

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung: Tauchmedizinische Forschung in der Schweiz	1
2	Abnorme atmosphärische Bedingungen	7
2.1	Höhe, Hypoxie	7
2.2	Hyperoxie und hyperbarer O ₂	9
2.3	Atemwegswiderstände bei Überdruck	10 x
2.4	Atmung und Kreislauf beim Tauchen, Zentralisation, Lungenödem	11
2.5	Tiefenrausch, N ₂ -Narkose	12 x
2.6	High pressure nervous syndrome (HPNS)	13
2.7	Hypothermie und Hyperthermie	16
3	Zwischenfälle beim Tauchen	19
3.1	Der tödliche Tauchunfall: Ertrinken beim Sporttauchen	19
3.2	Nichttödliche Zwischenfälle beim Tauchen	22 x
3.2.1	Nasennebenhöhlen und Ohren	22
3.2.2	Lunge: Pneumothorax, „zentraler“ Lungenriß	26
3.2.3	Magen-Darm-Trakt	28
3.2.4	Auge	29
3.2.5	Zähne, Laryngozenen, Ösophagusdivertikel	29
3.3	Gasblasen und Gasansammlung im Gewebe bei konstantem Umgebungsdruck	30
3.4	Gasembolie bei Senkung des Umgebungsdrucks	30
3.4.1	Venöse Gasembolie, „explosive“ Dekompression, „blow up“	31
3.4.2	Arterielle Gasembolie während des Auftauchens ...	32
3.5	Dekompressionskrankheit	33
3.5.1	Haut	34
3.5.2	Muskulatur	35
3.5.3	Gelenke, Bänder und Knochen, „bends“	35
3.5.4	Rückenmark	37

X Inhaltsverzeichnis

3.5.5	Differentialdiagnose zwischen Dekompressionskrankheit des Rückenmarks und Gasembolie in das Rückenmark nach „zentralem“ Lungenriß	38
3.5.6	Dekompressionskrankheit des Innenohrs	38
3.5.7	Tauchen mit Kunststoffprothesen	41
4	Behandlung des verunfallten Tauchers	42
4.1	Notaufstieg und Nachholen der Dekompression im Wasser	42
4.2	Erste Hilfe, Transport des verunfallten Tauchers ...	42
4.3	Behandlung in der Überdruckkammer	43
4.3.1	Tauchgänge mit Luftatmung	43 ✓
4.3.2	Tieftauchen mit Atmung von O ₂ -Helium-Gemischen	46 ✗
4.3.3	Begleitende Maßnahmen bei der Behandlung	46
4.4	Spontanverlauf bei akuten Schädigungen des Innenohrs, des Gehirns oder des Rückenmarks .	47
4.5	Ergebnisse der Behandlung in der Überdruckkammer	48
4.5.1	Barotrauma des Ohres mit Innenohrsymptomen ...	48
4.5.2	Spinale Läsionen nach Gasembolie oder ungenügender Dekompression	49
4.5.3	Rezidive	53
4.5.4	Individuelle Dispositionen	53 ✗
5	Inertgasaufnahme und -abgabe des menschlichen Körpers	56
5.1	Physikalische und biologische Grundlagen	56
5.1.1	Druck, Kraft, Arbeit	56
5.1.2	Zusammensetzung der atmosphärischen Luft. Berechnung des Teildrucks der Atemgase	57
5.1.3	Löslichkeit der Atemgase in wäßrigen Lösungen und in Fett	59
5.1.4	Gastransport mit dem Blutkreislauf	61
5.1.5	Berechnung des Druckausgleichs der Inertgase zwischen Lunge, Blut und Geweben	62
5.1.6	Spektrum der Halbwertszeiten für N ₂ und Helium ..	64 ✗
5.1.7	Summierung der Inertgase im Gewebe	67
5.1.8	Vermehrte venöse Zumischung zum arteriellen Blut und Inertgasdruckausgleich zwischen Lunge und Gewebe	71

