

„Sauerstoff als Killer und Heilmittel“ beim Flaschentauchen

Jürg Wendling

Fortbildung des Vereins der Pneumologen des
Kantons Bern und der IGOMED
Berner RehaZentrum Heiligenschwendli, 11.9.2008

INHALT

1. Tauchphysiologie
2. O₂ als Killer beim Tauchen
3. O₂ als Heilmittel beim Tauchunfall
4. Take-home message

Fortbildung Pneumologen/IGOMED 11.9.08 / J. Wendling

2

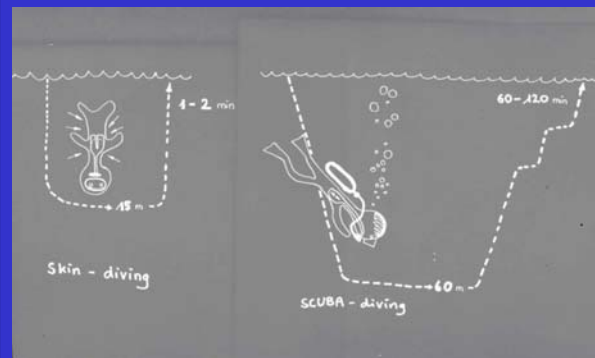
INHALT

1. Tauchphysiologie
2. O₂ als Killer beim Tauchen
3. O₂ als Heilmittel beim Tauchunfall
4. Take-home message

Fortbildung Pneumologen/IGOMED 11.9.08 / J. Wendling

3

Tauchphysiologie



Fortbildung Pneumologen/IGOMED 11.9.08 / J. Wendling

4

Tauchphysiologie



Fortbildung Pneumologen/IGOMED 11.9.08 / J. Wendling

5

Tauchphysiologie



Fortbildung Pneumologen/IGOMED 11.9.08 / J. Wendling

6

Tauchphysiologie



Fortbildung Pneumologen/IGOMED 11.9.08 / J. Wendling

7

Tauchphysiologie



Fortbildung Pneumologen/IGOMED 11.9.08 / J. Wendling

8

Tauchphysiologie



Fortbildung Pneumologen/IGOMED 11.9.08 / J. Wendling

9

Tauchphysiologie



Fortbildung Pneumologen/IGOMED 11.9.08 / J. Wendling

10

Tauchphysiologie



Fortbildung Pneumologen/IGOMED 11.9.08 / J. Wendling

11

Tauchphysiologie

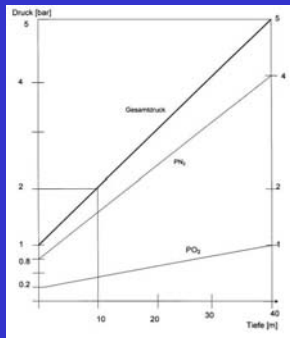


Fortbildung Pneumologen/IGOMED 11.9.08 / J. Wendling

12

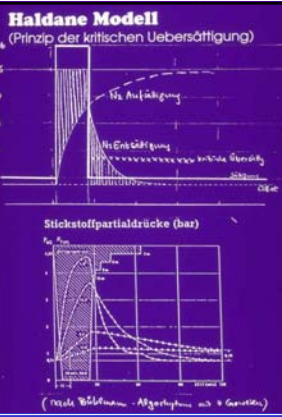


Partialdrucke bei Scuba-Air-Diving



Praktische Limiten

- a) N₂-Sättigung - Entsättigung
- Kompartimente (~Gewebe)
- Halbwertszeiten



Dekompressionsplanung

- Nullzeiten: ∞ (10m), 50' (18m), 25' (30m), 10' (40m)
- Deco-Tabelle: z.B. 30'(40m – 2'/9m – 6'/6m – 13'/3m)
- Deco-Computer: rechnet ständig Sättigung/Entsättigung nach und zeigt restliche Nullzeit oder Zeitbedarf/erste Decostufe nach.
- Gasvorrat: 12 L Flasche / 200 bar = 2,4m³ Luft = 120' (off), 24' (40m)

Profondeur	Durée de la plongée	Durée des paliers A			O
		9 m	6 m	3 m	
34 mètres	45				1,4
	60				1,8
	80				2,2
35 mètres	8				1,1
	15				1,2
	25				1,4



Praktische Limiten

- b) N₂-Narkose = Inertgaseneffekt, identisch wie N₂O (Lachgas), partialdruckabhängig, 8 bar N₂ ~ 1.0 bar N₂O
- Ab 30m spürbar (messbar)
 - Ab 50m psych. Unzurechnungsfähig
 - Ab 70m Narkose (Amnesie)
- H₂: Narkose ab 30bar,
He: keine Narkose (dafür HPNS)

