

ÍNDICE

Dr. ALBERTO GIANELLA P.
CARDIOLOGO
Méd. G-210

PRIMERA PARTE. Química y física básica en relación con el análisis de los gases sanguíneos 19

1. **Física de los gases 21**
 - Leyes de los gases 22
 - Presión parcial de los gases 24
 - Presión de vapor de agua 25
 - TCPS 25
 - Difusión y solubilidad de los gases sanguíneos 26
2. **Química del equilibrio ácido-base 27**
 - Soluciones 27
 - Actividad de hidrogeniones 28
 - Ácidos y bases 28
 - Reguladores 28
 - Cuantificación de la actividad de hidrogeniones 29
 - Ecuación de Henderson-Hasselbalch 30
 - Química del anhídrido carbónico 32
 - Anhidrasa carbónica 32
 - Anhídrido carbónico disuelto total 32
3. **Hemoglobina 34**
 - Química de la hemoglobina 34
 - Stereoquímica de la hemoglobina 37
 - Afinidad por el oxígeno 38
 - Interacción hem-hem 38
 - Interacciones aloestéricas 38
 - Sistemas enzimáticos del eritrocito 38
 - Alteración de la afinidad por el oxígeno 39
 - Oxido de carbono (CO) 39
 - Metahemoglobina (MHb) 39
 - Hemoglobina fetal (HbF) 39

6 Índice

Trasporte de anhídrido carbónico	40
Mecanismo carbamino-CO ₂	40
Mecanismo del ion bicarbonato	40
Interacción entre oxígeno y anhídrido carbónico	41
4. Física y química de la medición de los gases sanguíneos	43
Electrodo de pH	43
Electrodo moderno	44
Calibración	45
Electrodo de Sanz	45
Electrodo de PCO ₂	45
Electrodo moderno	46
Calibración	47
Electrodo de Severinghaus	47
Electrodo de PO ₂	48
Electrodo polarográfico	48
Calibración	49
Electrodo de Clark	49
Electrodo galvánico	50
El moderno analizador de gases sanguíneos	50
Espectrofotometría	50
Física básica de la luz	51
Espectrofotómetro	51
Oxímetro	51
CO-oxímetro	52

Segunda parte. Fisiología de la respiración 53

5. Homeostasis cardiopulmenar	55
Sistema capilar periférico	55
Sistema capilar pulmonar	57
Sangre arterial y venosa	57
Equilibrio homeostático y gases sanguíneos	57
6. Fisiología de la respiración interna	59
Oxígeno celular	59
Hipoxia textural	61
Hipoxia hipoxémica	61
Hipoxia anémica	61
Hipoxia circulatoria	61
Hipoxia histotóxica	62
Resumen	62
Metabolismo	62
Consumo de oxígeno	63
Fisiología cardiovascular	63
Bomba	64
Conductos	64
Contenido	65
7. Fisiología de la respiración externa	66
Distribución de la perfusión pulmonar	66
Gravedad	66
Volumen minuto cardíaco	67
Resistencia vascular pulmonar	69
Distribución de la ventilación	70
Resistencia de la vía aérea	70
Presiones intratorácicas	71
Física alveolar	73

