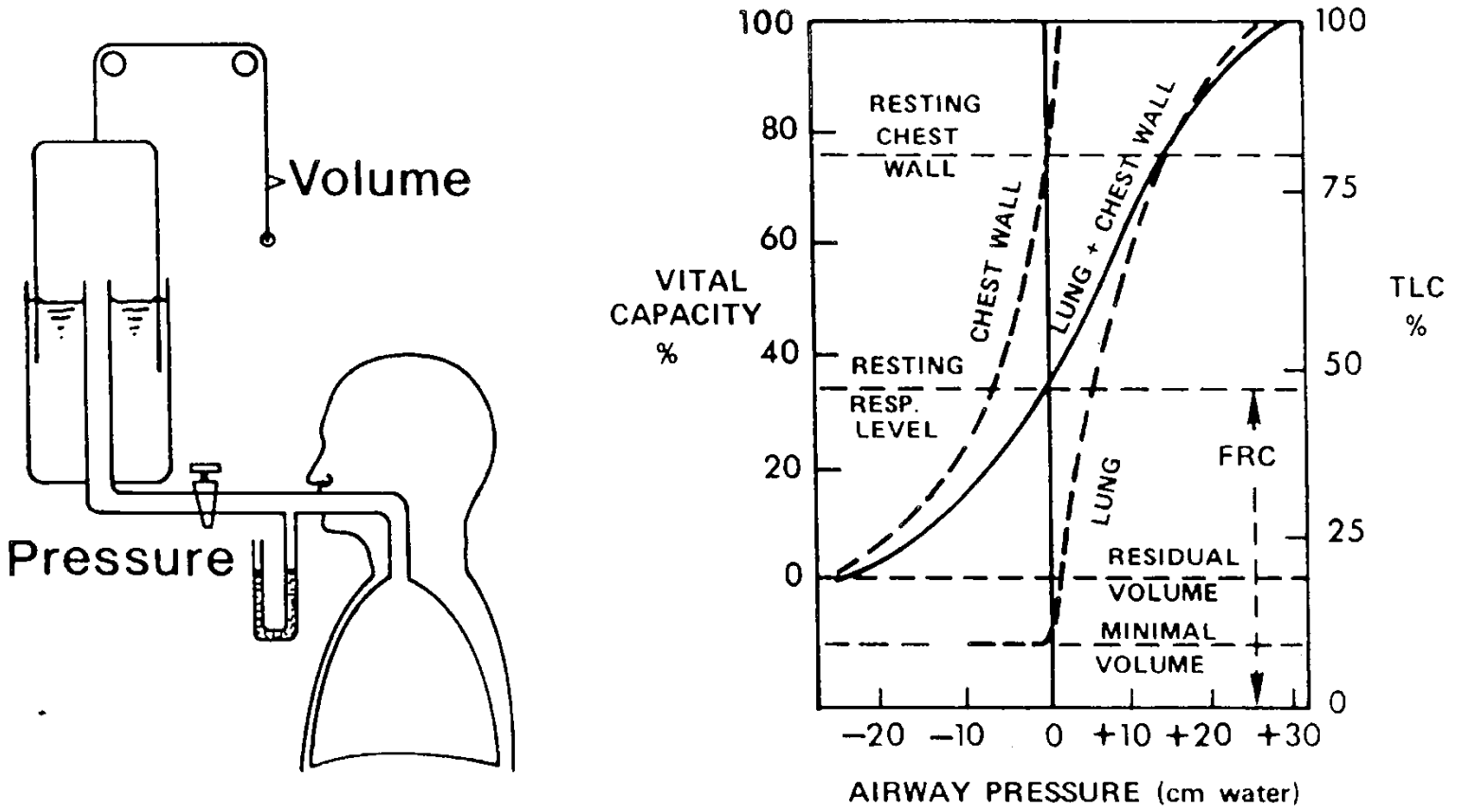


Figure 65. Relaxation pressure-volume curve of the lung and chest wall. The subject inspires (or expires) to a certain volume from the spirometer, the tap is closed and he then relaxes his chest. The curve for lung + chest wall can be explained by the addition of the individual lung and chest wall curves. (Modified from Rahn, H., A. B. Otis, L. E. Chadwick, and W. O. Fenn. *Am. J. Physiol.* 146: 161, 1946.)

