

呼吸管理に活かす

呼吸生理

呼吸のメカニズムと、人工呼吸器の
モード選択・設定から離脱まで

改訂版

CONTENTS

改訂の序	3
初版の序	5
略語一覧	11

第1章 呼吸はどのように行われるか(呼吸の生理学)

はじめに

16

- 1 ●人工呼吸器を使用する前にガスの流れを理解する
- 2 ●いかに呼吸生理を学ぶか

量、死腔量) : $VD/5$ 1秒間の最大呼息量 : FEV1.0

- 3 ●airway closureの測定法
- 4 ●CCとFRCの関係と、CCへの影響因子
- 5 ●人工呼吸管理下で必要な肺胞内圧

1 呼吸器の構造

18

- 1 ●胸郭の筋肉のつくり
1) 呼吸筋 / 2) 呼吸補助筋 : 胸郭上部の浅胸筋や腹筋
- 2 ●肺の構造
1) 気道 / 2) 肺胞 / 3) 気道分泌に与える因子 / 4) 排痰のメカニズム / 5) 肺胞の清浄機能と免疫防御機能 / 6) 肺の代謝機能 / 7) 肺循環 / 8) 間質

3 換気のメカニズム (呼吸運動)

36

- 1 ●胸郭のポンプ運動
1) 呼吸運動のパターン / 2) 呼吸筋の働き
- 2 ●換気における気道抵抗
- 3 ●肺の弾性とサーファクタント
- 4 ●呼吸仕事量からみた最適呼吸回数
- 5 ●末梢気道病変と換気力学的検査
- 6 ●呼吸の調節と呼吸運動

1) 神経系の抑制 / 2) 呼吸を左右する化学的刺激以外の因子 / 3) 低 O_2 下での調節 / 4) 低酸素血症における CO_2 の呼吸促進作用 / 5) 温度変化の影響 / 6) 呼吸パターンの異常 / 7) 妊婦の呼吸 / 8) 睡眠と呼吸

2 肺気量分画, 換気量とは何か

30

- 1 ●肺気量分画と肺容量の分布
- 2 ●換気量
1) 分時換気量 : $\dot{V}E$ / 2) 肺胞換気量 : $\dot{V}A$ / 3) 最大換気量 : MVV / 4) 呼吸死腔 (死腔換気