Relación ventilación-perfusión	76	
Shunt y espacio muerto	77	
8. Tensión arterial de anhídrido carbónico	78	
Homeostasis del anhídrido carbónico	78	
Ventilación total	80	
Ventilación efectiva y desperdiciada	81	
Ventilación alveolar (\dot{V}_A)	81	
Ventilación de espacio muerto (\dot{V}_D)	81	
Patrón ventilatorio	82	
Tensión arterial de anhídrido carbónico (P_aCO_2)	82	
Cuantificación del espacio muerto	84	
Desarrollo de la \dot{V}_D/\dot{V}_C	85	
9. Oxigenación arterial	87	
Definición de hipoxemia	88	
Curva de disociación de la hemoglobina	89	
Contenido de oxígeno	91	
Afinidad por el oxígeno	92	
Afinidad disminuida	92	
Afinidad aumentada	93	
Importancia clínica	93	
P_{50}	94	
Cianosis	95	
Shunt intrapulmonar	95	
Shunt anatómico	96	
Shunt capilar	96	
Efecto de shunt	96	
Causas fisiológicas de hipoxemia	96	
Tensiones de oxígeno alveolar disminuidas	97	
Shunt absoluto aumentado	97	
Contenido disminuido de oxígeno venoso mixto	97	
Compensación cardiopulmonar de la hipoxemia	98	
Quimiorreceptores	98	
Respuesta pulmonar a la hipoxemia	98	
Respuesta cardíaca a la hipoxemia	100	
10. Equilibrio ácido-base metabólico	101	
Importancia clínica del equilibrio ácido-base	102	
Regulación de los ácidos sanguíneos	102	
Ácidos dietéticos	102	
Ácido láctico	102	
Cetoácidos	103	
Regulación de la base sanguínea	103	
Mecanismo renal	104	
Mecanismos electrolítico	104	
Respuesta renal al desequilibrio ácido-base	106	
Bicarbonato estándar	106	
Exceso déficit de base	106	
Cálculo del déficit de base	107	
Interpretación ácido-base metabólica	108	
11. Equilibrio ácido-base respiratorio	109	
Insuficiencia de sistemas orgánicos	110	
Insuficiencia respiratoria	110	
Infarto agudo de miocardio y electrocardiograma	111	
Insuficiencia respiratoria aguda y medición de los gases sanguíneos	111	
Oxigenación versus ventilación	112	
Concepto de insuficiencia ventilatoria	112	
Definición de insuficiencia ventilatoria	113	
Acidosis respiratoria	113	
Insuficiencia ventilatorio aguda	114	

Insuficiencia ventilatoria crónica	114
Hiperventilación alveolar (alcalosis respiratoria)	114
Aguda y crónica	115
Causas de hiperventilación alveolar	115
Causas de insuficiencia ventilatoria	115
Trabajo respiratorio	115
Distensibilidad	116
Resistencia	116
Espiración activa	117
Patrón ventilatorio	117
Reserva ventilatoria	117
Patogenia de la insuficiencia ventilatoria	121
Insuficiencia ventilatoria aguda	121
Insuficiencia ventilatoria crónica	121
Resumen	123

Tercera parte. Interpretación de las mediciones de los gases sanguíneos 125

12. Lineamientos para la interpretación	127
Valores normales de laboratorio	127
Valores normales de pH y PaCO_2	128
Valores terapéuticos aceptables	129
Relación anhídrido carbónico-pH en sangre arterial	130
Relación entre ventilación total y ventilación alveolar	130
Tensiones de oxígeno arterial	131
Relación entre concentración de oxígeno inspirado y tensión de oxígeno arterial (FI_{O_2} - PaO_2)	131
13. Enfoque clínico para la interpretación	134
Primer paso: Evaluación del estado ventilatorio	135
Reposo del primer paso	137
Ejercicios	138
Segundo paso: Valoración del estado hipoxémico	140
Ejercicios	141
Tercer paso: Valoración del estado de oxigenación de los tejidos	144
14. Lineamientos para muestreo y control de calidad	146
Obtención de la muestra	146
Criterios para el sitio de la punción arterial	147
Punción de la arteria radial	147
Punción de la arteria femoral	150
Canulación arterial	151
Muestras capilares	154
Muestras venosas	155
Muestras de la arteria pulmonar	155
Preparación de la muestra	155
Jeringas de vidrio y de plástico	156
Anticoagulantes	156
Anaerobiosis	156
Retardo para procesar la muestra	157
Control de calidad	158
Calibración	158
Controles externos	158
Directivas mínimas	158
El técnico de gases sanguíneos	159
Corrección térmica de los valores de los gases sanguíneos	159