www.ornhagen.se

Hydrostatisk belastning ger ändring i FRC eller ökning av andningsarbetet

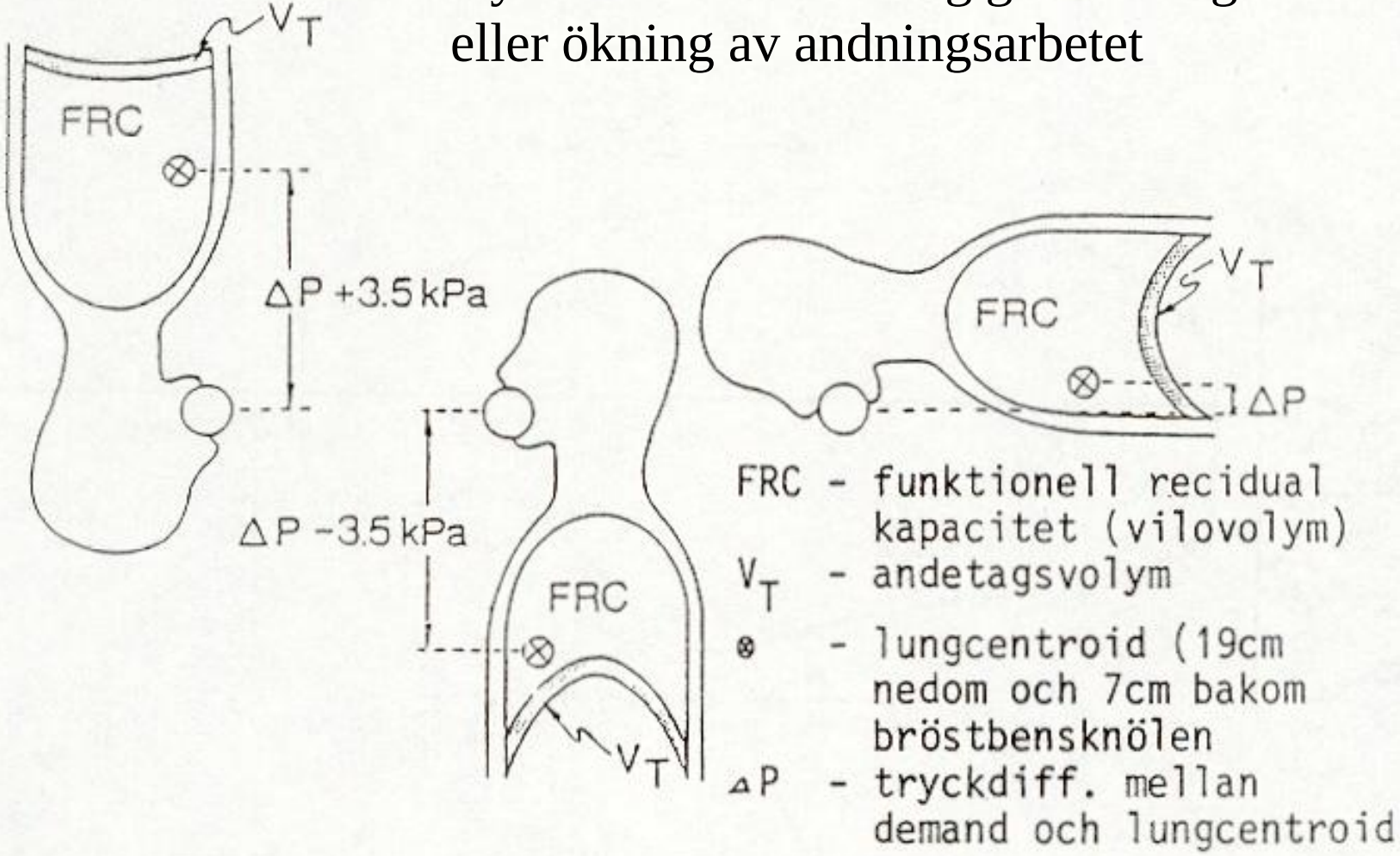
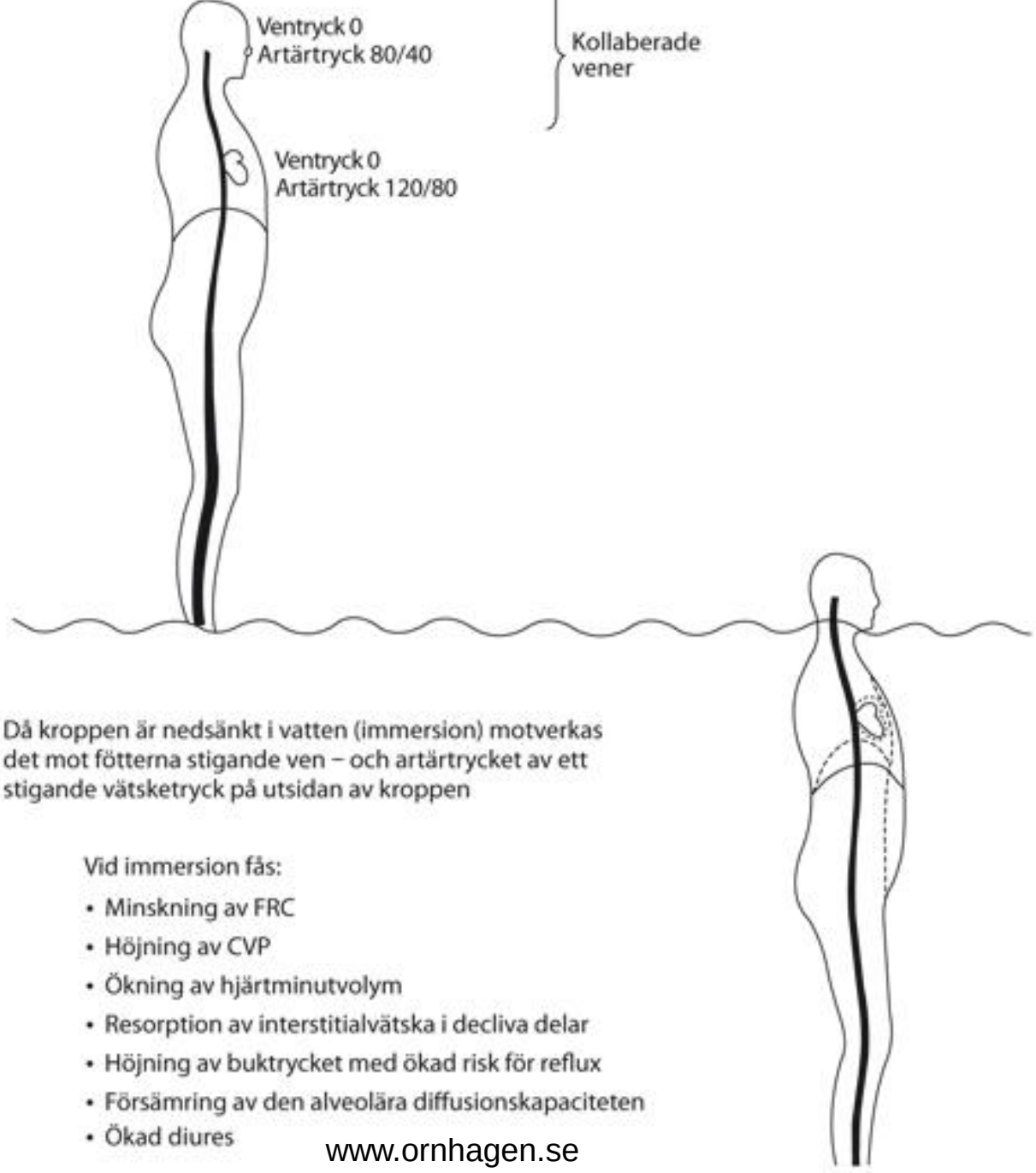


Fig III: 12 Illustration av tryckdifferens mellan lunga och andningsventil vid tre olika attityder i vattnet (jmf fig III:1 och III:5). (Från