4	肺胞換気とその異常	45	5	血液によるO₂の運搬	60
1	●換気の概要	45	1)	血液のO ₂ 含量 / 2) O ₂ 解離曲線の偏移意義 /	
	1) 肺胞換気量と肺胞気組成 / 2) 呼吸中枢の出力		3)	流動性運搬 / 4) 酸素療法	
2	●ガス交換：肺拡散能力 (DLco)	46	6	CO₂の運搬	65
	1) 呼吸数による肺胞換気量 / 2) 換気中止下のガス交換：無呼吸酸素化		1)	溶存CO ₂ (気体の物理的溶解で輸送…10%) / 2) 重炭酸塩と炭酸塩 (HCO ₃ ⁻ の形で輸送…65%) / 3) カルバミノ化合物 (ヘモグロビンのNH ₂ 基に結合して輸送…25%) / 4) CO ₂ 結合とCO ₂ 放出	
3	●低換気と過換気	47	7	胎盤における母体血と胎児血の変化 . . .	69
	1) 低換気と高炭酸血症 / 2) 過換気と低炭酸血症		8	血液の緩衝作用	69
4	●換気不全	48	1)	重炭酸緩衝系： $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$ /	
			2)	リン酸緩衝系： $\text{H}_2\text{PO}_4^- \rightarrow \text{H}^+ + \text{HPO}_4^{2-}$ と細胞内緩衝作用 / 3) 血色素緩衝系： $\text{HHb} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{Hb}^-$ / 4) 蛋白質緩衝系： $\text{H-Prot}^+ \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{Prot}^-$ (血漿蛋白)	
5	肺の換気 / 血流比 (VA/Q比：肺内シャント)	49	8	内呼吸とエネルギー産生	72
1	●肺内の換気と血流の分布 (VA/Q比)	50	1	●O ₂ の消費と呼吸商	73
2	●VA/Q比分布と血液ガス	50	2	●ATPの再合成	73
	1) 肺胞ガスならびに肺胞換気概念 / 2) 肺胞-動脈血ガス分圧較差 A-aD (O ₂ , N ₂ , CO ₂) / 3) 肺の萎縮 / 4) 肺気腫		1)	無酸素エンジン / 2) 有酸素エンジン	
6	ガス交換	54	3	●嫌氣的呼吸	74
1	●O ₂ とCO ₂ の血液中への拡散	54	4	●呼吸管理と栄養管理	74
2	●O ₂ とCO ₂ の同時交換	55			
	1) 肺胞-毛細血管抵抗 (膜拡散能) / 2) 拡散障害				
3	●シャント	56			
	1) シャント率 / 2) シャント発生のメカニズム				
7	血液によるガスの運搬	58	9	高気圧の生理作用	75
1	●O ₂ , CO ₂ 運搬系	59	1	●環境圧力の変動による生体現象	76
2	●拡散による運搬	59	1)	換気の酸素加変化 / 2) 循環の酸素加変化 /	
3	●流動による運搬：O ₂ , CO ₂ の貯蔵量	60	3)	組織の酸素加とガス圧縮変化 / 4) ガスの洗い出し効果 / 5) 内分泌機能に及ぼす影響	
	1) 定常状態 / 2) 非定常状態		2	●酸素毒性と生体現象	77
4	●換気による運搬	60	1)	活性酸素による酸素毒性 / 2) 悪性腫瘍と感染症 / 3) 中枢性酸素中毒	
	1) 肺胞から毛細血管へのO ₂ 運搬 / 2) 肺胞におけるO ₂ とCO ₂ の気相・液相間移動		3	●血液によるガスの運搬	77
			1)	血液O ₂ 含量とO ₂ 輸送 / 2) 血液のCO ₂ ガス運搬に及ぼす影響	

第2章 呼吸管理の基本と応用をマスターする

はじめに

80

1 人工呼吸とは (人工呼吸による生理学的変化)

81

- 1 ● 自発呼吸と人工呼吸の違い 81
1) auto-PEEP / 2) 自発呼吸の人工呼吸への引き込み現象 (phase locking) / 3) 仰臥位での横隔膜の動きの違い
- 2 ● 循環系への影響 84
- 3 ● 水の貯留 84
- 4 ● \dot{V}_A/\dot{Q} 比の不均衡 84
- 5 ● 呼吸困難の生理学的解釈 84
1) 自覚的呼吸困難 / 2) 他覚的呼吸困難 / 3) その他の所見

2 酸素療法の適応と効果・問題

88

- 1 ● 低酸素血症 88
1) 貧血性低酸素血症: 一酸化炭素中毒 / 2) うっ血性低酸素血症 / 3) 組織中毒性低酸素血症
- 2 ● O_2 投与の生理的影響 (酸素療法の効果) 91
1) 肺 / 2) 血管系 / 3) ガス吸収の促進
- 3 ● 酸素療法の問題 92
1) 吸収性無気肺 / 2) 酸素無呼吸 (CO_2 ナルコーシス) / 3) 酸素中毒

3 低酸素血症

93

- 1 ● 低酸素血症の病態と原因 93
1) 貧血 / 2) 2,3-DPG
- 2 ● 組織低酸素の指標 94
1) 乳酸 / 2) 混合静脈血 O_2 分圧 ($P\dot{V}O_2$) / 3) 動静脈 O_2 含量 ($a-vCO_2$ 較差) / 4) ケトン体
- 3 ● 組織における代償機転 95