Cuarta parte. Manejo clínico de la medición de los gases sanguíneos 161

15. **Oxigenoterapia** 163
 Objetivos de la oxigenoterapia 163
 Administración de oxígeno 164
 Fracción de oxígeno inspirado 164
 Sistemas de entrega de gas 165
 Sistemas de entrega de oxígeno 166
 Anormalidades de los gases sanguíneos y oxigenoterapia 173
 Hipoxemia 173
 Hiperventilación alveolar 174
 Insuficiencia ventilatoria aguda 177
 Insuficiencia ventilatoria crónica y oxigenoterapia 177
 Insuficiencia ventilatoria aguda sobreagregada a insuficiencia ventilatoria crónica: técnica de la "baja concentración de oxígeno" 178
 Hiperventilación alveolar aguda sobreagregada a insuficiencia ventilatoria crónica 180
 Toxicidad del oxígeno 180
16. **Enfermedades de shunt y espacio muerto** 183
 Enfermedades que causan espacio muerto 184
 Enfermedades de espacio muerto anatómico 184
 Enfermedades de espacio muerto alveolar 185
 Efecto de espacio muerto: ventilación excesiva para la perfusión 186
 Enfermedades que causan shunt 186
 Enfermedades de shunt anatómico 187
 Enfermedades de shunt capilar 187
 Efecto de shunt: perfusión excesiva para la ventilación 187
 Empleo diagnóstico del análisis de los gases sanguíneos 188
 Lineamientos para enfermedades agudas que producen espacio muerto 189
 Lineamientos para enfermedades agudas que producen shunt 190
17. **Causas clínicas de gases sanguíneos anormales** 191
 I. **Desequilibrio ácido-base metabólico** 192
 A. Acidosis metabólica 193
 B. Alcalosis metabólica 194
 II. **Hiperventilación alveolar (alcalosis respiratoria)** 196
 A. Hiperventilación alveolar aguda con hipoxemia 197
 B. Hiperventilación alveolar crónica con hipoxemia 201
 C. Hiperventilación alveolar sin hipoxemia 202
 III. **Enfermedades de espacio muerto** 204
 A. Embolia pulmonar aguda 204
 B. Shock (hipotensión sistémica) 204
 IV. **Insuficiencia ventilatoria (acidosis respiratoria)** 204
 A. Insuficiencia ventilatoria crónica (hipercapnia crónica) 205
 B. Hiperventilación alveolar aguda sobreagregada a insuficiencia ventilatoria crónica 205
 C. Insuficiencia ventilatoria aguda sobreagregada a insuficiencia ventilatoria crónica 206
 D. Insuficiencia ventilatoria aguda 206
18. **Apoyo de la ventilación** 208
 Comedido del ventilador 208
 Mantenimiento en el ventilador 209
 Ventilación eucapneica 210
 Retiro del ventilador 211
 Medición de la relación entre espacio muerto y volumen corriente (V_D/V_C) 211
 Recolección de la muestra para V_D/V_C 211
 Medición del shunt 212
 Recolección de la muestra para \dot{Q}_s/\dot{Q}_t 212
 Resumen 212

10 Índice

19.	Desarrollo de la ecuación del shunt fisiológico	214
	Ecuación de Fick	214
	Volumen minuto cardíaco	215
	Ecuación del shunt clásico	216
	Ecuación del shunt clínico	217
	Diferencia del contenido de oxígeno arterial-venoso mixto	218
	Contenido de oxígeno en el capilar pulmonar	218
	Ecuación del gas alveolar ideal	218
	Ecuación del shunt clínico modificada	219
	Gradientes alveoloarteriales de oxígeno	219
20.	Gases en la sangre de la arteria pulmonar	221
	Catéteres para la arteria pulmonar	221
	Colocación	222
	Trazados de la presión	222
	Posición de la cuña	222
	Mediciones del volumen minuto cardíaco por termodilución	224
	Gases en sangre venosa central	225
	Mediciones de oxígeno en sangre venosa mixta	225
	Diferencia arteriovenosa del contenido de oxígeno	226
	Shunt intrapulmonar versus insuficiencia miocárdica	226
	Resumen	228
	Estudios de casos en el manejo clínico de la medición de los gases sanguíneos	229
	Glosario	244
	Bibliografía	250
	Índice de materias	262