Örnhagen; Concepts of future deep diving breathing equipment; physiological aspects. Proceedings from Offshore Göteborg 1985.)



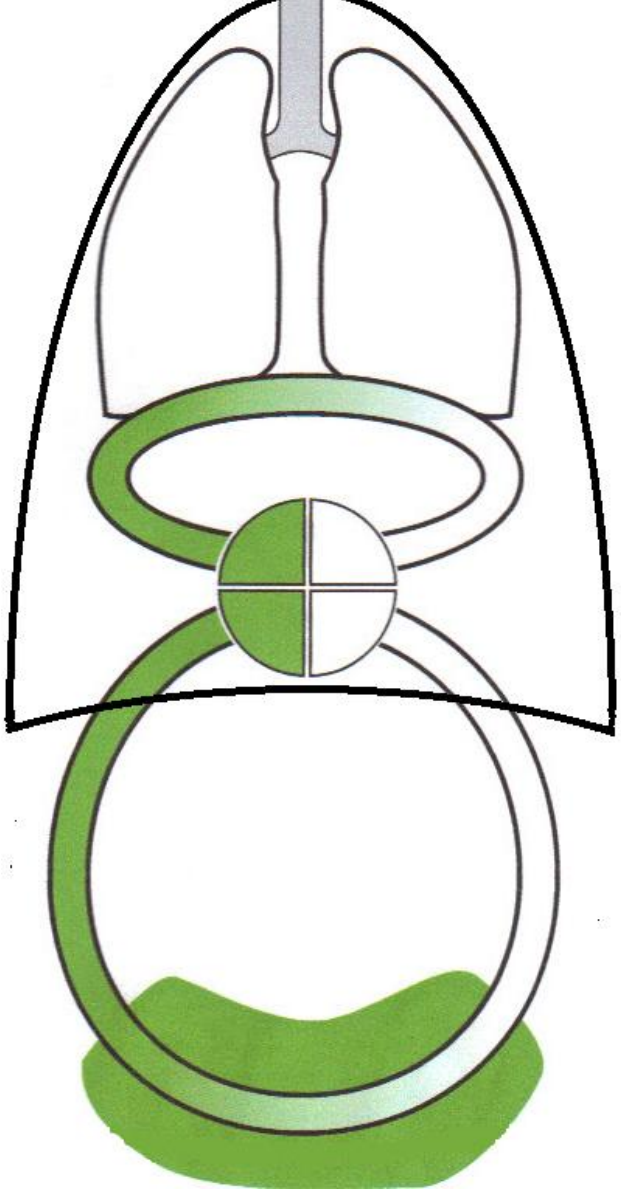
Då kroppen är nedsänkt i vatten (immersion) motverkas det mot fötterna stigande ven – och artärtrycket av ett stigande vätsketryck på utsidan av kroppen

