

A. A. Bühlmann
E. B. Völlm · P. Nussberger

.....

Tauchmedizin

Barotrauma
Gasembolie · Dekompression
Dekompressionskrankheit
Dekompressionscomputer

5. Auflage

.....



Springer

A. A. Bühlmann · E. B. Völlm · P. Nussberger

Tauchmedizin

Barotrauma

Gasembolie · Dekompression

Dekompressionskrankheit

Dekompressionscomputer

5., vollständig überarbeitete Auflage

Mit 47 Abbildungen und 33 Tabellen

3/2003

A. Korrektur 4-5/06

e-mail an Voellm: 15.05.2006



Springer



PADI
INSTRUCTOR 33913
Albrecht Salm



Albrecht Salm
Master Scuba Diver Trainer
PADI MSDT # 33913

PADI

SSI SCUBA SCHOOLS INT.
© Albrecht Salm
Instructor No. 12653

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Einleitung: Tauchmedizinische Forschung in der Schweiz | 1 |
| 2 | Abnorme atmosphärische Bedingungen | 11 |
| 2.1 | Höhe, Hypoxie | 12 |
| 2.2 | Hyperoxie und hyperbarer O ₂ | 15 |
| 2.3 | Atemwegswiderstände bei Überdruck | 16 |
| 2.4 | Atmung und Kreislauf beim Tauchen, Zentralisation, Lungenödem | 18 |
| 2.5 | Tiefenrausch, N ₂ -Narkose | 19 |
| 2.6 | High pressure nervous syndrome (HPNS) | 20 |
| 2.7 | Hypothermie und Hyperthermie | 24 |
| | Aktueller Wissensstand | 27 |
| 3 | Zwischenfälle beim Tauchen | 29 |
| 3.1 | Der tödliche Tauchunfall: Ertrinken beim Sporttauchen | 30 |
| 3.2 | Nichttödliche Zwischenfälle beim Tauchen | 33 |
| 3.2.1 | Nasennebenhöhlen und Ohren | 34 |
| 3.2.2 | Lunge: Pneumothorax, „zentraler“ Lungenriss | 39 |
| 3.2.3 | Magen-Darm-Trakt | 42 |
| 3.2.4 | Auge | 43 |
| 3.2.5 | Zähne | 44 |
| 3.3 | Gasblasen und Gasansammlung im Gewebe bei konstantem Umgebungsdruck | 44 |
| 3.4 | Gasembolie bei Senkung des Umgebungsdrucks | 45 |
| 3.4.1 | Venöse Gasembolie, „explosive“ Dekompression, „blow up“ | 45 |
| 3.4.2 | Arterielle Gasembolie während des Auftauchens | 47 |
| 3.5 | Dekompressionskrankheit | 49 |
| 3.5.1 | Haut | 50 |
| 3.5.2 | Muskulatur | 51 |
| 3.5.3 | Gelenke, Bänder und Knochen, „bends“ | 52 |
| 3.5.4 | Rückenmark | 54 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.5.5 | Differentialdiagnose zwischen Dekompressionskrankheit des Rückenmarks und Gasembolie in das Rückenmark nach „zentralem“ Lungenriss | 55 |
| 3.5.6 | Dekompressionskrankheit des Innenohrs | 57 |
| 3.5.7 | Tauchen mit Kunststoffprothesen | 60 |
| | Aktueller Wissensstand | 60 |
| 4 | Behandlung des verunglückten Tauchers | 65 |