6	Symptomlos tolerierter Inertgasüberdruck im Gewebe	75
6.1	Klinische Erfahrung und Experimente	75
6.2	Tolerierter Inertgasüberdruck bei einem Umgebungsdruck von 1,0 bar	76
6.3	Tolerierter $p_t N_2$ und $p_t He$ bei einem Umgebungsdruck von 1,0 bar am Ende der Dekompression. Experimente	76
6.4	Identifikationen der Halbwertszeiten mit Geweben .	77
6.5	Lineare Beziehung zwischen Umgebungsdruck und symptomlos toleriertem Inertgasüberdruck	78
6.6	Inertgasabgabe bei Senkung des Umgebungsdrucks. Mikrogasblasen im venösen Blut	81
7	Das Rechenmodell ZH-L16A	85
7.1	Empirische Grenzen für den tolerierten Inertgasüberdruck	85
7.2	Mathematische Ableitung des tolerierten N_2 -Überdrucks von den N_2 -Halbwertszeiten	85
7.3	Toleranzgrenzen für Helium	87
8	Theoretische Toleranzgrenzen und experimentelle Ergebnisse	88
8.1	Retrospektive Studien und prospektive reale Tauchgänge	88
8.2	Tolerierter $p_t N_2$ am Ende der Dekompression in Prozent der ZH-L16A-Grenzen. Ersttauchgänge mit Luft	89
8.3	Tolerierter $p_t He$ am Ende der Dekompression in Prozent der ZH-L16A-Grenzen. Ersttauchgänge..	91
8.4	Tolerierter $p_t N_2$ in Abhängigkeit von unterschiedlichen Werten für den Umgebungsdruck. Ersttauchgänge mit Luft	92
8.5	Tolerierter $p_t He$ in Abhängigkeit vom Umgebungsdruck	95
8.6	Sättigungstauchgänge mit N_2 und mit Helium	96
8.7	Wiederholte Tauchgänge mit Luft	98
8.8	Dekompressionen in die Höhe nach einem Tauchgang. Fliegen nach dem Tauchen .	100
8.9	Erfahrungen bei täglich mehrstündigen Tunnellarbeiten	103
8.10	ZH-L16-Modifikationen für die praktische Anwendung	105

XII Inhaltsverzeichnis

9	Dekompressionstabellen	109
9.1	Entwicklung der Tabellen seit Haldane 1908	109
9.2	Regeln für die Berechnung der Tabellen ZH-86	111
9.3	Vergleich von Dekompressionsprofilen der Tabellen ZH-86 mit simulierten Tauchgängen ..	112
9.4	Wiederholte Tauchgänge	113 ✕
9.5	Fliegen nach dem Tauchen	116 ✕
10	Das adaptive Rechenmodell ZH-L8 ADT (E. Völlm) .	118
10.1	Adaptationen des Kreislaufs und deren Berücksichtigung im Rechenmodell	119 ✕
10.1.1	Der Einfluß der Arbeit	119 ✕
10.1.2	Der Einfluß des kalten Wassers	119 ✕
10.2	Mikrogasblasenbildung und deren Berücksichtigung im Rechenmodell	120
10.2.1	Mikrogasblasen im venösen Kreislauf	121 ✕
10.2.2	Mikrogasblasen im arteriellen Kreislauf und in den Geweben	123 ✕
10.3	Praktische Auswirkungen des Rechenmodells ZH-L8 ADT beim Tauchen	123
10.4	Die Möglichkeiten des adaptiven Rechenmodells ...	124
11	Dekompressionscomputer (E. Völlm)	125
11.1	Vorteile und Gefahren	125 ✕
11.2	Struktur eines Tauchcomputers	127
11.2.1	Hardware	127
11.2.2	Anforderungen an die Hardware	127
11.2.3	Software	131
11.2.4	Das Modell – der Kern der Software	132
11.3	Berechnungsschritte des Tauchcomputers	134
11.4	Sicherheit	140 ✕
11.5	Ein Blick in die Zukunft	143 ✕
12	Individuelle Dekompression	144
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	147
	Nullzeiten bei Atmung von 50% O ₂ und 50% N ₂ („Nitrox“) für 0–700 m ü. NN	157
Literatur		159
Sachverzeichnis		163