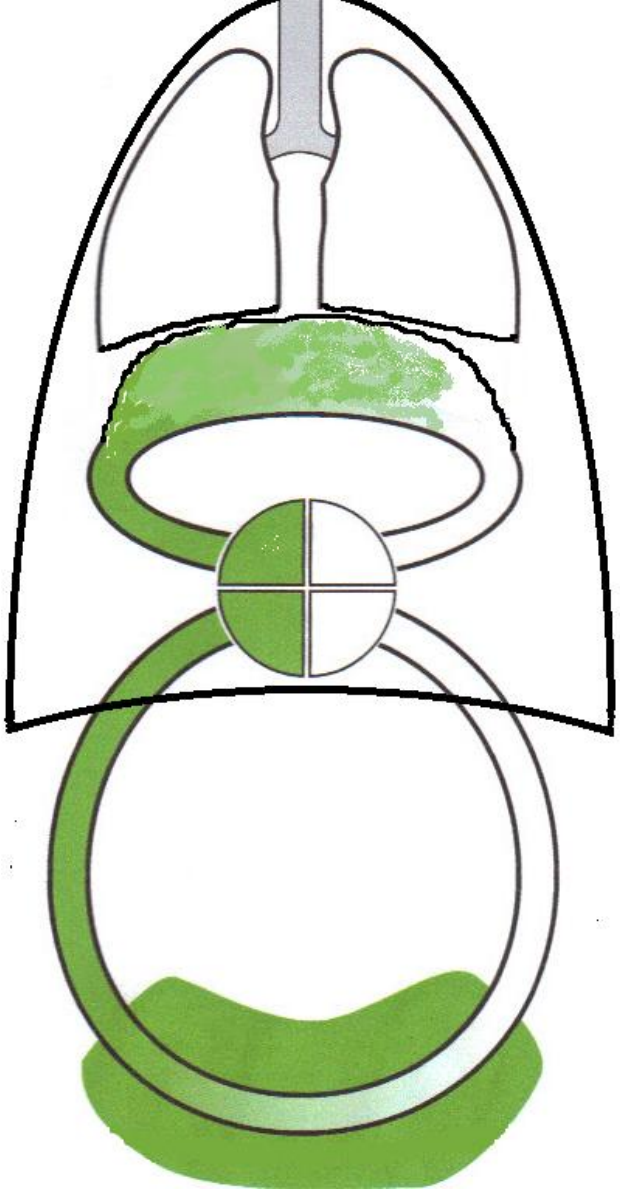
Vid immersion fås:

- Minskning av FRC
- Höjning av CVP
- Ökning av hjärtminutvolym
- Resorption av interstitialvätska i decliva delar
- Höjning av buktrycket med ökad risk för reflux
- Försämring av den alveolära diffusionskapaciteten
- Ökad diures

Autotransfussion vid immerssion orsakar:

- Upp till 700 ml ökning av blodmängden i lilla kretsloppet
- Ökad diastolisk fyllnad, vilket ger ökat cardiac output.
- Minskning av den tubulära vatten-reabsorptionen, vilket ger ökad urinproduktion.
- Ändring av VA/Q, vilket leder till att SaO_2 går ner lite.
- Förhöjning av lungkapillärtrycket, vilket kan leda till lungödem (SIPE, Swimming Induced Pulmonary Edema), men kanske också en försämrad filterfunktion för venösa gasbubblor.





Lungödem pga stor hydrostatisk imbalans

- Något vi blivit varse på 2000-talet
- Få fall rapporterade. Har betraktats som drunkning.
- Upplevs som plötsligt ökat andningsmotstånd och lufthunger av de som överlevt.
- Förefaller kunna drabba även unga starka individer.
- Vi vet inte varför vissa lungor plötsligt tappar förmågan att hålla kvar vätskan i kärlsystemet.
- Om dyket avbryts och dykaren kommer ur vattnet går det tillbaka på c:a ett dygn.

Lungöden hos scuba dykare.

Hamson and Dunford UHM 1997;24(1) 29

Fynd/symtom	Hamson & Dunford	Wilmshurst	Pons
Dyspné	6/6	11/11	2/3
Hosta	5/6	11/11	3/3
Orthopnea	2/6	11/11	0/3
Skummande sputa	3/6	7/11	2/3
Hemoptysis	2/6	6/11	2/3
Thoraxobehag	2/6	0/11	0/3
Syncope	0/6	2/11	0/3

Sammandrag av litteraturen om lungödem under scubadykning

Utdrag från Cochard et al, UHM 2005; 32(1)

Författare	Personer Antal/ män	Ålder, Medel (Range)	Lägsta vatten-temperatur	Dyk Djup / tid
Wilmshurst et al 1989	**11 / 8**	**45.6 (38 – 60)**	**< 12 C**	**Inga uppgifter**
Hampson et al 2001	**6 / 2**	**43.3 (24 – 60)**	**4 – 27 C**	**4 – 30 m 5 – 20 min**
Slade et al 2001	**8 / 3**	**52.4 (45 – 61)**	**10 – 26 C**	**4 – 34 m nd**
Cochard et al 2005	**5 / 4**	**49.4 (37 – 56)**	**10 – 17 C**	**17 – 43 m 7 – 24 min**

Länk till P Wilmshursts fantastiska föredrag om SIPE https://vimeo.com/240452778

Gempp et al.
Military Medicine 2011;176:446-50

- In 153 diving injuries among French military divers using re-breathers between 1979 and 2009 there were 11 cases of immersion pulmonary oedema reported.
- 10 were with back mounted re-breathers.
- There is no information about use of open circuit in the same divers.

Orsaken till att det går att spara gas med återandningsapparat är

- Vi andas primärt för att vädra ut koldioxid
- Vi utnyttjar bara 25% av oxygenet i luften
- Genom att absorbera koldioxid i en kalkpatron kan luften återandas
- Om vi höjer oxygenandelen i gasen kan gasen återandas fler gånger
- Risken med det förfarandet är att oxygen-partialtrycket kan bli för högt på större djup och för lågt om reglerfunktionen faller bort eller man använder fel förrådsgas.