4 呼吸不全と人工呼吸の適応

96

- 1 ● 呼吸不全とは 97

- 2 ● 呼吸不全のめやす 98

1) 慢性と急性呼吸不全の違い / 2) CO_2 ナルコーシス

- 3 ● 呼吸筋障害 101

1) 呼吸筋疲労 / 2) 血液ガス異常の病態 / 3) 電解質異常の病態 / 4) 呼吸不全の悪循環 / 5) 呼吸筋疲労の臨床所見

- 4 ● 酸素中毒 103

1) O_2 の毒性 / 2) 肺酸素中毒 / 3) その他の障害 / 4) 酸素中毒発症に影響する因子と対策

- 5 ● 血液ガス異常の対策 105

- 6 ● 気管挿管の適応 105

- 7 ● 人工呼吸器の装着適応 106

5 呼吸困難・低酸素血症をきたす疾患

109

- 1 ● 肺性呼吸困難 110

1) 胸郭系拘束性障害 / 2) 気管内異物 / 3) 肺血栓塞栓症 / 4) 自然気胸 / 5) 気道攣縮 / 6) 慢性閉塞性肺疾患 / 7) 肺気腫 / 8) 間質性肺炎 / 9) ARDS / 10) 肺水腫 / 11) 肺線維症

- 2 ● 肺外性呼吸困難 116

1) 過換気症候群 / 2) 慢性肺性心

- 3 ● 外傷や侵襲と呼吸管理 117

1) 術後の呼吸機能に影響する要因 / 2) 術後の呼吸機能の変化 / 3) 術後の呼吸管理

- 4 ● 熱傷 119

1) 受傷直後の熱傷ショック期 / 2) ショック離脱期 / 3) 感染の時期

- 5 ● 溺水 120

1) 典型的な病態 / 2) 全身管理の手順

- 6 ● 動揺性胸郭 121

1) 外固定 / 2) 内固定

6 人工呼吸療法 (人工呼吸の開始)

122

- 1 ● 人工呼吸器の効果的な利用法 123

1) 人工呼吸の種類 / 2) 理想的な呼吸療法と現状 / 3) さまざまな換気モード / 4) 人工呼吸の基本理念

- 2 ●人工呼吸器の装着準備 124
- 3 ●初期設定条件 124
- 4 ●初期設定後の適正換気への再設定... 125
 - 1) 換気量の調節：PaCO₂を35～40 Torrに維持するように $\dot{V}E$ を調節する／2) 吸入O₂濃度の調節：FiO₂を少しずつ下げてPaO₂を80～100 Torrに調節する
- 5 ●特殊な疾患に特有の設定..... 127

7 人工呼吸療法 (人工呼吸の各種換気モード) 128

- 1 ●換気モードとは129
- 2 ●人工呼吸の種類130
 - 1) 非侵襲的換気：non invasive ventilation, NIV (マスク換気)／2) 侵襲的換気：invasive ventilation
- 3 ●各換気モードと呼吸管理の特長.....133
 - 1) 調節呼吸 (CV)：PCVとVCV, IPPVとCPPV／2) 補助呼吸と補助/調節換気 (A/C)／3) 同期型間欠的強制換気 (SIMV), IMV
- 4 ●自発呼吸が基本で、二相性の気道内圧を調節するモード136
 - 1) 圧支持換気 (PSV)／2) 持続陽圧呼吸 (PEEP, CPPV, CPAP)／3) 逆転比換気 (IRV)／4) 二相性陽圧呼吸 (BIPAP)／5) 気道内圧開放換気 (APRV)
- 5 ●特殊な呼吸管理法.....142
 - 1) 分離肺換気/片肺換気 (DLV/OLV)／2) 吸気終末ポーズ (EIP)／3) 高頻度ジェット人工呼吸 (HFJV)
- 6 ●新しい付加機能143

8 呼吸管理における気道内喀痰吸引 147

- 1 ●吸引操作の手順 147
- 2 ●気管支ファイバースコープの活用... 148
- 3 ●吸引による合併症とその防止策..... 148
- 4 ●打診・聴診の方法と診断..... 150
 - 1) 胸部の打診／2) 肺の聴診

9 肺理学療法と加湿 156

- 1 ●呼吸の治療法—肺理学療法 156
 - 1) 肺理学療法に求められる役割／2) 病態の改善に不可欠な治療法
- 2 ●肺理学療法の効果と呼吸管理への関与 . 157
 - 1) 慢性疾患と急性疾患での違い／2) 早期開始のメリット／3) 呼吸管理における役割／4) 呼吸筋の訓練／5) 各種ドレナージによる排痰促進
- 3 ●加湿..... 161
 - 1) 給湿能が働かなくなったとき／2) 水分の大きさの重要性
- 4 ●湿度の表示法 162
 - 1) 絶対湿度／2) 生湿度／3) 相対湿度
- 5 ●さまざまな加湿装置 162
 - 1) 加湿器／2) エアロゾール発生器／3) 保湿器
- 6 ●適正な給湿とは? 164
- 7 ●使用上の注意 164

