

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 ..... 16
- 2 ●いかに呼吸生理を学ぶか ..... 17

### 1 呼吸器の構造

18

- 1 ●胸郭の筋肉のつくり ..... 19
- 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 ..... 20
- 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

### 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 ..... 31
- 2 ●換気量 ..... 31
- 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

量、死腔量）： $\dot{V}D$ ／5) 1秒間の最大呼息量： $FEV1.0$

- 3 ●airway closureの測定法 ..... 34
- 4 ●CCとFRCの関係と、CCへの影響因子 ..... 35
- 5 ●人工呼吸管理下で必要な肺胞内圧 ..... 35

### 3 換気のメカニズム（呼吸運動）

36

- 1 ●胸郭のポンプ運動 ..... 37
- 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 ..... 38
- 3 ●肺の弾性とサーファクタント ..... 38
- 4 ●呼吸仕事量からみた最適呼吸回数 ..... 39
- 5 ●末梢気道病変と換気力学的検査 ..... 39
- 6 ●呼吸の調節と呼吸運動 ..... 40
- 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

<b>4 肺胞換気とその異常</b>	45
1 ● 換気の概要 . . . . .	45
1) 肺胞換気量と肺胞気組成／2) 呼吸中枢の出力	
2 ● ガス交換：肺拡散能力 (DLco) . . . . .	46
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	
3 ● 低換気と過換気 . . . . .	47
1) 低換気と高炭酸症／2) 過換気と低炭酸症	
4 ● 換気不全 . . . . .	48
<b>5 肺の換気 / 血流比 (VA/Q比：肺内シャント)</b>	<b>49</b>
1 ● 肺内の換気と血流の分布 (VA/Q比) . . . . .	50
2 ● VA/Q比分布と血液ガス . . . . .	50
1) 肺胞ガスならびに肺胞換気の概念／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	
<b>6 ガス交換</b>	<b>54</b>
1 ● $O_2$ と $CO_2$ の血液中への拡散 . . . . .	54
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	
<b>7 血液によるガスの運搬</b>	<b>58</b>
1 ● $O_2$ , $CO_2$ 運搬系 . . . . .	59
2 ● 拡散による運搬 . . . . .	59
3 ● 流動による運搬： $O_2$ , $CO_2$ の貯蔵量 . . . . .	60
1) 定常状態／2) 非定常状態	
4 ● 換気による運搬 . . . . .	60
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	
<b>8 内呼吸とエネルギー產生</b>	<b>72</b>
1 ● $O_2$ の消費と呼吸商 . . . . .	73
2 ● ATPの再合成 . . . . .	73
1) 無酸素エンジン／2) 有酸素エンジン	
3 ● 嫌気的呼吸 . . . . .	74
4 ● 呼吸管理と栄養管理 . . . . .	74
<b>9 高気圧の生理作用</b>	<b>75</b>
1 ● 環境圧力の変動による生体現象 . . . . .	76
1) 換気の酸素加変化／2) 循環の酸素加変化／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	
2 ● 酸素毒性と生体現象 . . . . .	77
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	
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变化) 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 ●  $\dot{V}A/Q$  比の不均等 ..... 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) うつ血性低酸素血症 / 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) 吸收性無気肺 / 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 ( $PvO_2$ ) / 3) 動静脈  $O_2$ 含量 ( $a-\bar{V}CO_2$ 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) 気道攀縛 / 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 ● 動搖性胸郭 ..... 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：PaCO <sub>2</sub> を35～40 Torrに維持するようにVEを調節する／2) 吸入O <sub>2</sub> 濃度の調節：FiO <sub>2</sub> を少しずつ下げてPaO <sub>2</sub> 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) 純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	

<b>12 レスピレータの装着による合併症と問題点</b>	179		
1 ●よくみられる合併症 .....	180	2 ●患者のモニタリング .....	181
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		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	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)

<b>■はじめに</b>	186	<b>2 呼吸機能の測定と評価のしかた</b>	198
<b>1 血液ガスのみかた</b>	187	1 ●換気量の測定 .....	199
1 ●気体の分圧 .....	188	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 ●呼吸ガスの定量的測定 .....	189	2 ●O <sub>2</sub> ・CO <sub>2</sub> 濃度の測定 .....	201
1) 呼吸ガスの測定／2) 血液ガス分析		1) 質量分析計（マススペクトロメータ）／2) 気相内CO <sub>2</sub> 濃度の測定（赤外線吸収装置）／3) 気相内O <sub>2</sub> 濃度の測定／4) 細胞内O <sub>2</sub> ・CO <sub>2</sub> 濃度の測定／5) O <sub>2</sub> 消費量・代謝率の測定	
3 ●血液ガス測定値の読み方 .....	191	3 ●経皮的酸素飽和度の測定 .....	203
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		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SpO <sub>2</sub> がうまく計れないのか？ SpO <sub>2</sub> の影響因子／5) パルスオキシメータの未来	
4 ●血液ガスの異常値に対する処置 .....	196	4 ●呼吸筋の評価 .....	208
1) O <sub>2</sub> 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		1) 最大吸気筋力 (P <sub>Imax</sub> )、最大呼気筋力 (P <sub>Emax</sub> )／2) 最大経横隔膜圧 (P <sub>dmax</sub> )／3) sniff pressure／4) 経横隔膜圧頻度曲線／5) 筋電図／6) 胸部運動	
<b>引用文献</b> .....	209		
<b>参考図書</b> .....	214		

## 付 錄

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