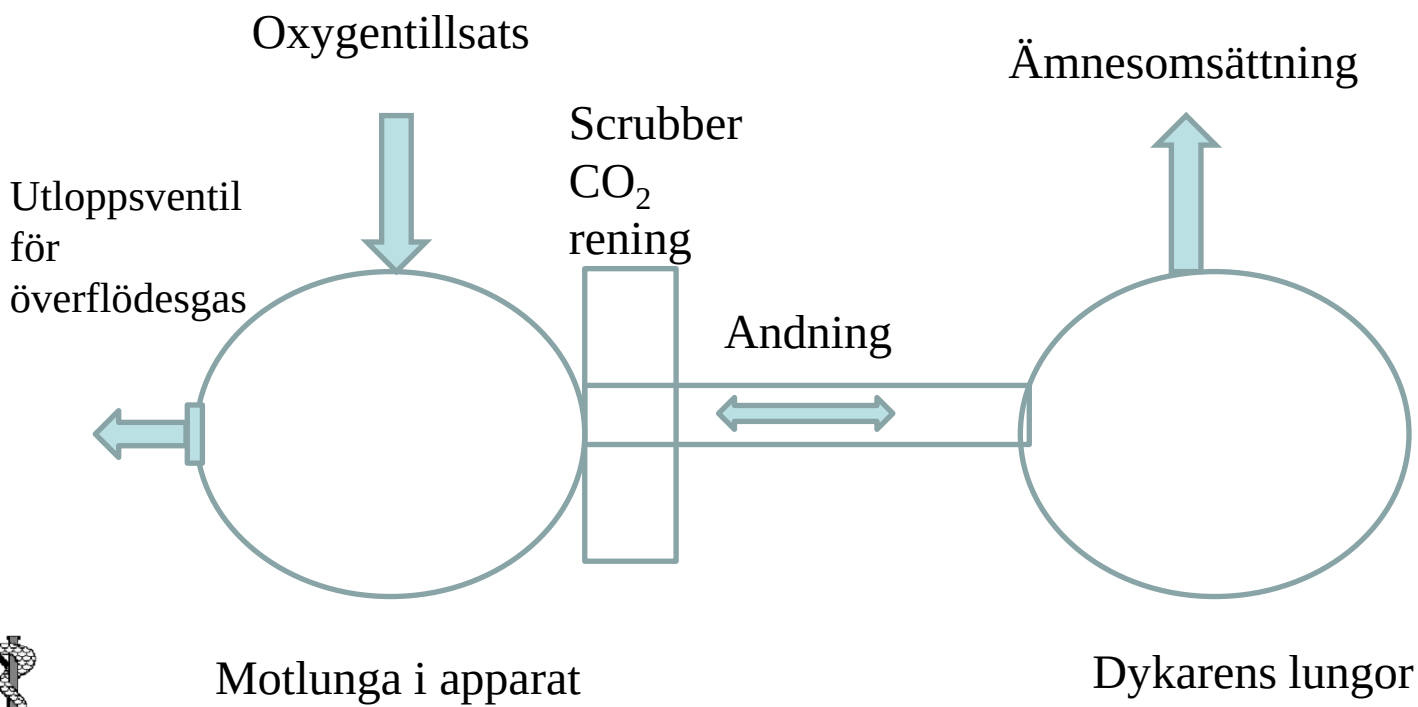
En schematisk återandningsapparat.

Oxygenkoncentrationen vid steady state är en balans mellan O_2-tillförsel och ämnesomsättning. Oxygentillförseln kan vara:

1 Fast flöde av ren O_2 eller pre-mix

2 Mekaniskt styrd av andningen med ren O_2 eller pre-mix

3 Elektroniskt styrd av O_2 sensor och ren O_2



Varför är rebreathers ”farligare” än vanlig öppen scuba?

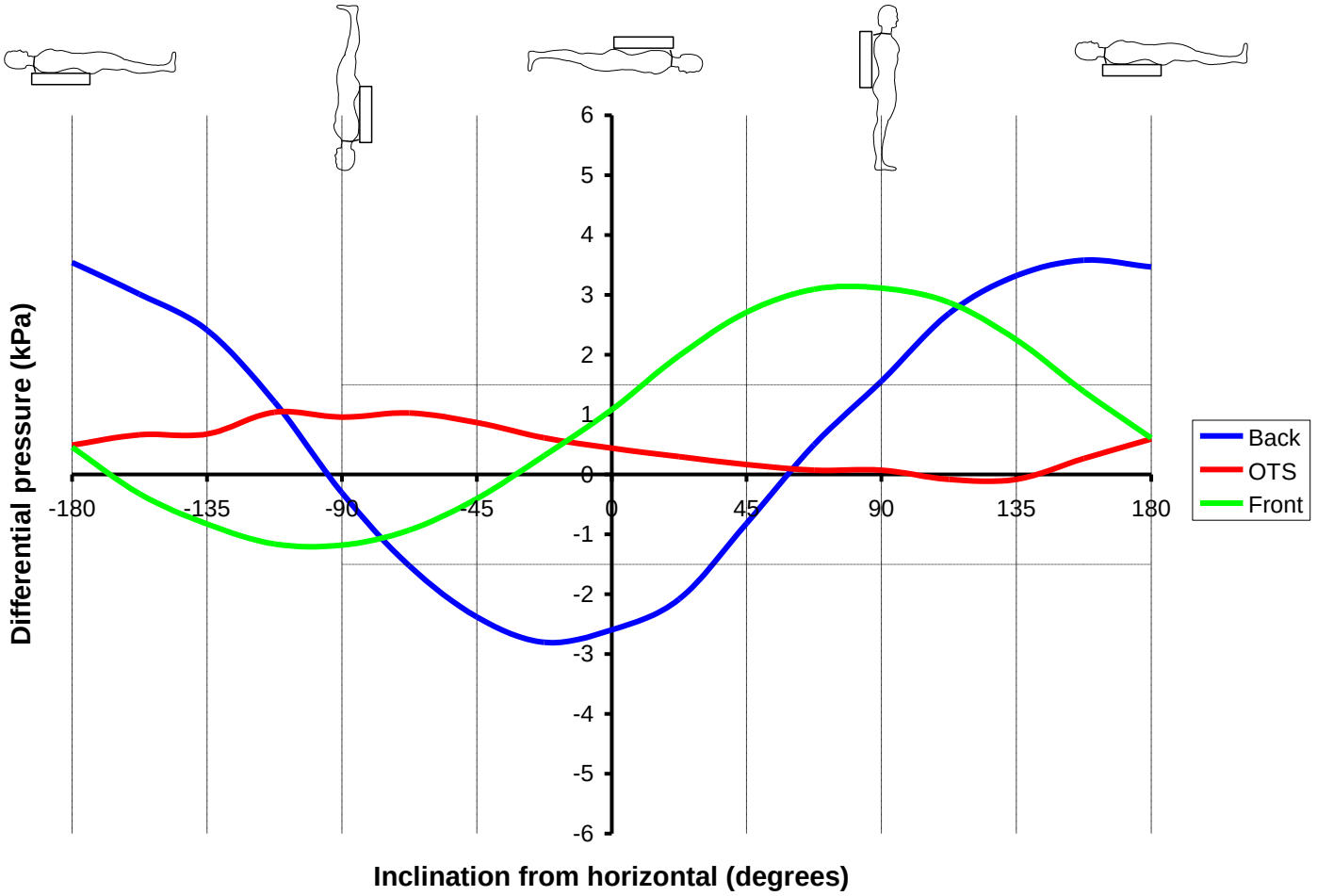
- Med öppen scuba vet du vad du får om du får någon gas. → Får du ingen gas avbryter du.
- Med rebreather kan du få fel gas utan att märka det → Du andas vidare utan att veta att du är på väg mot problem

Rebreathers kan ge extrema statiska andningsbelastningar.