| 4.1 | Notaufstieg und Nachholen der Dekompression im Wasser | 66 |
| 4.2 | Erste Hilfe, Transport des verunglückten Tauchers | 66 |
| 4.3 | Behandlung in der Überdruckkammer | 68 |
| 4.3.1 | Tauchgänge mit Luftatmung | 68 |
| 4.3.2 | Tieftauchen mit Atmung von O ₂ -Helium-Gemischen | 71 |
| 4.3.3 | Begleitende Maßnahmen bei der Behandlung | 72 |
| 4.4 | Spontanverlauf bei akuten Schädigungen des Innenohrs, des Gehirns oder des Rückenmarks | 72 |
| 4.5 | Ergebnisse der Behandlung in der Überdruckkammer | 74 |
| 4.5.1 | Barotrauma des Ohres mit Innenohrsymptomen | 74 |
| 4.5.2 | Spinale Läsionen nach Gasembolie oder ungenügender Dekompression | 76 |
| 4.5.3 | Rezidive | 80 |
| 4.5.4 | Individuelle Dispositionen | 81 |
| | Aktueller Wissensstand | 83 |
| 5 | Inertgasaufnahme und -abgabe des menschlichen Körpers | 85 |
| 5.1 | Physikalische und biologische Grundlagen | 86 |
| 5.1.1 | Druck, Kraft, Arbeit | 86 |
| 5.1.2 | Zusammensetzung der atmosphärischen Luft. Berechnung des Teildrucks der Atemgase | 87 |
| 5.1.3 | Löslichkeit der Atemgase in wässrigen Lösungen und in Fett | 91 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 5.1.4 | Gastransport mit dem Blutkreislauf | 93 |
| 5.1.5 | Berechnung des Druckausgleichs der Inertgase zwischen Lunge, Blut und Geweben | 94 |
| 5.1.6 | Spektrum der Halbwertszeiten für N_2 und Helium | 97 |
| 5.1.7 | Summierung der Inertgase im Gewebe | 101 |
| 5.1.8 | Vermehrte venöse Zumischung zum arteriellen Blut und Inertgasdruckausgleich zwischen Lunge und Gewebe | 106 |
| 6 | Symptomlos tolerierter Inertgasüberdruck im Gewebe | 111 |
| 6.1 | Klinische Erfahrung und Experimente | 112 |
| 6.2 | Tolerierter Inertgasüberdruck bei einem Umgebungsdruck von 1,0 bar | 113 |
| 6.3 | Tolerierter $p_t N_2$ und $p_t He$ bei einem Umgebungsdruck von 1,0 bar am Ende der Dekompression. Experimente | 114 |
| 6.4 | Identifikationen der Halbwertszeiten mit Geweben | 115 |
| 6.5 | Lineare Beziehung zwischen Umgebungsdruck und symptomlos toleriertem Inertgasüberdruck | 117 |
| 6.6 | Inertgasabgabe bei Senkung des Umgebungsdrucks. Mikrogasblasen im venösen Blut | 119 |
| | Aktueller Wissensstand | 124 |
| 7 | Das Rechenmodell ZH-L16A | 127 |
| 7.1 | Empirische Grenzen für den tolerierten Inertgasüberdruck | 128 |
| 7.2 | Mathematische Ableitung des tolerierten N_2 -Überdrucks von den N_2 -Halbwertszeiten | 129 |
| 7.3 | Toleranzgrenzen für Helium | 131 |