INHALT

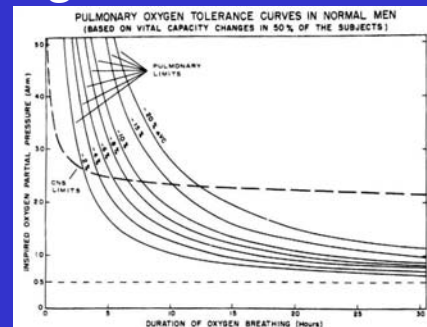
1. Tauchphysiologie
2. O₂ als Killer beim Tauchen
3. O₂ als Heilmittel beim Tauchunfall
4. Take-home message

O₂ als Killer beim Tauchen

O₂ ist Lebenselixier, aber nur im nützlichen Fenster

- Hypoxie: < 0.16 bar → Coma ohne Vorwarnung - †
- O₂-Intoxikation:
Alle Organe (Radikal-Effekte)
Paul Bert-Effekt (CNS-Toxicity): Epianfall
Lorrain-Smith (Pneumotoxicity): ARDS

Lungen + CNS - Effekt



Praktische Limiten beim Tauchen

- 1) Apnoe: Hypoxie – Ertrinken nach Hyperventilation
- 2) Scuba-Air-Diving (Ferientaucher)
- 3) Nitrox oxygen-enriched-air Nitrox (EAN)
- 4) O₂-Geräte
- 5) Hypoxische Mischungen
- 6) CCR Closed Circuit Rebreather

Praktische Limiten beim Tauchen

- 1) Apnoe: Hypoxie – Ertrinken nach Hyperventilation

Praktische Limiten beim Tauchen

- 2) Scuba-Air-Diving (Ferientauchen):

Keine Gefahr (bzgl O₂),

weil min 0.2 bar O₂ (0m)
max 1.4 bar O₂ (60m)
Dauer < 90'



Praktische Limiten beim Tauchen

- 3) Nitrox
Oxygen-enriched-air Nitrox (EAN)
- N₂ z.T. durch O₂ ersetzt, damit weniger Aufsättigung
→ Weniger Deco → längere Tauchzeit

Bsp. EAN 36 (36% O₂, 64% N₂)
30m = 4bar absolut ~ 4·0.36 = 1.44bar O₂ (zulässiges Maximum)
~ 4·0.64 = 2.56 bar N₂ (~22m Äqui-Tiefe)

Praktische Limiten beim Tauchen

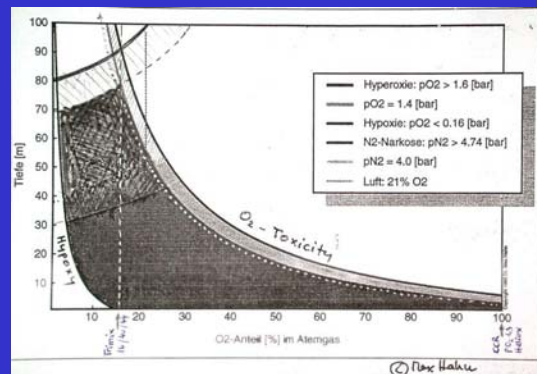
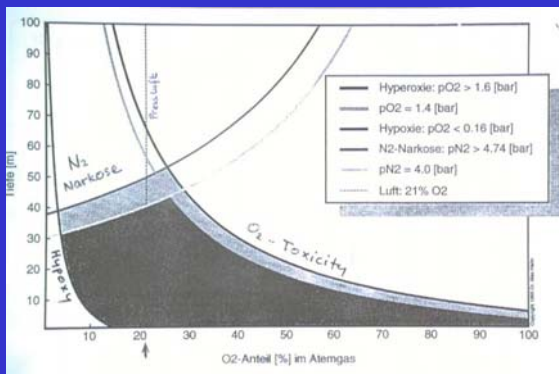
- 4) O₂ Geräte
Reiner O₂ im geschlossenen Kreislauf:
keine Blasen
Bsp. Kampfschwimmer max 6m
tauchen (~1.6 bar O₂)



Praktische Limiten beim Tauchen

- 5) Hypoxische Mischungen (Heliox, Trimix)
tiefer als 50m zur Vermeidung der
N₂ Narkose:

N₂ ersetzt durch He (oder He/N₂ Gemisch)
→ erlaubt Tauchtiefen bis 300m (Offshore-Taucher)
bis 600m (In Druckkammer)
(He z.T. ersetzt durch H₂) 705m = aktueller Rekord
→ O₂-Anteil muss reduziert sein, damit pO₂ < 1.4
bleibt, also für Heliox 300m (30bar):
1,4/30 = 4.6% O₂



Praktische Limiten beim Tauchen

- 5) Hypoxische Mischungen (Fortsetzung)

Tauchen mit Heliox (oder Trimix)

- Travel gas (z.B. Luft bis 50m)
- Bottommix (Heliox 4,6%); 6·4,6=0.27 bar O₂ auf 50m
- Decomix: hyperoxisch (Nitrox)
- O₂ ab 6m (pO₂ 1.6 bar)

also mehrmals Gaswechsel, komplizierte
Berechnung, extrem anfällig auf (menschliche)
Fehler





Praktische Limiten beim Tauchen

6) CCR closed circuit rebreather

Kreislaufgeräte mit computergesteuertem fixem pO₂

- extrem sparsam (Verbrauch = metabolisierter O₂, ~1 L O₂/')
- keine O₂ Toxizität
- minimale N₂ Aufladung (fast keine Decozeit)

aber: anfällig auf Bedienungsfehler
Rettung schwierig weil unsichtbar



INHALT

1. Tauchphysiologie
2. O₂ als Killer beim Tauchen
3. O₂ als Heilmittel beim Tauchunfall
4. Take-home message

O₂ als Heilmittel beim Tauchunfall

„Tauchunfälle“

- a) DCS (Dekompressionskrankheit)
- b) Barotrauma
 - AGE (Arterielle Gas-Embolie)
 - Lungenriss
 - andere
- c) Trauma beim Tauchen (Fraktur, Wunde, Stich, Propeller, Verschüttung, „Entranglement“)
- d) Akute Krankheit beim Tauchen (Panik, Kreislauf, Kolik, Epi)

Tauchunfälle (Fortsetzung)

Trauma (c) und Krankheit (d)

- keine Komplikation
- Tod durch Ertrinken
- DCS oder AGE (selten)

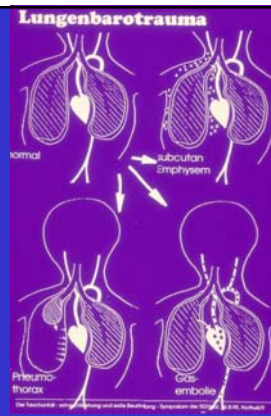
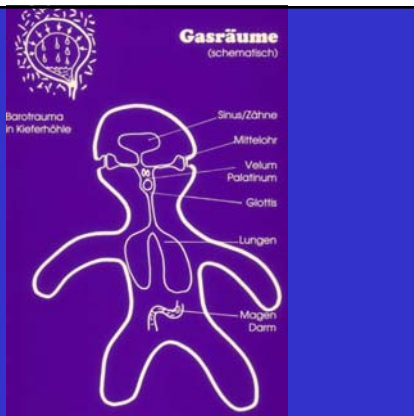
Therapie ist spezifisch, je nach Ursache

Tauchunfälle (Fortsetzung)

- Barotrauma (b)
 - meist durch Ventilationsstörung im HNO Bereich
 - selten durch Pharynxverschluss (willentlich oder Panik oder vegetativ)

Symptome: Schwindel, Tinnitus, Ohrschmerz, auch Zahn- oder Sinusschmerz.

Lungenriss: Pneumothorax, Medastinalemphysem, AGE (~DCS)



Tauchunfälle (Fortsetzung)

Deko-Krankheit (a) - meist unverdient (keine Fehler)
 - provoziert („am Limit“ oder Zwischenfall)

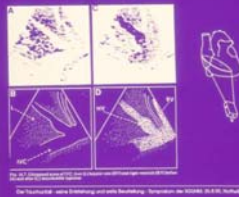
Symptome: Hautflecken, Gelenkschmerz (Bends), Vertigo, cerebrale, spinale, perifer-neurologische Ausfälle.