- Beror på säckplacering och attityd i vattnet
- Varierar med andetag och förrådsgastillförsel
- Varierar med inställning på dumpventil

Counterlung Position - Pitch

Gavin Anthony, EUBS Re-breather Workshop, August 2003

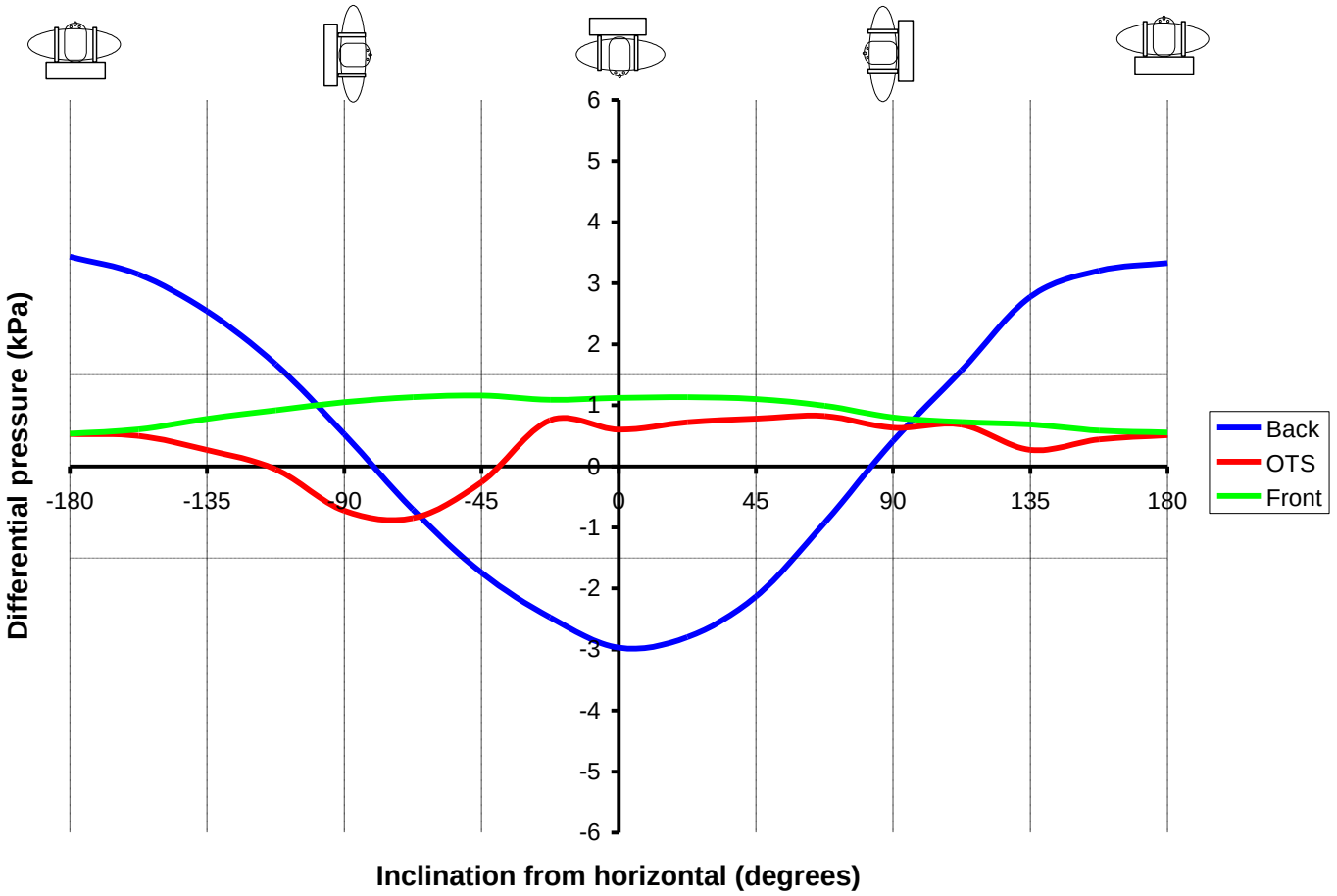


Referenced to supra-sternal notch

www.ornhagen.se

Counterlung Position - Roll

Gavin Anthony, EUBS Re-breather Workshop, August 2003



Referenced to supra-sternal notch

www.ornhagen.se

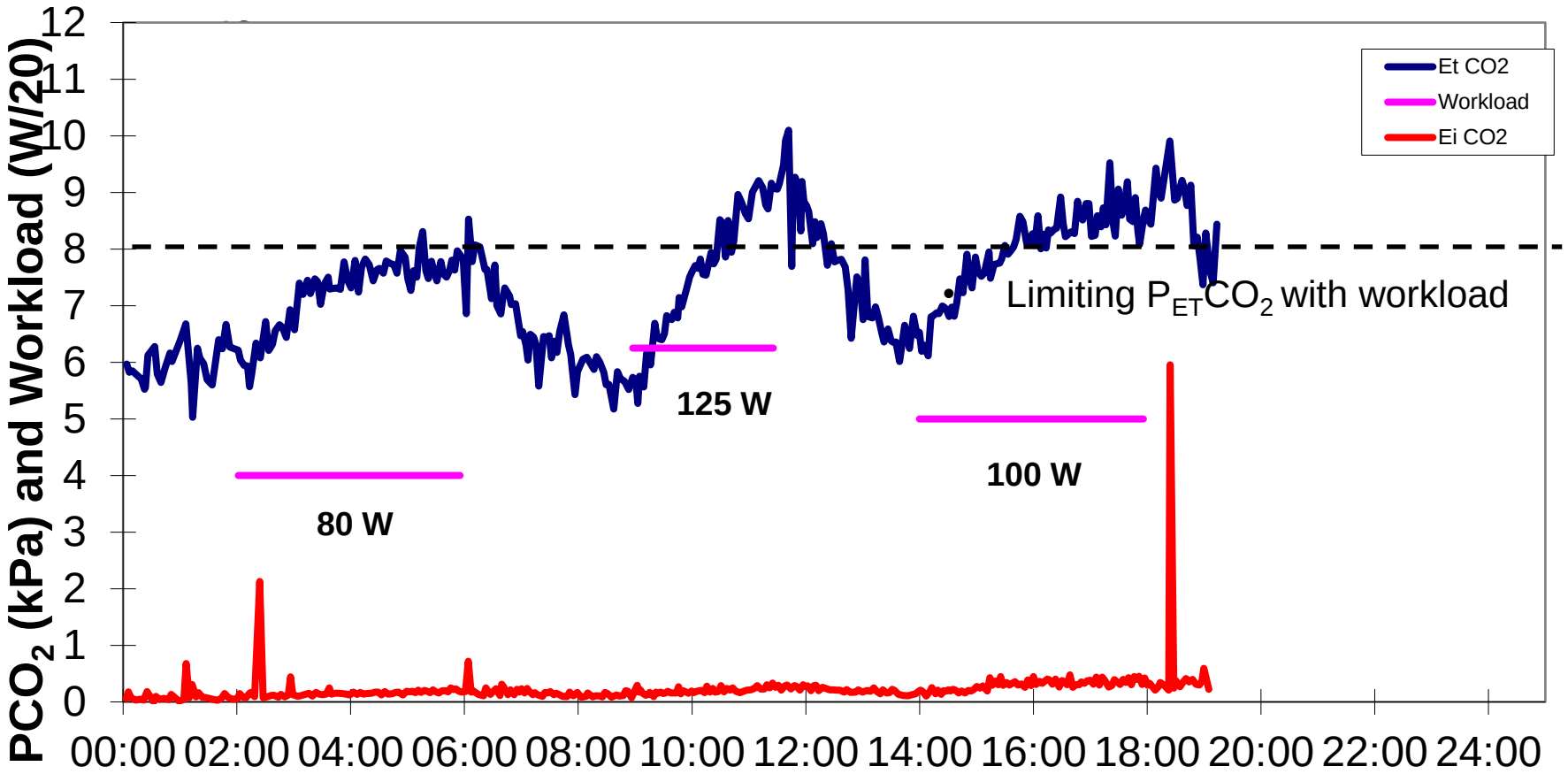
De viktigaste riskfaktorerna vid rebreatherdykning I

Hyperkapni (för mycket CO_2) ger stort andningsarbete genom ökad ventilation och dessutom ökad risk för oxygenkramp

- Backventilfel
- Absorbatorfel
  - Scrubbern inte fylld eller bytt
  - Felaktigt scrubbermaterial
  - För låg vattentemp. för scrubbern
  - Vatten i scrubbern. (Kan dessutom ge lutskada)

Manned trials - carbon dioxide levels

From: G Anthony in EUBS Rebreather workshop, 2003



De viktigaste riskfaktorerna vid rebreatherdykning II

Högt andningsmotstånd

Fel typ av scrubbermaterial
Vatten i kretsen
Bristande underhåll
Andningsventiler fastklibbade
Andningssäcken klämd
Slangarna knickade
Olämplig säckplacering

De viktigaste riskfaktorerna vid rebreatherdykning III

Vatten och lut i kretsen

Felaktig montering (packningar saknas)
Spruckna slangar eller andningssäck
Dålig kondensfälla och gammalt kondensvatten
Handhavandefel bitmunstycke

Förlust av andningsgas

Bristning i andningssäck eller slang
Handhavandefel bitmunstycke

De viktigaste riskfaktorerna vid rebreatherdykning IV

Hypoxi

Detta tror jag har varit vållande orsak i de flesta dödsfall med rebreathers

- **Gasförrådet inte öppnat eller tomt**
- **Fel gas med för låg oxygenhalt**
- **För lågt flöde av färskgas**
- **Oxygensensorerna är sönder**
- **Dataprogrammet har hängt sig**
- **Magnetventiler har låst sig**
- **Felaktig sköljprocedur**
- **För hög oxygenförbrukning**

De viktigaste riskfaktorerna vid rebreatherdykning V

Hyperoxi

- Fel gas med för hög oxygen fraktion eller
- För stort dykdjup för gasen
- Oxygensensorfel eller fel i reglerkrets eller magnetventiler

Oxygenförgiftning

Nervsystem

Efter kortare tid (min.) vid PO_2 > 200 kPa

Symtom

Tunnelseende, tinnitus, yrsel, illamående
Ryckningar i ansiktsmuskulatur
Kramp
Medvetslöshet

Bidragande faktorer

Hög ämnesomsättning
CO_2 återandning pga dålig andningsapp.

Förebyggande åtgärd

Undvik hårt arbete vid nitroxdykning
Begränsa max PO_2 (djup eller O_2 %)