10 ウィーニングの実際 166

- 1 ●ウィーニングを開始する条件 167
- 2 ●ウィーニングの方法 167
 - 1) on-off方式によるウィーニング／2) IMV方式によるウィーニング／3) PS方式によるウィーニング／4) その他のモードによるウィーニング
- 3 ●ウィーニングの中止と完了の条件... 169
- 4 ●抜管.....170

11 人工呼吸器の使い方 171

- 1 ●人工呼吸器の分類..... 171
- 2 ●人工呼吸器の基本的原理..... 172
 - 1) 小児用人工呼吸器の原理と構造、特徴／2) 麻酔用人工呼吸器の方式／3) 人工呼吸器使用の安全対策
- 3 ●人工呼吸器使用の心構えと準備..... 175
 - 1) 事故を防ぐための心構え／2) 準備すべきものと心得／3) 蘇生バッグが必要なとき
- 4 ●人工呼吸中に起こる機器関連の異常とその対策 (保守点検) 176
 - 1) 人工呼吸器の保守点検／2) レスピレータ装着前後のチェック／3) 回路のチェック

12 レスピレータの装着による合併症と問題点 179

- 1 ●よくみられる合併症..... 180
 - 1) 心拍出量の低下/2) 気道内圧と圧外傷/3) アルカローシス

- 2 ●患者のモニタリング..... 181
 - 1) バイタルサインなどのチェック/2) 診察所見のポイント/3) 検査所見/4) 患者の態度

- 3 ●患者にみられる問題と苦痛..... 183
 - 1) レスピレータに無関係な問題/2) レスピレータ動作に関係した問題

第3章 日常診療に必要な手技の確認(検査と呼吸補助)

はじめに 186

1 血液ガスのみかた 187

- 1 ●気体の分圧..... 188
- 2 ●呼吸ガスの定量的測定..... 189
 - 1) 呼吸ガスの測定/2) 血液ガス分析
- 3 ●血液ガス測定値の読み方..... 191
 - 1) 呼吸不全の状態評価/2) ガス交換効率の評価/3) pHを作る化学平衡/4) 酸塩基平衡の評価/5) 酸塩基平衡の障害と代償機転
- 4 ●血液ガスの異常値に対する処置..... 196
 - 1) O₂吸入を開始する基準/2) 人工呼吸開始の基準/3) PEEP, CPAP, BIPAPの開始基準

2 呼吸機能の測定と評価のしかた 198

- 1 ●換気量の測定..... 199
 - 1) 測定器具/2) 気流速度の測定/3) スパイログラムとフローボリューム曲線/4) フローリミテーション
- 2 ●O₂・CO₂濃度の測定..... 201
 - 1) 質量分析計(マススペクトロメータ)/2) 気相内CO₂濃度の測定(赤外線吸収装置)/3) 気相内O₂濃度の測定/4) 組織内O₂・CO₂濃度の測定/5) O₂消費量・代謝率の測定
- 3 ●経皮的酸素飽和度の測定..... 203
 - 1) パルスオキシメータの原理/2) センサの装着/3) センサの違い(精度の改善)/4) なぜSpO₂がうまく計れないのか? SpO₂の影響因子/5) パルスオキシメータの未来
- 4 ●呼吸筋の評価..... 208
 - 1) 最大吸気筋力(P_Imax), 最大呼気筋力(P_Emax)/2) 最大経横隔膜圧(P_dimax)/3) sniff pressure/4) 経横隔膜圧頻度曲線/5) 筋電図/6) 胸部運動

引用文献..... 209

参考図書..... 214

付録

- 1 主な人工呼吸器と、それぞれの換気モード..... 216
- 2 人工呼吸器の使用時にみられる問題とその対策..... 218
- 3 フローシートのサンプル..... 220

索引..... 221