Pathogenese: Bläschen (10-90' nach auftauchen), bis 24h aber auch endothelvermittelt (Membran#, NOS)

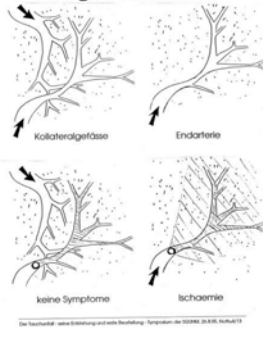
zirkulierende Blasen bei Presslufttauchern

Dopplersonographie

Blasen:	keine Symptom	leichte Sympf	mittl. DCS	N=
Grad IV	67%	14%	19%	21
Grad III	60%	33%	7%	15
Grad I-II	88%	12%		34
Grad 0	100%			85

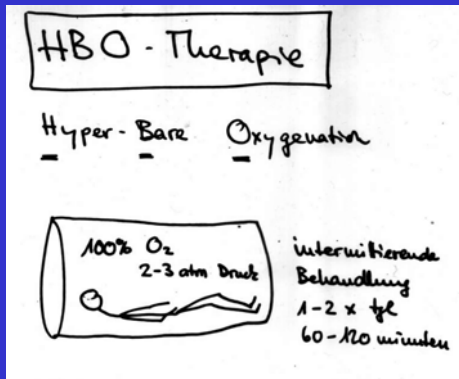


Symptome nur bei O₂-Mangel (Ischaemie)



Therapie für AGE & DCS: HBO
HBO = HyperBare Oxygenation

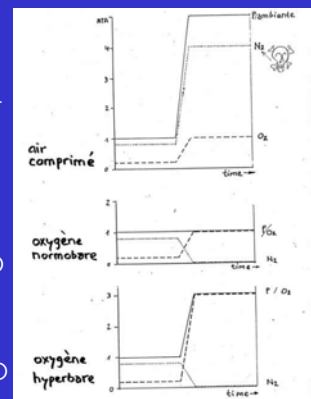
- Prinzipien
- Erhöht gelöstes O₂ (Apoptose verhindern)
 - Denitrifiziert Gewebe (Diffusion)
 - Eliminiert Bläschen (O₂ Window)
 - Antiödem? Anti-endothelschaden??



Hyperbare Luft

Normobar Sauerstoff NBO

Hyperbar Sauerstoff HBO



Therapie für AGE & DCS: HBO
HBO und NBO (normobares O₂ als erste Hilfe)

RESULTATE

Table II - Oxygen First Aid and Clinical Outcome in 202 DCS cases of the DAN Europe 1989-1993 Diving Accident database

First Aid	Oxygen	No Oxygen	Cumulative data
Number of divers	119 (58,9%)	83 (41,1%)	202 (100%)
Symptomless at arrival to hyperbaric facility	14 (11,76%)	1 (1,2%)	15 (7,43%)
Improved at arrival to hyperbaric facility	66 (55,46%)	0	66 (32,67%)
Unchanged at arrival to hyperbaric facility	39 (32,77%)	82 (98,8%)	121 (59,9%)
Hyperbaric treatment outcome positive after initial series	114 (95,8%)	58 (70%)	172 (85,15%)
Successful after initial series of hyperbaric treatment	5 (4,2%)	25 (30%)	30 (14,85%)

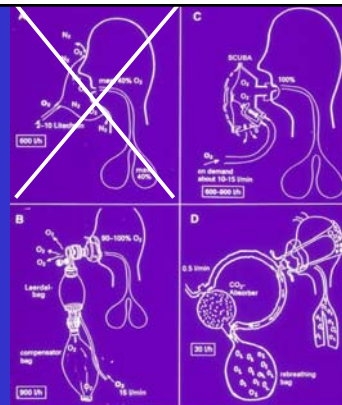
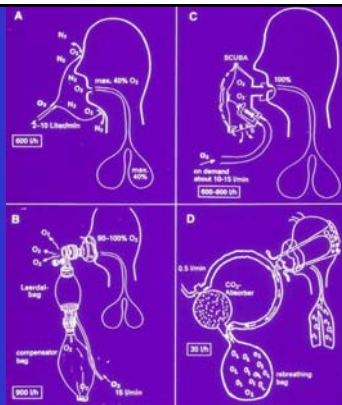
Therapie für AGE & DCS: HBO
Praktische Durchführung

NBO

- offene Systeme

- mit Konstant-Flow
- Demand-gesteuert

- geschlossene Systeme



O₂ als Heilmittel



Fortbildung Pneumologen/IGOMED 11.9.08 / J. Wendling

55

O₂ als Heilmittel



Constant flow
mit Reservoir bag

Fortbildung Pneumologen/IGOMED 11.9.08 / J. Wendling

56

O₂ als Heilmittel

Constant flow mit Reservoir
(undichte Maske – 70% O₂)



Fortbildung Pneumologen/IGOMED 11.9.08 / J. Wendling

57

O₂ als Heilmittel

On demand System



Fortbildung Pneumologen/IGOMED 11.9.08 / J. Wendling

58

O₂ als Heilmittel

Kreislauf-System
(Wenoll®)