Lungor

Efter längre tid (tim.) vid PO_2 > 50 kPa

Symtom

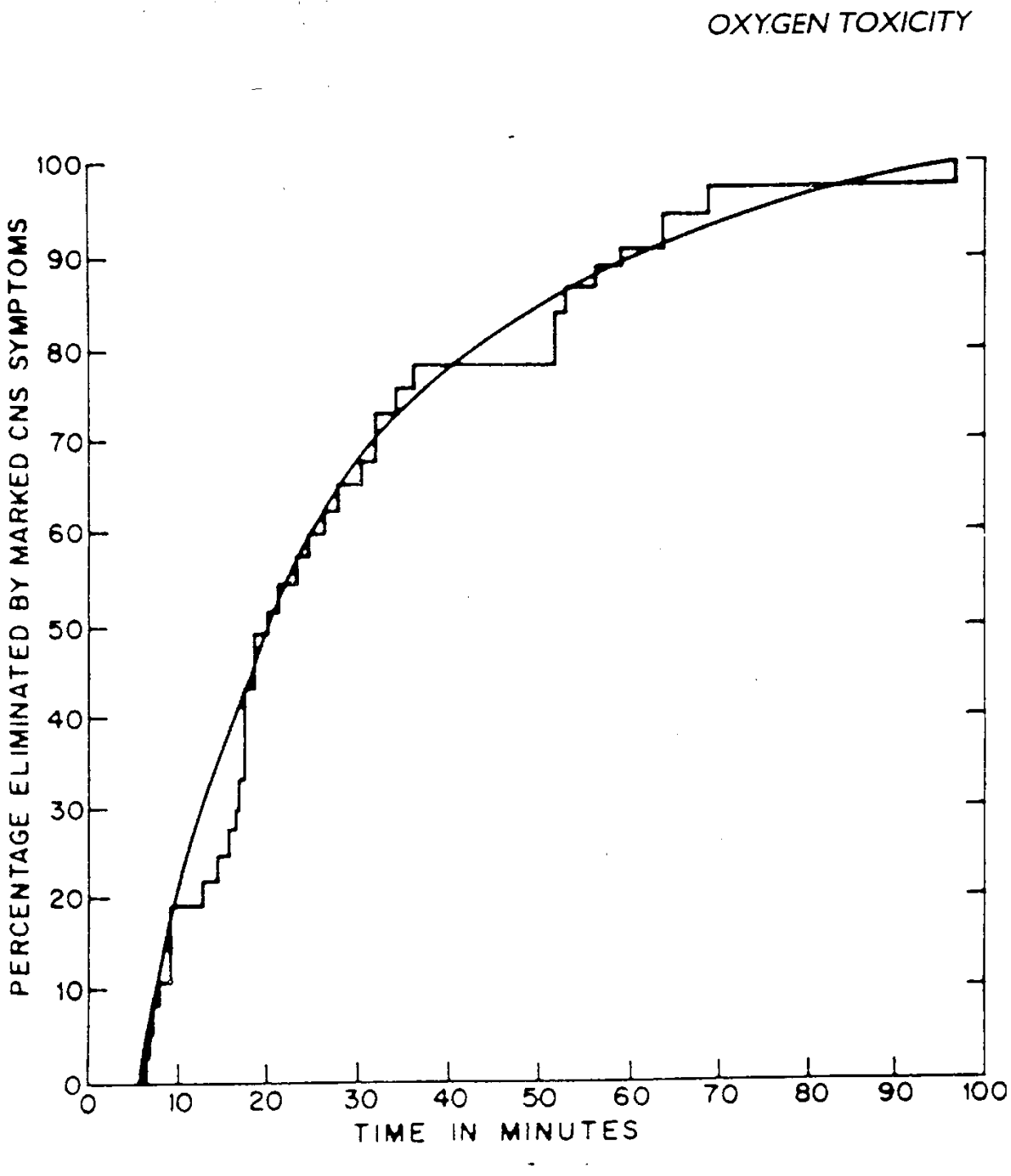
Hostretning
Smärta vid djupandning

Bidragande faktorer

Statisk belastning (Dålig andn.app.)

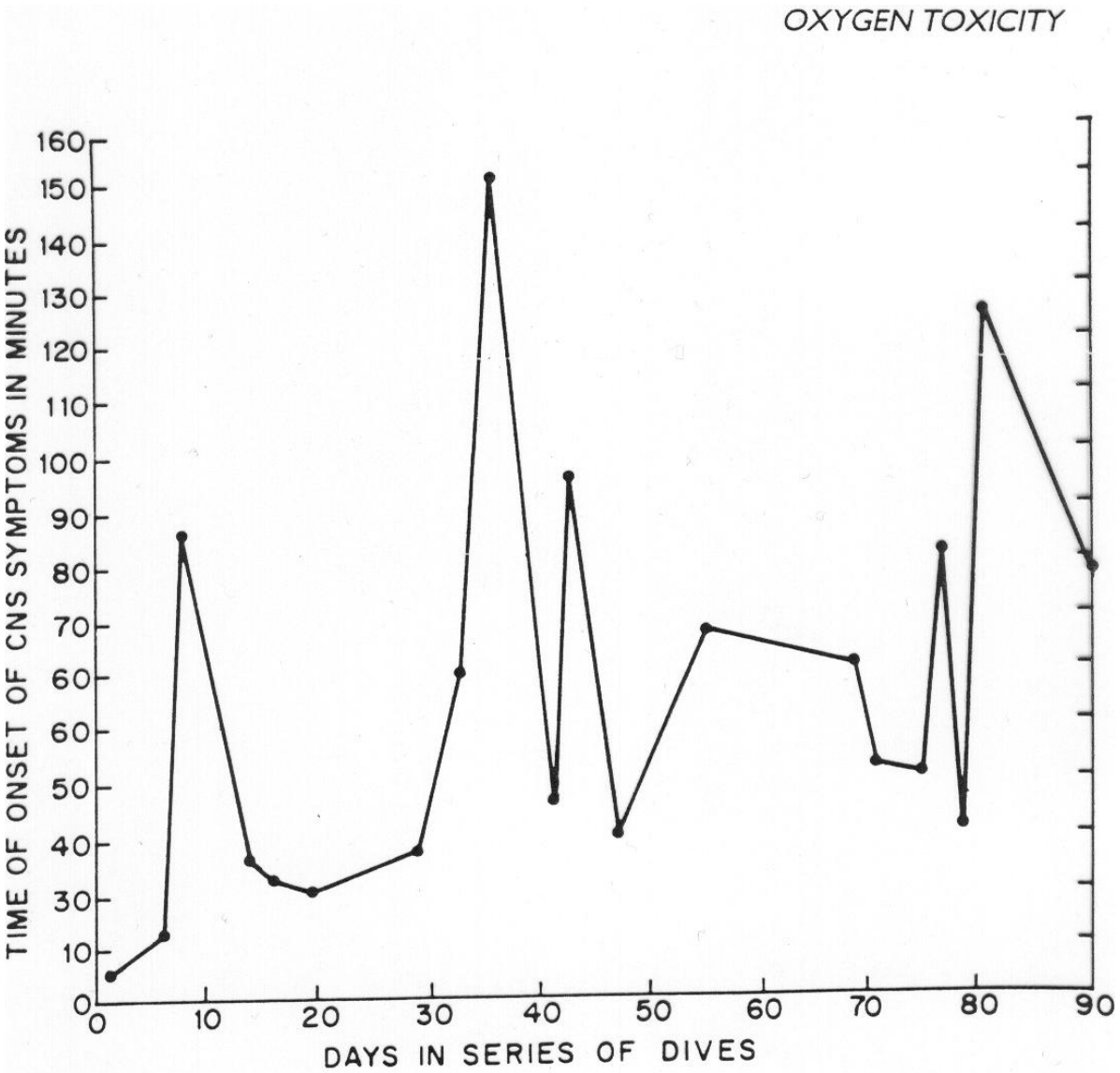
Förebyggande åtgärd

Beräkna CPTD (OTU) och begränsa dyk-
Tiden.



En illustration från Donald, 1947 som visar tid till utveckling av CNSförgiftning hos 36 individer som andas ren oxygen vid 370 kPa.