| | | |
|------|--|-----|
| 8 | Theoretische Toleranzgrenzen und experimentelle Ergebnisse | 133 |
| 8.1 | Retrospektive Studien und prospektive reale Tauchgänge | 134 |
| 8.2 | Tolerierter $p_t N_2$ am Ende der Dekompression in Prozent der ZH-L16A-Grenzen. Ersttauchgänge mit Luft | 135 |
| 8.3 | Tolerierter $p_t He$ am Ende der Dekompression in Prozent der ZH-L16A-Grenzen. Ersttauchgänge . . | 138 |
| 8.4 | Tolerierter $p_t N_2$ in Abhängigkeit von unterschiedlichen Werten für den Umgebungsdruck. Ersttauchgänge mit Luft | 139 |
| 8.5 | Tolerierter $p_t He$ in Abhängigkeit vom Umgebungsdruck | 143 |
| 8.6 | Sättigungstauchgänge mit N_2 und mit Helium | 144 |
| 8.7 | Wiederholte Tauchgänge mit Luft | 147 |
| 8.8 | Dekompressionen in die Höhe nach einem Tauchgang. Fliegen nach dem Tauchen | 149 |
| 8.9 | Erfahrungen bei täglich mehrstündigen Tunnelarbeiten | 152 |
| 8.10 | ZH-L16-Modifikationen für die praktische Anwendung | 156 |
| | Aktueller Wissensstand | 159 |
| 9 | Dekompressionstabellen | 161 |
| 9.1 | Entwicklung der Tabellen seit Haldane 1908 | 162 |
| 9.2 | Regeln für die Berechnung der Tabellen ZH-86 | 164 |
| 9.3 | Vergleich von Dekompressionsprofilen der Tabellen ZH-86 mit simulierten Tauchgängen . . . | 166 |
| 9.4 | Wiederholte Tauchgänge | 168 |
| 9.5 | Fliegen nach dem Tauchen | 171 |
| | Aktueller Wissensstand | 173 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 10 | Das adaptive Rechenmodell ZH-L8 ADT (E. Völlm) | 179 |
| 10.1 | Adaptationen des Kreislaufs und deren Berücksichtigung im Rechenmodell | 181 |
| 10.1.1 | Der Einfluss der Arbeit | 181 |
| 10.1.2 | Der Einfluss des kalten Wassers | 182 |
| 10.2 | Mikrogasblasenbildung und deren Berücksichtigung im Rechenmodell | 182 |
| 10.2.1 | Mikrogasblasen im venösen Kreislauf | 184 |
| 10.2.2 | Mikrogasblasen im arteriellen Kreislauf und in den Geweben | 186 |
| 10.2.3 | Übertritt von Gasblasen aus dem venösen ins arterielle Blut | 187 |
| 10.2.4 | Möglichkeiten zur Reduktion der Blasen im venösen Blut | 188 |
| 10.3 | Praktische Auswirkungen des Rechenmodells ZH-L8 ADT beim Tauchen | 190 |
| 10.4 | Die Möglichkeiten des adaptiven Rechenmodells | 191 |
| | | |
| 11 | Dekompressionscomputer (E. Völlm) | 193 |
| 11.1 | Vorteile und Gefahren | 194 |
| 11.2 | Struktur eines Tauchcomputers | 196 |
| 11.3 | Hardware | 197 |
| 11.3.1 | Was ist Hardware? | 197 |
| 11.3.2 | Anforderungen an die Hardware | 197 |
| 11.4 | Software | 204 |
| 11.4.1 | Was ist Software? | 204 |
| 11.4.2 | Das Modell – der Kern der Software | 205 |
| 11.5 | Berechnungsschritte des Tauchcomputers | 208 |
| 11.5.1 | Inertgasdruck im Gewebe | 208 |
| 11.5.2 | Tolerierte Tauchtiefe und tolerierter Inertgasdruck | 209 |
| 11.5.3 | Nullzeit | 211 |
| 11.5.4 | Dekompressionsstufen | 213 |
| 11.5.5 | Gesamte Auftauchzeit | 214 |
| 11.5.6 | Entsättigungszeit | 215 |
| 11.5.7 | Tauchen in der Höhe und Fliegen nach dem Tauchen | 216 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 11.6 | Sicherheit | 218 |
| 11.61 | Genauigkeit, Rundungen | 218 |
| 11.6.2 | Tiefen- und Zeitzuschläge | 218 |
| 11.6.3 | Halbwertszeiten und Übersättigungstoleranzen | 219 |
| 11.6.4 | Höhenklassen | 219 |
| 11.6.5 | Einsatzgrenzen | 219 |
| 11.6.6 | Warnanzeigen | 220 |
| 11.6.7 | Bestimmung des Luftdrucks | 220 |
| 11.6.8 | Persönlicher oder austauschbarer Tauchcomputer? | 221 |
| 11.7 | Ein Blick in die Zukunft | 222 |
| | | |
| 12 | Individuelle Dekompression | 223 |
| | | |
| Anhang: | Luftdekompressionstabellen für 0–700 m ü. NN, 701–2500 m ü. NN und 2501–4500 m ü. NN sowie Tabelle für die Zeitzuschläge bei Wiederholungstauchgängen | 225 |
| | Nullzeiten bei Atmung von 50% O ₂ und 50% N ₂ („Nitrox“) für 0–700 m ü. NN | 236 |
| | | |
| | Wichtige Internetadressen | 237 |
| | | |
| | Literatur | 241 |
| | | |
| | Sachverzeichnis | 245 |

A 312003

Tauchmedizin

Tauchmedizinisches Wissen ist wesentlich für einen sicheren Tauchgang bzw. die Behandlung verunfallter Taucher. Anschaulich und mit aussagefähigen Daten belegt werden die Grundlagen und die praxisorientierte Entwicklung der Tauchmedizin bis zum heutigen aktuellen Wissensstand dargestellt. Die Tauchmedizin für Tauchmediziner, Tauchlehrer, Berufstaucher, Tunnel- und Caissonarbeiter und Sporttaucher.

- Tieftauchen mit Gasgemischen
- Sporttauchen mit Luft und Nitrox
- Tauchunfälle und ihre Behandlung
- Risikoarme Dekompression, mit Berücksichtigung von Tauchverhalten und Umgebungsbedingungen
- Verhaltensregeln für risikoarmes Tauchen
- Dekompressionstabellen

► **Mit neuesten Informationen zu elektronischen Dekompressionscomputern**

ISBN 3-540-42979-4