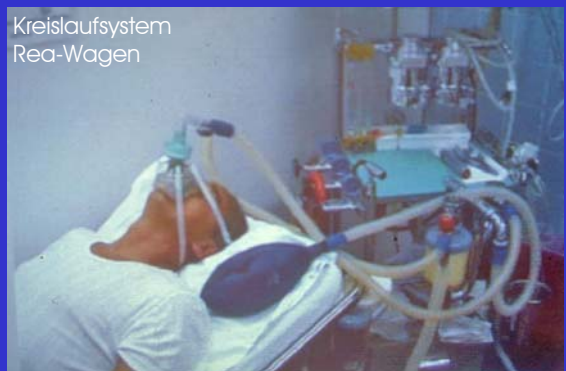


Fortbildung Pneumologen/IGOMED 11.9.08 / J. Wendling

59

O₂ als Heilmittel

Kreislaufsystem
Rea-Wagen



Fortbildung Pneumologen/IGOMED 11.9.08 / J. Wendling

60

O₂ als Heilmittel

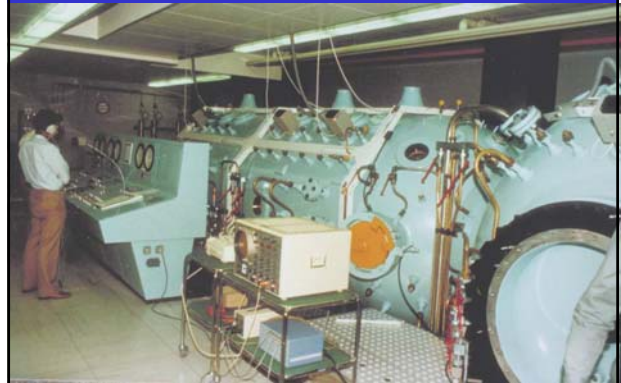
Therapie für AGE & DCS: HBO Praktische Durchführung

- HBO: Druckkammer (mehrplätzig)
- erste Sitzung 4-6 h 2.8 bar (~18m Tauchen O₂)
 - alle 25' „airbreaks“ (erhöht O₂ Toleranz)
 - Neurocheck
 - ev. wenige Folgesitzungen à 2.5 bar x 90'

Fortbildung Pneumologen/IGOMED 11.9.08 / J. Wendling

61

O₂ als Heilmittel



Fortbildung Pneumologen/IGOMED 11.9.08 / J. Wendling

62

O₂ als Heilmittel



Fortbildung Pneumologen/IGOMED 11.9.08 / J. Wendling

63

O₂ als Heilmittel



Fortbildung Pneumologen/IGOMED 11.9.08 / J. Wendling

64

O₂ als Heilmittel



Fortbildung Pneumologen/IGOMED 11.9.08 / J. Wendling

65

O₂ als Heilmittel

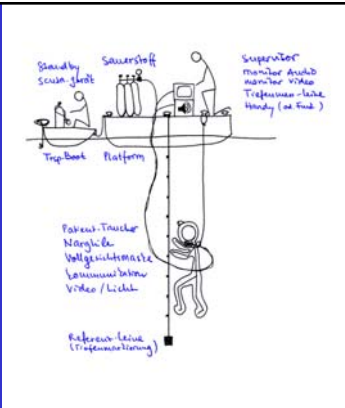


Fortbildung Pneumologen/IGOMED 11.9.08 / J. Wendling

66

O₂ als Heilmittel

In-water
Recompression



Fortbildung Pneumologen/IGOMED 11.9.08 / J. Wendling

67

INHALT

1. Tauchphysiologie
2. O₂ als Killer beim Tauchen
3. O₂ als Heilmittel beim Tauchunfall
4. Take-home message

Fortbildung Pneumologen/IGOMED 11.9.08 / J. Wendling

68

Take-home message

- Apnoe-Taucher und Scuba-Luft-Taucher können mit Tauchregeln sicher leben
- Teck-Diver und Profitauch-Supervisors müssen Partialdruck, O₂-Effekte und Physiologie kennen
- Tauchärzte müssen sowohl Tauchprozeduren inkl. Gefahren und therapiespezifische Gefahren des O₂ kennen
- Ärzte auf Notfallstationen und Notärzte müssten NBO-Proceduren kennen (Telemed-Hilfe über DAN Hotline)
- Für Tauchtauglichkeitsbeurteilung spielen O₂ Effekte keine Rolle

Fortbildung Pneumologen/IGOMED 11.9.08 / J. Wendling

69

DANKE

Fortbildung Pneumologen/IGOMED 11.9.08 / J. Wendling

70