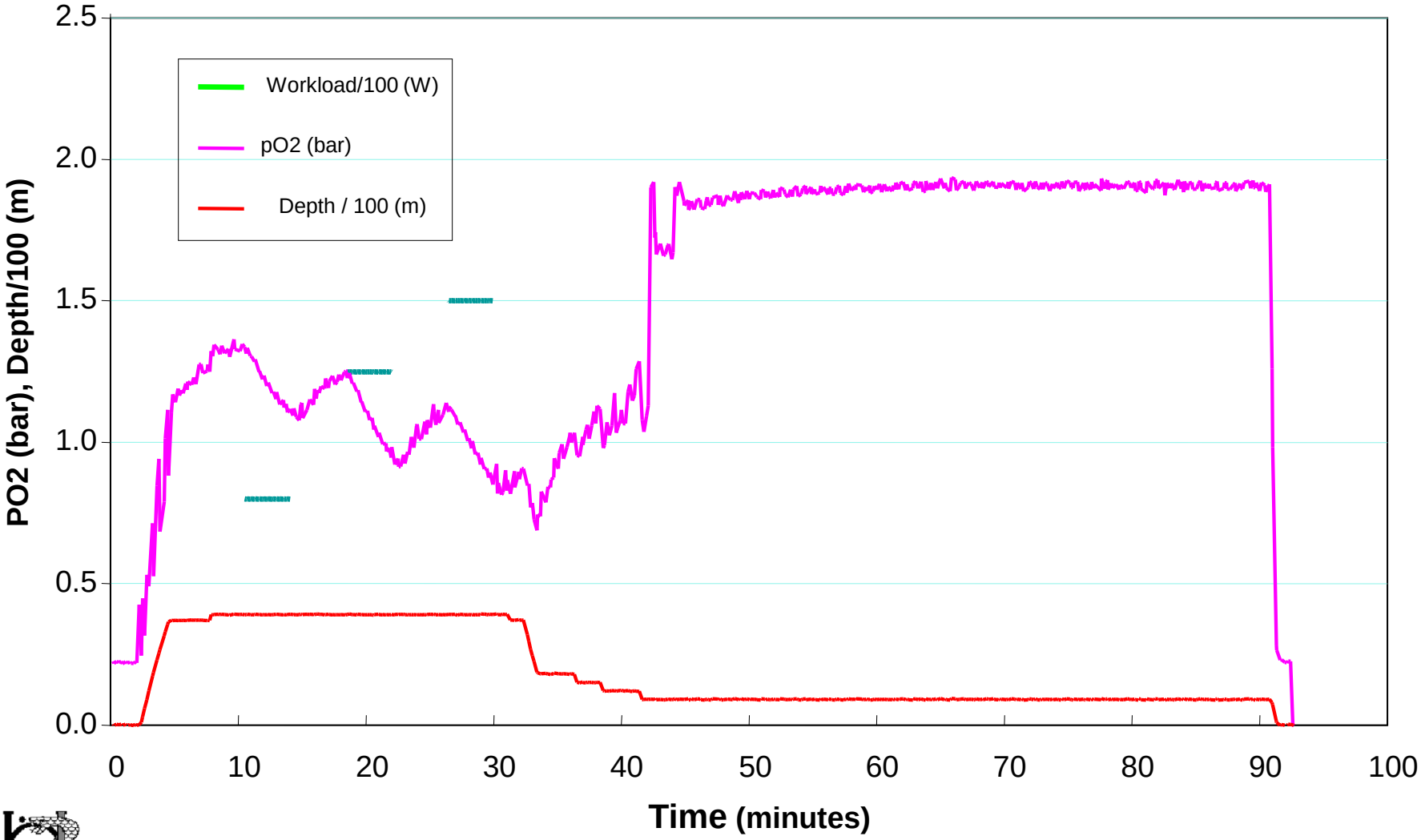
Variationsvidden från 6 till 96 minuter visar på en nästan osannolik variations-vidd i känsligheten för oxygen.



En illustration från Donald 1947, som visar stora intra-individuella skillnader i oxygentolerans för CNS-påverkan. Tiden till CNS-påverkan varierar från 6 till 150 minuter i denna serie om 20 expositioner för ren på 21 m djup i 18 gradigt vatten (310 kPa), över 90 dagar.

Oxygen control: Semi-closed circuit

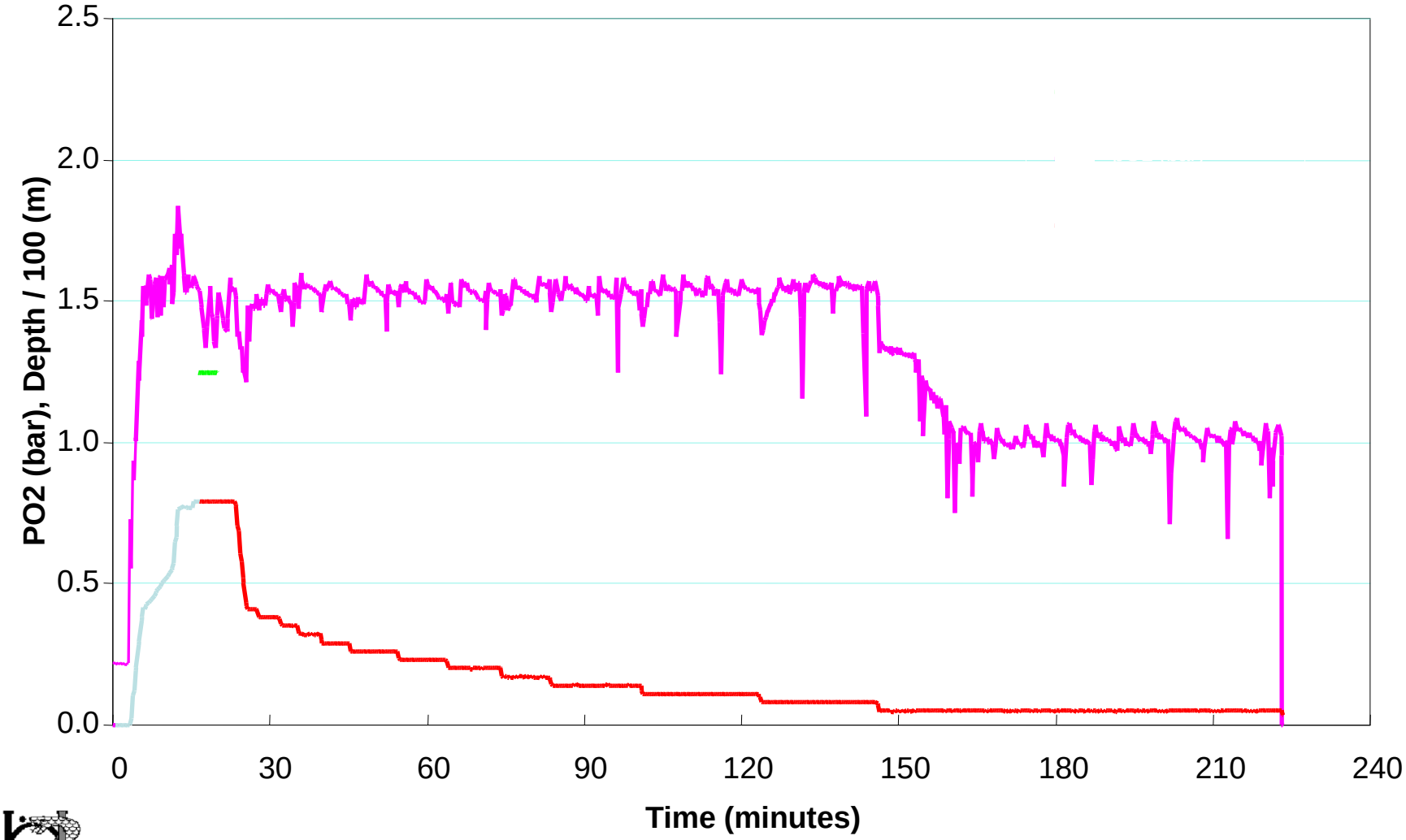
Gavin Anthony, EUBS Re-breather Workshop, August 2003



www.ornhagen.se

Oxygen control: Closed circuit

Gavin Anthony, EUBS Re-breather Workshop, August 2003



Några exempel på återandningsapparater

Inspiration

Kiss